



El Colegio de la Frontera Sur

Aporte de servicios agroecosistémicos de la ganadería
bovina con prácticas agrosilvopastoril y extensiva en
la Costa de Chiapas

Tesis

Presentada como requisito para optar el grado de
Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Por

Orquidia Guadalupe Rodríguez Moreno

2019



El Colegio de la Frontera Sur

28 de octubre de 2019.

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

Aporte de servicios agro-ecosistémicos de la ganadería bovina con prácticas agrosilvopastoril y extensiva en la Costa de Chiapas

Para obtener el grado de **Maestro (a) en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural**

Nombre

Firma

Director Dr. José Nahed Toral _____

Asesor Dr. José Armando Alayón Gamboa _____

Asesor Dr. Francisco Guevara Hernández _____

Sinodal Mtra. en C. Andrea Venegas Sandoval _____

Sinodal Mtro. en C. José Roberto Aguilar Jiménez _____

Sinodal Mtro. en C. Noé Samuel León Martínez _____

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| PALABRAS CLAVE: | 4 |
| INTRODUCCIÓN | 5 |
| ANTECEDENTES O ESTADO DEL CONOCIMIENTO | 8 |
| Servicios agroecosistémicos | 8 |
| Enfoques para la evaluación de los servicios ecosistémicos | 9 |
| Agroecosistemas y servicios agroecosistémicos | 10 |
| Problemática de la ganadería bovina y los servicios agroecosistémicos | 11 |
| La ganadería bovina en Chiapas | 13 |
| La ganadería bovina en Pijjiapan | 14 |
| Ganadería extensiva | 14 |
| Ganadería intensiva o estabulada | 14 |
| Ganadería orgánica, ecológica o biológica | 15 |
| Sistemas agrosilvopastoriles | 15 |
| PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 21 |
| HIPÓTESIS O SUPUESTO | 21 |
| OBJETIVO GENERAL | 21 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 21 |
| Área de estudio | 22 |
| Metodología general y marco muestral | 25 |
| Trayectoria histórica de la ganadería bovina a nivel municipal | 25 |
| Caracterización socioeconómica y tecnológica de la ganadería bovina | 26 |
| Análisis de los servicios agroecosistémicos | 26 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 55 |
| Comparación de indicadores de servicios agroecosistémicos entre el sistema agrosilvopastoril y el sistema extensivo. | 60 |
| Clasificación de las unidades de producción ganadera mediante análisis de conglomerados | 62 |
| Caracterización técnica y socioeconómica de la ganadería bovina. | 63 |
| Análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores del ISAGAN | 69 |
| CONCLUSIONES | 85 |
| LITERATURA CITADA | 90 |
| ANEXOS | 114 |

RESUMEN

Actualmente los sistemas de producción bovina de México y Latinoamérica se encuentran en un proceso de reconversión mediante estrategias de manejo orientadas a reducir los efectos negativos del alto uso de insumos externos. Por ello, en esta tesis se caracteriza la trayectoria histórica, se proponen y evalúan algunos indicadores técnicos, socioeconómicos y se evalúan algunos indicadores de servicios agro-ecosistémicos de la ganadería bovina con prácticas extensivas y agrosilvopastoril en el municipio de Pijijiapan, Chiapas. La información se obtuvo mediante entrevista en profundidad con informantes clave, revisión documental, entrevistas semiestructurada, observación directa, muestreos y mediciones de campo, en 35 unidades de producción ganaderas (UPG). La información cualitativa se organizó cronológicamente y se presenta en forma descriptiva y narrativa. Las UPG se clasificaron mediante análisis de conglomerados de k medias de acuerdo con un Índice de aporte de Servicios Agroecosistémicos Ganadero (ISAGAN) de las UPG, en una escala de 0 a 100. Las variables cuantitativas se examinaron mediante análisis de varianza y la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, para identificar diferencias entre conglomerados. La trayectoria histórica, permite identificar tres etapas importantes: i) el periodo colonial, pre-ganadero con poca intervención antrópica antes del año 1900; ii) el periodo de desarrollo productivo desde los años 1900 hasta 1955 y iii) el periodo de expansión de la ganadería extensiva, desde 1955, con fuertes impactos ambientales, y posteriormente del manejo ganadero agrosilvopastoril como alternativa sustentable a la ganadería extensiva. La ganadería en pastoreo se caracteriza por distinto grado de arborización en los potreros, escaso grado de desarrollo tecnológico, bajo uso de insumos externos y uso integral y diversificado de los recursos. Los valores del ISAGAN sintetizan los valores de cada indicador por conglomerados de UPG, y se observa una tendencia hacia el incremento de dichos valores del conglomerado 1 hacia el conglomerado 3. El ISAGAN permitió identificar tres tipos de manejo ganadero: (i) el extensivo, (ii) el semi-agrosilvopastoril, y (iii) agrosilvopastoril. Los tres grupos identificados en la zona de estudio están relacionados directamente con tres niveles de aportes de servicios agroecosistémicos (extensivo: bajo, semi-agrosilvopastoril: medio y agrosilvopastoril: alto). De 26 indicadores técnicos y socioeconómicos evaluados, asistencia técnica fue el único que presentó diferencia ($p < 0.05$) entre conglomerados, donde al incrementarse los valores de dicho indicador, también aumentan los del ISAGAN. Tendencias similares no significativas ($p > 0.05$) se observaron en los indicadores superficie de tierra propia, superficie de pastizal con árboles dispersos, superficie de acahual y bosque y superficie reforestada en los últimos seis años, tasa de natalidad y tasa de mortalidad en animales adultos. Los indicadores superficie de pastizal sin árboles dispersos, margen neto por hectárea e ingreso económico de la UPG derivado de la ganadería, presentan tendencias inversas ($p > 0.05$) respecto al ISAGAN. En aporte de servicios agroecosistémicos, los indicadores riqueza florística arbórea, servicio cultural, captura de CO_2 total, abundancia de abejas y abundancia de fauna silvestre, presentan una relación directa y significativa con los valores del ISAGAN. Por su parte, el indicador de emisión de CH_4 entérico por unidad animal, presenta una relación inversa y significativa con el ISAGAN. El indicador densidad de árboles por hectárea presenta una relación directa no significativa ($p > 0.05$) con el ISAGAN, en tanto que el índice del estado nutrimental del suelo y metros lineales de cerco vivo por hectárea no presentan una tendencia definida con relación al ISAGAN, y los mayores valores se ubican en el conglomerado de UPG 2. El fortalecimiento y difusión del manejo silvopastoril depende del desarrollo de capacidades de los productores (asesoría, asistencia técnica y apoyo financiero permanente), e implica compromiso y corresponsabilidad por parte de los diferentes actores sociales involucrados, así como cambios tangibles en las políticas ganaderas estatales y nacionales.

PALABRAS CLAVE: sistema ganadero agrosilvopastoril y extensivo, índice de servicios agroecosistémicos

INTRODUCCIÓN

Actualmente la población humana necesita que los sistemas de producción agropecuarios que produzcan mayor cantidad de alimentos, en el menor tiempo posible y al mismo tiempo conserven los recursos naturales. La realidad es que existe un desequilibrio entre crecimiento poblacional, producción y aumento del consumo de productos agroalimentarios (FAO 2016). Todo ello genera mayor presión de uso de la base de recursos naturales, observado en deforestación para establecer sistemas agrícolas de monocultivo, sistemas ganaderos extensivos o sistemas intensivos con alto uso de insumos externos, pérdida de biodiversidad, ruptura de ciclos hídricos; contaminación de suelos y agua por agroquímicos, así como de los alimentos de origen animal y vegetal; mayores emisiones de gases con efecto invernadero, cambio climático y calentamiento global (Steinfeld et al. 2006). En este escenario, tanto el ambiente como los sistemas de producción agroalimentarios no pueden ser sostenibles, para satisfacer las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones. Esta situación conduce, en general, a que los ecosistemas intervenidos por el hombre (agroecosistemas) reduzcan el aporte de servicios agroecosistémicos. Los servicios que prestan los ecosistemas son los beneficios que las personas y la sociedad en general obtienen de ellos (Daily 1997; Greenwalt y McGarth, 2009). Estos beneficios contemplan: i) servicios de suministro, como los alimentos, materia prima y el agua; ii) servicios de regulación (climática), la retención del suelo y captación de agua; servicios de sustento, como la formación del suelo y los ciclos de los nutrientes; y iv) servicios paisajístico, recreativo y sociocultural, como los beneficios psicológicos, espirituales, religiosos entre otros beneficios intangibles (MEA 2005).

Los sistemas de producción agropecuarios son dinámicos y complejos ya que presentan propiedades no lineales debido a que experimentan cambios y desequilibrios a través del tiempo como resultado de nuevas interacciones entre sus componentes (Calvente 2007). Ello explica que el comportamiento productivo actual y el nivel de aporte de servicios agro-ecosistémicos de los sistemas de producción animal sea el resultado de un complejo proceso histórico de interacciones físico-

biológicas y de manejo integral de los recursos por parte del productor, el cual es condicionado por factores económicos, sociales, culturales y de políticas de apoyo institucional.

Esta situación ha conducido a diversas discusiones e iniciativas sobre el ambiente y el equilibrio ecológico llevadas a cabo en las últimas seis décadas a nivel mundial. Dentro de las iniciativas que se han implementado a nivel de sistema de producción agropecuario, se encuentran los sistemas agrosilvopastoriles como una estrategia para contrarrestar el impacto negativo que ha generado la ganadería extensiva.

Los sistemas silvopastoriles son prácticas de origen tradicional, donde se conjuntan árboles (leñosos, maderables, forrajeros o frutales) o arbustos, pastos, cultivos agrícolas y el ganado con un manejo integral. Actualmente se ha posicionado como una alternativa sustentable para aumentar la biodiversidad animal y vegetal, permitiendo obtener mejor reproducción del ganado producción de carne y leche, con reducción de los costos de producción al no fomentar el uso de insumos externos (Murgueitio y Solorio 2008).

Estudios realizados sobre el tema muestran que entre los servicios ecosistémicos importantes de los SSP están los siguientes: a nivel de sistema de producción, se destacan el aumento de los nutrientes del suelo, la provisión de un microclima favorable alrededor del árbol y de hábitat para especies animales y vegetales (Guariguata y Ostertag 2001; Crespo 2008; Romero-Murcia 2010) En la escala de paisaje, los árboles aislados aumentan la conectividad para las poblaciones animales y constituyen focos de dispersión de especies vegetales (Menning et al. 2006). A una escala mayor, los árboles capturan y almacenan carbono en su biomasa, moderan la escorrentía y la lixiviación, y protegen las cuencas (Ibrahim et al. 2006; Nahed et al. 2009) Sin embargo, a nivel de agro-ecosistema, no es tan común que estas evaluaciones se hagan con un enfoque multicriterio y multinivel. Es decir, considerando todos los servicios agroecosistémicos, de provisión, regulación, culturales y de soporte y estos a su vez evaluados a diversas escalas (local, de paisaje y global), limitando la visión de los aportes que brindan estos agro-ecosistemas. Por ejemplo, en Chiapas, en 2007 Aguilar realizó un estudio a nivel de

paisaje, donde identificó el almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en monocultivos y silvopastoriles en la selva Lacandona. El estudio contribuyó a resaltar la importancia que tienen los sistemas silvopastoriles en la captura de carbono, entre otros servicios agroecosistémicos que aportan.

La presente investigación tuvo por objetivo analizar el aporte de servicios agroecosistémicos (regulación, cultural, soporte y provisión) en sistemas ganaderos con prácticas agrosilvopastoril y extensiva, en cuatro localidades del municipio de Pijijiapan, Chiapas, México, mediante indicadores multicriterio y multinivel. Además, se identificó su relación con factores socioeconómicos, tecnológicos e históricos. Dicho estudio se realizó para dar continuidad a un trabajo previo, por lo que existe experiencia de implantación del manejo agrosilvopastoril en la zona por más de ocho años continuos, y los productores se muestran interesados en brindar las facilidades (seguridad, disponibilidad de tiempo) para realizar el estudio.

ANTECEDENTES O ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Servicios agroecosistémicos

Los servicios ecosistémicos (SE) fueron definidos en los años noventa desde diferentes perspectivas. En el presente estudio se adoptó la definición propuesta por Daily (1997), y Greenwalt y McGarth (2009), quienes definieron servicios agroecosistémicos como: “las condiciones y procesos de los ecosistemas manejados por el ser humano que proveen bienes y servicios a las personas y a la sociedad en general”. Es relevante mencionar que “los ecosistemas proveen bienes y servicios por su sola existencia, independiente de la acción realizada por los seres humanos” (Garay 2010).

Tomando como base la función que cumplen los SE para la sociedad, Millenium Ecosystem Assesment (MEA 2005) los clasifica en:

- **Servicios de provisión.** Son los recursos tangibles o consumibles por los seres humanos como: comida, fibra, combustible o agua.
- **Servicios de regulación.** Son aquellos patrones y procesos ecológicos que contienen las dinámicas de la naturaleza dentro de ciertos límites; reducen los desastres pandémicos y catástrofes climáticas.
- **Servicios culturales.** Son aquellos servicios intangibles y no consumibles, que los ecosistemas suministran, por ejemplo: la recreación, el atractivo estético o espiritual de la naturaleza.
- **Servicios de soporte.** Son vitales para el mantenimiento de todos los demás servicios e incluyen los ciclos de nutrientes, producción primaria y formación de suelos.

La mayoría de los servicios ecosistémicos que existen en el planeta han sido intervenidos por la actividad humana y en un esfuerzo por recuperar o mantener su funcionalidad se han potenciado prácticas que reducen su impacto negativo de manera significativa en los ecosistemas. Uno de los enfoques es el desarrollo ganadero mediante manejo silvopastoril. A pesar de que la ganadería por años ha sido una de las principales causantes de efectos ambientales negativos, hoy en día resulta ser una de las actividades con mayor potencial para realizar contribuciones

positivas al manejo de la naturaleza, en comparación con los sistemas extensivos (Alonso 2011).

Enfoques para la evaluación de los servicios ecosistémicos

Hoy en día existen varios enfoques o marcos de análisis para la evaluación de los ecosistemas, uno de ellos es el de La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB por sus siglas en inglés), el cual es un marco de análisis a escala mundial que se centra en hacer visible los valores de la naturaleza al estudiar el beneficio económico mundial de la diversidad biológica, los costos de la pérdida de biodiversidad y la falta de medidas protectoras frente a los costos de una conservación efectiva. Además, define a los servicios ecosistémicos como “la contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano”. Su objetivo principal es incorporar los valores de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas en la toma de decisiones en todos los niveles. Para lograr dicho objetivo se trabaja en la difusión de la amplia gama de beneficios proporcionados por los ecosistemas y la biodiversidad, demostrando sus valores en términos económicos (TEEB 2017).

Por su parte, la agencia Ambiental Europea en un esfuerzo internacional para acordar una clasificación común de los servicios ecosistémicos, implementó una iniciativa a la que denominó “Clasificación Común Internacional de los Servicios Ecosistémicos” (CICES por sus siglas en inglés). Clasifica sólo a los servicios ecosistémicos finales (por ejemplo: producción de alimentos, regulación del ciclo del agua) los cuales contribuyen directamente a la sociedad, pero también entrega un marco de referencia para la clasificación de servicios ecosistémicos intermedios (por ejemplo: polinización, ciclo de nutrientes), que contribuyen de forma indirecta (CICES 2017).

Otro enfoque es el de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) donde se recalca la dependencia que tienen los seres humanos de los ecosistemas de la Tierra y de los servicios que estos proporcionan. Dicha EEM tuvo como objetivo evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las bases científicas para las acciones necesarias con el fin de mejorar la

conservación y el uso sostenible de los mismos, así como su contribución al bienestar humano. Como resultado de la EEM se identificó que, a escala local y nacional, existe información relativamente limitada acerca del estado de muchos servicios de los ecosistemas. Esta EEM resulta ser un punto de partida para impulsar evaluaciones a nivel local, disminuyendo la incertidumbre que se tiene desde el punto de vista global (MEA, 2005).

En este último marco de análisis y clasificación de los servicios ecosistémicos se basó la presente investigación, ya que presenta una visión transversal o integra perspectivas de las ciencias naturales y sociales. Además, permite realizar el análisis en múltiples escalas (nacional, regional, cuenca, entre otras). El diseño de la metodología parte del enfoque ecosistémico, es aplicable a escenarios sociales, especialmente aquellos involucrados en proyectos que durante su operación requieren del uso y aprovechamiento de recursos naturales. Además, contribuye a definir acciones de conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y a su vez permite identificar cómo la intervención humana en los ecosistemas puede incorporar beneficios directos e indirectos para la sociedad, y también generar cambios espaciales y temporales que ocasionan transformaciones en los ecosistemas, sus procesos y funciones, impactando en el bienestar humano.

Agroecosistemas y servicios agroecosistémicos

El concepto de sistemas de producción animal (en sus diferentes modalidades, como intensiva, extensiva y silvopastoril, entre otras) del que parte la presente investigación es definido por Parra (1982) como el conjunto de plantas y animales que en un clima y suelo dados son manejados por el hombre con técnicas y herramientas características para lograr un producto deseado. Dicho concepto se sustenta, a su vez, en el concepto de agro-ecosistemas, definido como un ecosistema, modificado en mayor o menor medida por el ser humano para utilizar los recursos naturales en los procesos de producción agrícola, pecuaria y forestal o de fauna silvestre; y articula a los ecosistemas, los sistemas sociales y el conocimiento agrícola tradicional (Hernández 1977). Desde el punto de vista biológico, esta investigación también se relaciona con los ecosistemas, al

contemplar la actividad del ser humano dentro del sistema viviente autosuficiente compuesto de atmosfera, agua, minerales, suelo, plantas, animales y microorganismos que funcionan juntos para mantener una unidad viable (Odum 1971). De tal forma que en el estudio de los servicios ecosistémicos que aportan los diferentes sistemas ganaderos, gravitan los tres conceptos antes señalados. Por ello, en esta investigación hemos adoptado el concepto de servicios agroecosistémicos, debido a que nos es especialmente útil para el análisis de la ganadería bovina, como agro-ecosistema, con prácticas silvopastoril y extensiva. Sin embargo, casi todos los trabajos consultados utilizan los conceptos de servicios ecosistémicos o servicios ambientales, aun cuando las evaluaciones se han realizado en diferentes agroecosistemas.

Problemática de la ganadería bovina y los servicios agroecosistémicos

Actualmente la ganadería en México experimenta abandono y la crisis en este sector se remonta a los años ochenta a partir del cambio de modelo económico, donde se agudizó con las políticas orientadas a favorecer a los grandes productores, y por la apertura comercial con la firma del TLCAN (Cavallotti 2014). La mayor parte de los productores son pequeños, con limitada y frágil vinculación con el mercado, que día a día afrontan grandes dificultades para mantener un aporte económico aceptable. Sin lugar a dudas, a pesar de los enormes incrementos en la producción tanto de carne en canal, en pie o de leche en la última década (SIAP 2017), la situación de un gran número de productores es precaria. Es por ello que surgen esfuerzos tanto de la academia como de ONG's que buscan apoyar a estos pequeños productores organizados y que muestran inquietud en llevar a cabo una reconversión en sus actividades productivas.

México, pierde, en promedio 40 mil hectáreas de bosques templados al año, siendo una de las principales causas del cambio de uso de suelo por ganadería y agricultura; esta situación crítica se agudiza aún más al tener como constante los efectos ambientales negativos que generan, los cuales impactan directamente en los servicios ecosistémicos (CONABIO 2013).

El enfoque de intensificación sostenible implica el aumento de la productividad en una misma área de tierra mientras se disminuyen los impactos ambientales negativos de la producción, así como el incremento de la provisión de los servicios ambientales (Cook et al. 2015). En este enfoque se sustentan los sistemas agrosilvopastoriles intensivos y sostenibles debido a que permiten que la ganadería sea amigable con el ambiente al revertir los efectos negativos de la ganaderización extensiva: deforestación, erosión, pérdida de biodiversidad, degradación de pasturas, emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y cambio climático, originado por una población demandante de alimentos (Nahed et al. 2013a).

En América Latina existen sistemas ganaderos tropicales compatibles con los conceptos de desarrollo e intensificación sostenible (Ibrahim et al. 2006), y amigables con el manejo de la diversidad biológica. Los beneficios proporcionados por las prácticas agroforestales pueden ser espaciales y temporales como herramienta fundamental para la producción animal en el trópico, a partir de la implantación y generalización de tecnologías adaptables al cambio climático.

Pese a los múltiples beneficios que ofrecen los sistemas silvopastoriles en materia de servicios agroecosistémicos (soporte, provisión, cultural y regulación), existen factores que limitan su implementación, como el período de espera en el establecimiento de árboles en potreros para que los animales puedan pastar los potreros recién establecidos, sin comprometer la sobrevivencia de los árboles, y el alto costo de establecimiento (Ibrahim et al. 2006).

La propuesta donde los usuarios deben pagar por el servicio ambiental que están recibiendo a los proveedores de dicho servicio, ha funcionado en países de primer mundo donde el nivel socioeconómico y cultural es elevado, haciendo que la percepción hacia la conservación del ambiente a mediano y largo plazo sea más aceptada (Murgueitio 2008).

Pangiola y colaboradores (2004), evaluaron el uso del mecanismo de pago por servicio ambiental, con el fin de estimular la adopción de prácticas silvopastoriles en Colombia, Costa Rica y Nicaragua; los factores que se incluyeron en el diseño

fueron características y técnicas de las prácticas que promovieron: los aspectos específicos de la biodiversidad, la captura de carbono, y la economía de las prácticas agrosilvopastoriles desde la perspectiva de los usuarios de la tierra. El diseño del mecanismo requirió abordar temas tales como: medir la cantidad real de servicio ambiental que está siendo aportado a fin de que se puedan realizar los pagos apropiados; proveer los pagos de manera que resulten en los cambios de uso del suelo deseados; y evitar la creación de incentivos perversos.

La ganadería bovina en Chiapas

En el sector agrario Chiapaneco, la ganadería es parte integral de la estrategia de sobrevivencia de muchas familias campesinas y juega un papel central en la capitalización de estas (Jiménez 2000). Actualmente los sistemas de producción ganadera son uno de los principales pilares de la economía para el estado, lo que refleja un incremento de la población ganadera. En 1970 existían en Chiapas 1, 249,326 cabezas de ganado bovino, en comparación con el último censo nacional de 2007 donde se registraron 2,500, 000 cabezas, reflejándose un incremento de más del doble en 37 años (INEGI 2007).

En Chiapas, hasta julio de 2017 había una extensión de 2.9 millones de hectáreas de pastoreo correspondiente al 33% del territorio estatal con 73 mil unidades de producción y un hato de 2.6 millones de cabezas, lo que posiciona la ganadería en Chiapas en el tercer lugar a nivel nacional, al alcanzar una producción de 120 mil toneladas anuales de carne en canal y 423.6 millones de litros de leche, con un valor en conjunto de 6 mil 800 millones de pesos anuales (SIAP 2017).

Al analizar la producción de ganado bovino en pie, en canal así como la producción de leche en el periodo de 1980 hasta el 2016, se observa un notorio aumento a partir del 2008 llegando a 2016 una producción de 217, 395 toneladas de ganado bovino en pie (ver figura 2 en anexo II), 115,503 toneladas de carne en canal (ver figura 3 en anexo II) y 423 millones 965 mil litros de leche (ver figura 4 en anexo II) lo que nos indica que esta actividad productiva tiene una importante contribución económica y social en el Estado (SIAP, 2017).

La ganadería bovina en Pijjiapan

Una de las principales actividades productivas del municipio de Pijjiapan, Chiapas es la ganadería bovina (ver anexo III). La mayor parte de la ganadería se ha basado en el manejo extensivo de ganado bovino, por lo general importado de zonas templadas y mal adaptado a las condiciones tropicales y subtropicales (Sánchez 1999), donde se registran bajos rendimientos y alto impacto en el agro-ecosistema, como consecuencia de dicho modelo productivo.

En el año 2016, se registró una producción de: I) ganado bovino en pie de 16,105 toneladas (representando el 7.4 % de la producción anual del estado); II) carne de ganado bovino en canal de 8,726 toneladas (representando el 7.5 % de la producción anual del estado) y III) leche de ganado bovino de 68 millones 143 mil litros (representado el 16.07 % de la producción anual del estado) (SIAP 2017).

Existen varios tipos de sistemas ganaderos en el municipio, entre los que se practican son el extensivo en mayor medida y en menor medida el intensivo, el orgánico y el sistema silvopastoril, los cuales se describen a continuación:

Ganadería extensiva

La ganadería extensiva es aquella en la cual el ganado se alimenta de los pastos naturales o inducidos que crecen en praderas o se aprovecha la paja y el rastrojo de maíz u otros cereales. Los sistemas extensivos, tradicionales o convencionales de producción animal se caracterizan principalmente por formar parte de un ecosistema natural modificado por el hombre. La ganadería extensiva se basa en una amplia extensión de tierra para el pastoreo; por lo que los costos de producción son bajos, aunque las ganancias de pesos y calidad de carne (dependiendo del manejo) resultan inferiores a los obtenidos en otros sistemas (FND 2017).

Ganadería intensiva o estabulada

La ganadería intensiva o estabulada consiste en mantener al ganado en corrales o potreros pequeños, alimentándolo con forrajes y alimentos balanceados por un periodo de tiempo determinado. Para este sistema se requiere sólo una reducida superficie de terreno con alta infraestructura para engordar un gran número de

animales. Se cuida principalmente la salud de los animales para obtener un mejor rendimiento en la producción de carne, leche y otros productos (FND 2017).

La elevada productividad, eficiencia y homogeneidad, de este sistema se debe a que se crea un ambiente de confort artificial para el ganado regulando variables como la temperatura, luz y humedad. Se logra satisfacer fácilmente las necesidades del mercado, pero como consecuencia los costos de producción son mayores debido a que los insumos son comprados además de impactar severamente al ambiente y al bienestar animal (FND 2017).

Ganadería orgánica, ecológica o biológica

La ganadería orgánica está integrada por diversas actividades agrícolas basadas en principios ecológicos, evitando el uso de agroquímicos (Von-B y Von-S 2004). Reconoce y maneja la interdependencia entre suelo-planta, planta-animal y animal-suelo para crear un sistema agroecológico sostenible, basándose en recursos locales (Thomson y Nardone 1999). Por ello la agricultura orgánica juega una importante función al impactar en la ganadería orgánica, generando estrategias que tratan de modificar algunas de las limitaciones en la producción convencional, y se fundamenta no solo en un mejor uso de suelo y un fomento al uso de insumos locales sino también en valor agregado y cadena de comercialización justa (Murillo et al. 2007; Nahed et al. 2009).

Sistemas agrosilvopastoriles

Los sistemas agrosilvopastoriles forman parte de la agroforestería, en donde se intensifica la presencia de árboles y arbustos en la ganadería, que al tener un manejo adecuado ofrece diversos beneficios (Palma et al. 2005). Es una alternativa sustentable para aumentar la biodiversidad animal y vegetal (Ojeda et al. 2003), lo que permite obtener más leche, carne y reducción de los costos de producción al no requerir insumos externos. Además, los productos son de alta calidad y pueden acceder a nuevos mercados como los ecológicos o verdes como los alimentos funcionales con mejor precio (Murgueitio y Solorio 2008). En la Figura 1 Se muestran los componentes que integran al sistema silvopastoril y sus interacciones.



Figura 1. Componentes que integran los sistemas silvopastoriles.

Prácticas en las que se basan los sistemas agrosilvopastoriles

Las diferentes prácticas dentro de la agroforestería pecuaria cobran gran importancia debido a que contribuyen con la conservación de la vegetación arbórea y arbustiva, a la rehabilitación y mejoramiento de suelo, los ciclos locales de agua y nutrientes donde se destacan la fijación de nitrógeno y la movilización o inmovilización del fósforo en suelos ácidos (Ibrahim y Andrade 2000), el mantenimiento, conservación y recuperación de la diversidad biológica (Murgueitio y Calle 1999), el ordenamiento territorial y la planificación de uso del paisaje (Sadeghian et al. 1999) y la producción de madera para múltiples usos (Pomareda 2000).

Las prácticas que se mencionan a continuación son las que se llevan a cabo en la mayoría de los SSP. Es importante mencionar que estas prácticas son elegidas y establecidas de acuerdo con el objetivo, necesidad o interés del productor, el número de prácticas silvopastoriles determinará la modalidad del sistema.

- Árboles dispersos en potreros

Consiste en sembrar y dejar crecer de forma dispersa árboles, arbustos y/o palmas en los potreros, los cuales proporcionan diversos servicios de provisión y productos como madera, frutales, sombra para animales y refugio para fauna silvestre. Se escogen principalmente plantas leñosas, pero todo depende del tipo de suelo y de las necesidades o interés del productor (Mirinidou y Jiménez 2010).

En el estudio de Ríos et al. (2007) se encuentran resultados benéficos en los sistemas con árboles al hallar mejoramiento en micropresas, además de observar la facilitación del agua y recarga de los acuíferos. Otros estudios, realizados por el proyecto Silvopastoril del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) en Esparza, Costa Rica, señalan que la escorrentía fue significativamente más alta en las pasturas degradadas (42 %), con respecto a los bancos forrajeros con leñosas perennes (3 %), bosques secundarios jóvenes (6 %) y pasturas con alta densidad de árboles (12 %). Estos datos nos indican que los usos de la tierra con alta cobertura arbórea, en donde se llevó a cabo el estudio, son favorables para la captura de agua. Impactando positivamente en los servicios agroecosistémicos de regulación.

- Cercos vivos

Los cercos vivos son una práctica agroforestal tradicional (Jiménez et al. 2007), la cual consiste en sembrar líneas de árboles y arbustos como soportes para el alambre, marcando los límites entre parcelas y entre diferentes usos de suelo; estas pueden ser de una o dos líneas y estar formada de plantas leñosas vivas solas o en combinación con postes muertos. Pueden ser sencillos con la presencia de una o dos especies o multiestrato que combina árboles forrajeros con frutales y/o maderables de diferentes alturas, considerándose esta última como el mejor tipo de cerca ya que se aprovecha todo el espacio vertical. Se tiene una variedad de especies y productos a corto y largo plazo y, como nunca se poda totalmente, es la que más apoya a la conservación de la biodiversidad; los cercos vivos en franjas simples o densas permiten contrarrestar el efecto negativo de los vientos sobre los pastos, cultivos agrícolas y animales; su acción protectora las convierte en cortinas o barreras rompe viento (Mirinidou y Jiménez 2010).

Los cercos vivos son económicos en su establecimiento, también mejoran la belleza y el valor del terreno, generan sombra, leña, nuevas estacas y diversos productos como forraje, frutos y madera. Además, proveen múltiples servicios ambientales: protegen el suelo, contribuyen en la captura de carbono y reducen presión a los bosques. Aparte, la combinación de especies puede transformar a los cercos vivos

en pequeños corredores biológicos que contribuyen a la conservación pues atraen animales silvestres, aves e insectos benéficos (Mirinidou y Jiménez 2010).

En la región de Monteverde, Costa Rica, el 25 % de las 400 especies arbóreas estimadas encontraron su hábitat adecuado en las cortinas rompevientos y los cercos vivos, ubicado en pastos de *Cynodon nlemfuensis*, usados para la producción lechera. Las aves (89 especies diferentes) usaron las cortinas como hábitat y fueron los vectores más importantes para la diseminación de las semillas de estas especies, especialmente cuando la cortina estaba conectada con el bosque. Estos sistemas silvopastoriles son un apoyo potencial considerable para la conservación de especies forestales dentro de este paisaje agrícola (Harvey 2003).

- Agrosilvopastoreo y manejo de Acahual

Los acahuales son la vegetación secundaria con diferentes grados de madurez, originado por la agricultura migratoria (Soto et al., 2011) y en donde con un correcto manejo o uso de estas áreas, se puede llevar acabo el pastoreo, resultando una estrategia para la supervivencia de la actividad pecuaria en épocas de estiaje (Jiménez et al. 2007).

La conexión de los sistemas en forma de corredor influye en el movimiento de los animales y en la dispersión de las plantas (Casasola et al. 2009). Los acahuales pueden fungir como biocorredores importantes en paisaje agrícolas, caracterizados por ecosistemas fragmentados que aumenta la biodiversidad.

- Pastoreo en plantaciones y huertos

El pastoreo de ganado bovino en plantaciones forestales y huertos frutícolas es una práctica extendida para el aprovechamiento de forraje, residuos agrícolas y control de malezas (Jiménez et al. 2007).

Se han evaluado sistemas silvopastoriles con el uso de especies arbóreas diferentes y un sistema de monocultivo de gramíneas. En estas condiciones Devedra e Ibrahim (2004) señalaron que los sistemas con árboles tienden a diferenciarse de los que poseen pasto sin asociar, con rendimientos más estables en el pasto asociado. Esto nos indica que se pueden obtener beneficios sustanciales al implementar árboles multipropósito en los sistemas ganaderos.

- Pastos en callejones de árboles

En esta práctica los árboles son plantados en franjas paralelas entre pastos de corte con el objetivo de mejorar la fertilidad de los suelos, prevenir la erosión y reducir el pisoteo de los animales; las especies más utilizadas en Chiapas son los árboles fijadores de nitrógeno como el cocoite (*Gliricidia sepium*), el guash (*Leucaena leucocephala*) entre otros (Ojeda et al. 2003).

Estudios realizados en Panamá en suelo ácidos (pH= 4.6), muestran que la integración de *Acacia mangium* en pasturas con *Brachiaria humidicola*, contribuyó al mejoramiento de la calidad del forraje de la gramínea y al aumento del contenido del fósforo y nitrógeno del suelo, cuando se comparó con el monocultivo de *B. humidicola* (Bolívar 1998). Durante la época de lluvia, la presencia de la fauna del suelo, en especial de las lombrices, fue más alta en suelos con 240 árboles ha⁻¹ de *A. mangium*.

Se ha demostrado que los sistemas agrosilvopastoriles son muy importantes para la captura de carbono en los suelos, así como en los biomas leñosos; y los sistemas extensivos al ser en su mayoría monocultivo de gramíneas, la captura de carbono no es significativa (Beer et al. 2003).

- Bancos forrajeros

El objetivo de los bancos es proporcionar forraje con alto contenido de proteína, buena digestibilidad y aportan materia seca durante todo el año; se cultiva una o varias plantas forrajeras arbustivas con altas densidades y en áreas pequeñas, o medianas para aportar forrajes de alta calidad, contribuye como suplemento alimenticio siendo especialmente importante en temporada de estiaje (SAGARPA 2012). Los bancos de proteína son útiles para la rápida engorda del ganado y la producción de leche (Jiménez et al. 2007).

Aquilla (2005) demostró que los bancos forrajeros contribuyen a disminuir el efecto de la contaminación de las aguas. Además de que aumentan su capacidad de retención de suelo en las praderas, ayudan a la infiltración y protegen el suelo, los manantiales y las quebradas. Por ello, la planificación de las fincas ganaderas, en función de la protección de los recursos existentes, puede contribuir a regular y

conservar los recursos hídricos mediante la arborización, la adopción de sistemas silvopastoriles y las prácticas de conservación de suelo.

También se encontró una diferencia en la restauración de suelos degradados, donde se ha comprobado un aumento significativo de materia orgánica en solo 5 años de pastoreo en sistemas silvopastoriles. Al realizar las comparaciones de conservación de materia orgánica, en sistemas extensivos con solo la presencia de pasturas de gramínea y en sistemas agrosilvopastoriles, donde conjuntan gramíneas con árboles, se concluye que los sistemas agrosilvopastoriles, conservan mejor la materia orgánica, especialmente en los suelos ácidos y en los que se encuentran pobres de nutrimentos (Velasco 1998).

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿En qué medida los sistemas ganaderos con prácticas agrosilvopastoril, en localidades del municipio de Pijijiapan, Chiapas, presentan mejores indicadores técnicos y socioeconómicos, y brindan mayor aporte de servicios agroecosistémicos a la sociedad a nivel local, de paisaje y global, en comparación con los manejados de forma extensiva?

HIPÓTESIS O SUPUESTO

Los sistemas ganaderos con manejo agrosilvopastoril de localidades del municipio de Pijijiapan, Chiapas, presentan mejores indicadores técnicos, socioeconómicos y brindan mayor aporte de servicios agroecosistémicos a la sociedad a nivel local, de paisaje y global que los manejados de forma extensiva.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar en qué medida los sistemas ganaderos con prácticas silvopastoril, en localidades del municipio de Pijijiapan, Chiapas, presentan mejores indicadores técnicos, socioeconómicos y brindan mayor aporte de servicios agroecosistémicos de regulación, cultural, soporte y provisión a la sociedad, en comparación con los manejados de forma extensiva.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la trayectoria histórica de la ganadería bovina a nivel municipal.
- Caracterizar desde el punto de vista socioeconómico y tecnológico a la ganadería bovina de cuatro localidades del municipio de Pijijiapan Chiapas.
- Estimar el aporte de servicios agroecosistémicos a la sociedad a nivel local, de paisaje y global de los sistemas ganaderos con prácticas agrosilvopastoril y extensiva, en las cuatro localidades.
- Elaborar un índice multicriterio que evalúe el aporte de servicios agroecosistémicos, de sistemas ganaderos con prácticas agrosilvopastoril y extensiva en localidades de Pijijiapán, Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en cuatro localidades del municipio de Pijijiapan Chiapas, México que a continuación se describen (Figura 2):

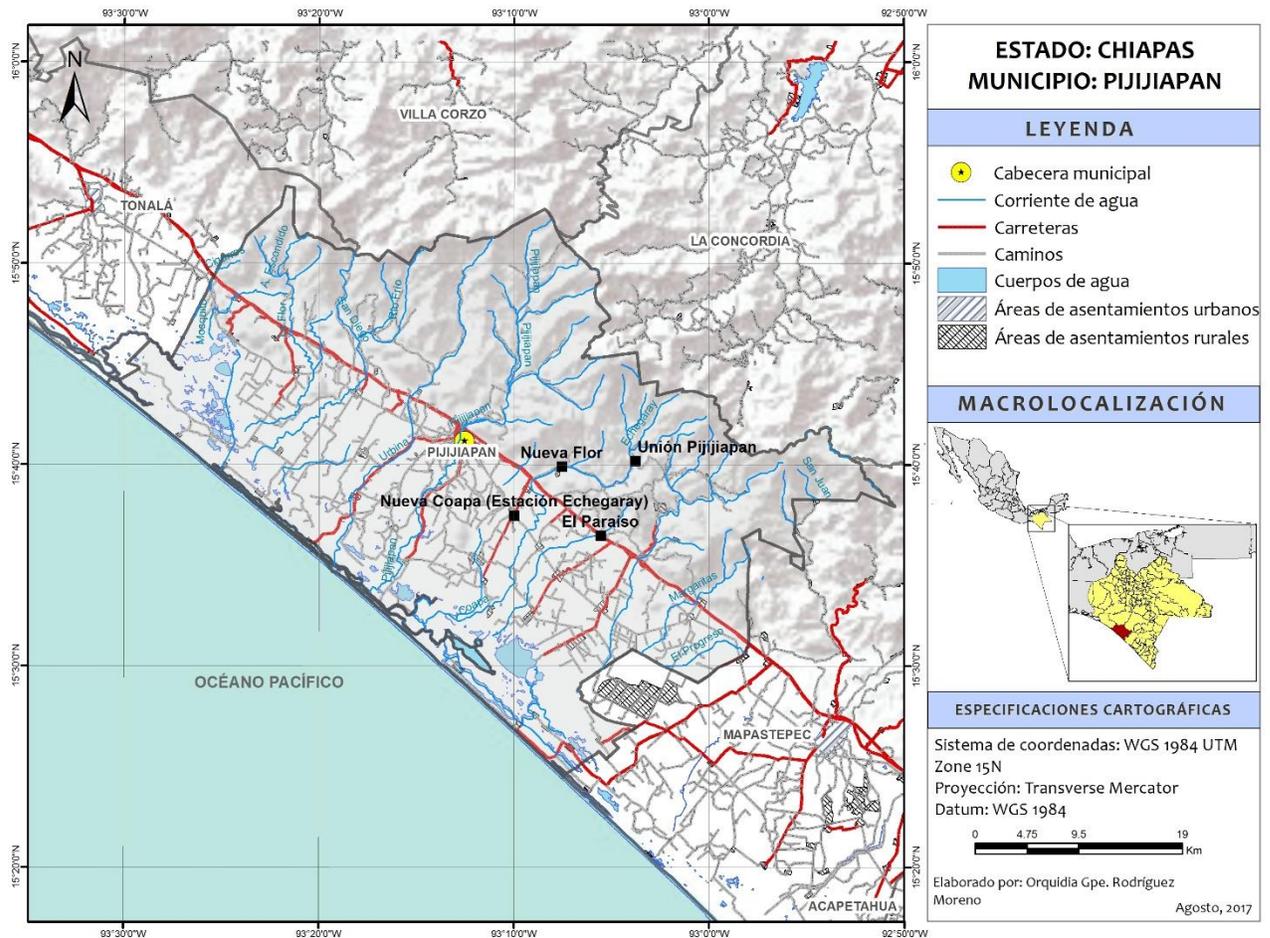


Figura 2. Mapa de ubicación de las comunidades a estudiar: Unión Pijijiapan, Nueva Flor, El Paraíso y Coapa Echegaray del municipio de Pijijiapan, Chiapas., México.

(FUENTE: elaboración propia con datos del INEGI)

Pijijiapan, Chiapas, México

Se encuentra asentado en los límites de la Sierra Madre y de la Llanura Costera del Pacífico. Presenta un relieve variado montañoso al noroeste y planicie al suroeste.

Sus coordenadas geográficas son 15° 41' 12" N, 93° 12' 33" O y una altitud (de la cabecera municipal) de 57 msnm, limita al norte con los municipios de Villa Corzo y La Concordia; al este con Mapastepec; al sur con el océano Pacífico; y al Oeste con Tonalá. Las principales cuencas que atraviesan e territorio municipal son: Margaritas, Jericó, San Isidro, Central, Urbana, Pijjiapan y Coapa. Su extensión territorial es de 2,223.30 km² que equivale al 47.88 % del total de la región Istmo Costa y al 2.94% de la superficie total del estado (INEGI, 2014).

La actividad principal del municipio es la ganadería, por lo que la cobertura de suelo principal son en su mayoría los pastizales inducidos. Los suelos que predominan son el Litosol (34.24 %), Regosol (31.18%), Cambisol (13.19%), Gleysol (12.52%) Fluvisol (3.40%), Luvisol (3.01%) y Solonchak (0.60%). El clima es cálido subhúmedo con abundantes lluvias en verano con una precipitación media anual que oscila entre 2000mm - 4000 mm y presenta una temperatura media anual que oscila entre 21 °C y 34.5°C.

Las características bióticas, abióticas y sociales (régimen de propiedad) varían en cada localidad. Dichas localidades se describen (a grandes rasgos) a continuación:

❖ **Coapa Echegaray**

Es un núcleo agrario de tipo ejidal que se localiza al sur de la cabecera municipal. Tomando como referencia la cuenca Coapa la comunidad se encuentra en la parte baja, con una altitud de 25 msnm aproximadamente. La población total de la comunidad es de 110 personas (INEGI 2015).

❖ **La Nueva Flor**

Se localiza al sur-este de la cabecera municipal. Tomando como referencia la cuenca Coapa, esta localidad se encuentra en la parte media-alta, con una altitud de 82 msnm aproximadamente. La tenencia de la tierra en esta localidad es propiedad comunal y la población total de la comunidad es de 375 personas (INEGI 2015).

❖ **El Paraíso**

La localidad se ubica al sur-este de la cabecera municipal, y tomando como referencia la cuenca Coapa, se encuentra en la parte media de esta, a 35

msnm. El tipo de tenencia de la tierra es propiedad comunal y la población total de la comunidad es de 41 personas (INEGI 2015).

❖ Unión Pijjiapan

La localidad se ubica al sur-este de la cabecera municipal y tomando como referencia la cuenca Coapa, se encuentra en la parte alta de esta, a 260 msnm aproximadamente. El tipo de tenencia de la tierra es propiedad comunal y la población total de la comunidad es de 242 personas (INEGI 2015).

En la Figura 3 se presenta un modelo conceptual cualitativo y general de la estructura y las funciones de las unidades de producción ganaderas presentes en las localidades estudiadas.

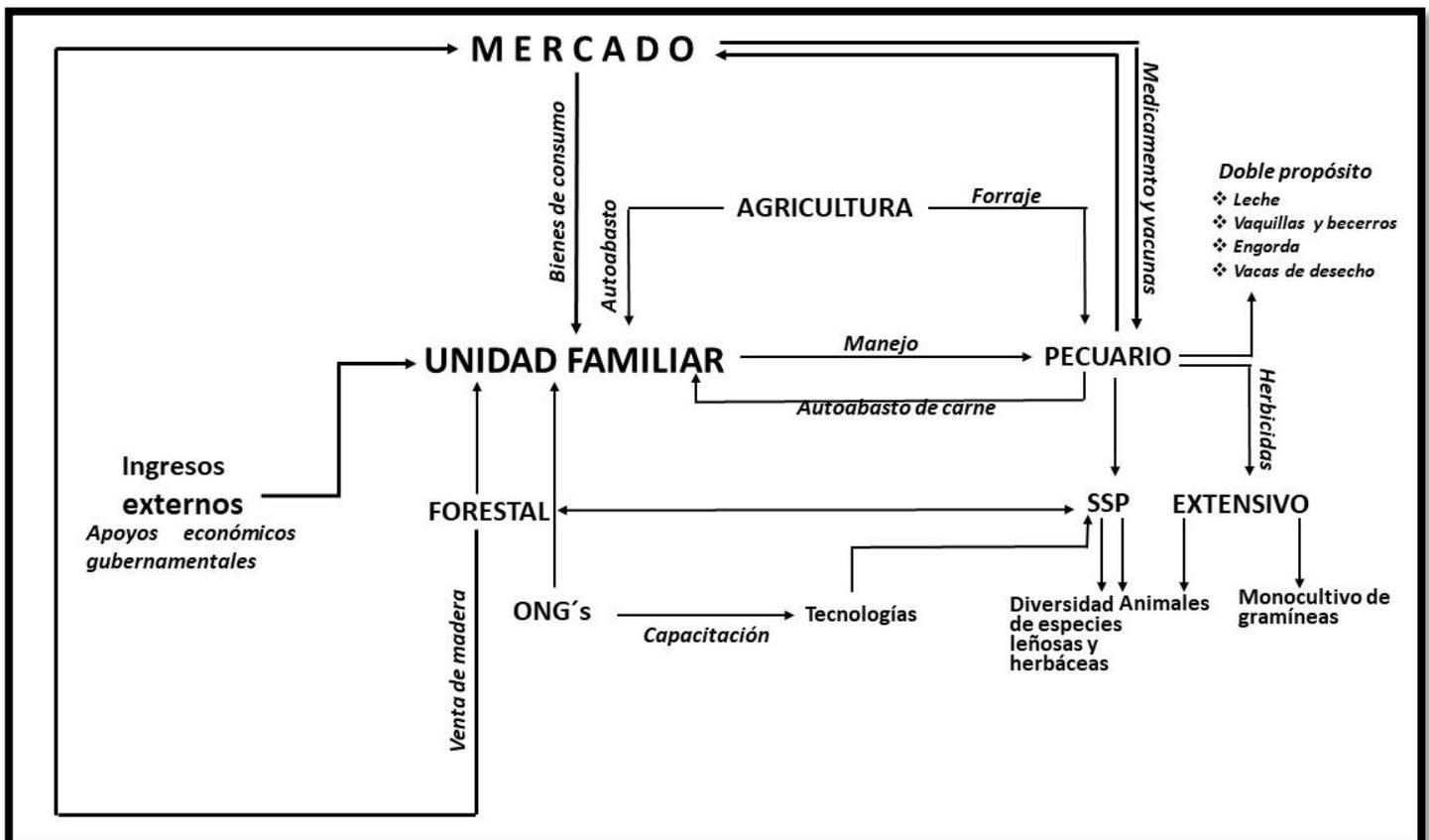


Figura 3. Modelo conceptual cualitativo de la estructura y funciones de los sistemas ganaderos con prácticas silvopastoril y extensiva estudiados.

(FUENTE: elaboración propia)

Metodología general y marco muestral

La metodología de la presente investigación se basó en el enfoque de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, la cual parte del enfoque agroecosistémico, y es aplicable a escenarios sociales, especialmente aquellos involucrados en proyectos que durante su operación requieren del uso y aprovechamiento de recursos naturales. La investigación incluyó los siguientes apartados: 1) Trayectoria histórica de la ganadería bovina; 2) Caracterización socioeconómica y tecnológica de la ganadería bovina; y 3) Análisis de algunos indicadores de servicios agroecosistémicos

Mediante criterios de juicio (económicos, disponibilidad de tiempo, accesibilidad) se decidió incluir a los cuatro grupos de productores silvopastoriles, existentes en cuatro localidades de la zona de estudio (Coapa Echegaray, La Nueva Flor, El Paraíso, y Unión Pijijiapan). Se consideró incluir aleatoriamente a más del 30 % del total de los productores silvopastoriles de cada grupo o localidad, con lo que se adquirió mayor representatividad de muestreo en la zona. A la par, de cada grupo de productores con prácticas silvopastoriles de cada localidad, se tomó un número similar de productores que practican una ganadería extensiva. De esta forma se incluyeron a dieciocho productores con manejo agrosilvopastoril y diecisiete productores con manejo extensivo. El hecho de que se hayan incluido cuatro comunidades independientes, fortalece el muestreo de los indicadores estudiados, con lo que se reduce la posible variación o incertidumbre de los datos.

Trayectoria histórica de la ganadería bovina a nivel municipal

Se caracterizó la trayectoria histórica de la actividad ganadera en el municipio de Pijijiapan (Dosi 1982; Posas et al. 1994). La información primaria se obtuvo mediante entrevistas a profundidad con informantes clave de organizaciones, asociaciones y productores de edad avanzada. También se obtuvo información documental, secundaria, en el archivo histórico del municipio. La información se organizó cronológicamente y se presenta de forma descriptiva y narrativa (Vela 2001; Gillham 2005).

Caracterización socioeconómica y tecnológica de la ganadería bovina

La caracterización socioeconómica y tecnológica de la ganadería bovina se realizó mediante el uso de 26 indicadores funcionales y estructurales definidos previamente por Toussaint (2002), Mena et al. (2004) y Nahed et al. (2006): edad del productor (años), antigüedad en la ganadería (años), superficie de tierra propia total (ha), superficie de uso ganadero (ha), superficie de pastizal con árboles dispersos (ha), superficie de pastizal abierto (ha), superficie de uso agrícola (ha), superficie de acahual y bosque (ha), superficie deforestada en los últimos 6 años (ha), superficie reforestada en los últimos 6 años (ha), productores afiliados a organizaciones ganaderas (%), recibe asistencia técnica para la ganadería y la agricultura (% de productores), jornales temporales contratados por vaca y año, tamaño del hato (UA), total de unidades animal (UA), carga animal, (UA/ha), tasa de natalidad (%), tasa de mortalidad en bovinos adultos (%), tasa de mortalidad en becerros (%), producción de leche por vaca y año (l), producción de leche por ha y año (l), ingreso por variación de inventario (MX\$), margen neto por vaca y año, SMOF (MX\$), margen neto por ha y año, SMOF (MX\$), ingreso a la UPG derivado de la ganadería (M\$), ingreso a la UPG derivado de la ganadería (%). Para ello se aplicó un cuestionario mediante la técnica de entrevista informal semiestructurada (Vela 2001; Gillham 2005) a una muestra representativa de 35 productores de 4 localidades (Unión Pijijiapan, Nueva Flor, El Paraíso y Coapa Echeagaray). Además, se realizaron observaciones directas en las unidades de producción ganaderas (UPG) con prácticas silvopastoril y extensiva.

Análisis de los servicios agroecosistémicos

Las variables e indicadores para la evaluación multicriterio y multinivel (local, paisaje y global) de los servicios agroecosistémicos de los sistemas ganaderos evaluados se obtuvieron mediante entrevista, medición, estimación en campo y observación directa. El ISAGAN integró nueve indicadores: índice del estado de suelo, densidad de árboles, riqueza florística arbórea, cercos vivos, servicio cultural, carbono total, emisión de CH₄ por unidad animal; abundancia de abejas y abundancia de fauna silvestre. El ISAGAN consta de una escala de 1 a 100%. Con base en lo anterior, fue posible observar la relación que tiene cada indicador técnico y socioeconómico

con el ISAGAN. En las siguientes secciones se describe cada indicador que integro el ISAGAN para el análisis de los servicios agroecosistémicos.

A continuación, se describen dichos indicadores:

- **Captura de Dióxido de Carbono (CO₂)** en: árboles (maduros y jóvenes), ramas caídas, herbáceas, hojarasca y humus, raíces (gruesas y delgadas).

Este indicador tiene un tipo de impacto global y el tipo de servicio agroecosistémico que aporta es de regulación.

Sustento teórico: El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los Gases de Efecto Invernadero más importantes y su emisión a la atmosfera por el cambio de uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución de las zonas tropicales (Schneider 1989; Houghton y Woodwell 1989; Lashof y ahuja 1990; Dixon et al. 1994; Mansera 1995; Shimer 1995; Ordoñez 1998 y 1999).

Los principales almacenes de carbono en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmosfera y el suelo (Apps et al. 1993; Brown et al. 1993; Dixon et al. 1994).

Una vez que el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, este participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol al crecer incremente su follaje, ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa); así como altura y grosor de tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, dando lugar a una competencia entre las copas de los árboles por la energía solar. Para originar a su vez un dosel cerrado. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, misma que al

degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable que, a su vez, aporta nuevamente CO_2 al entorno (Ordóñez 1998 y 1999).

Finalmente, durante el tiempo en que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es remitido (al suelo o a la atmósfera), se considera que se encuentra almacenado. En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o la quema de la biomasa) el carbón fluye en la atmósfera para regresar a su ciclo (Ordóñez 1998 y 1999).

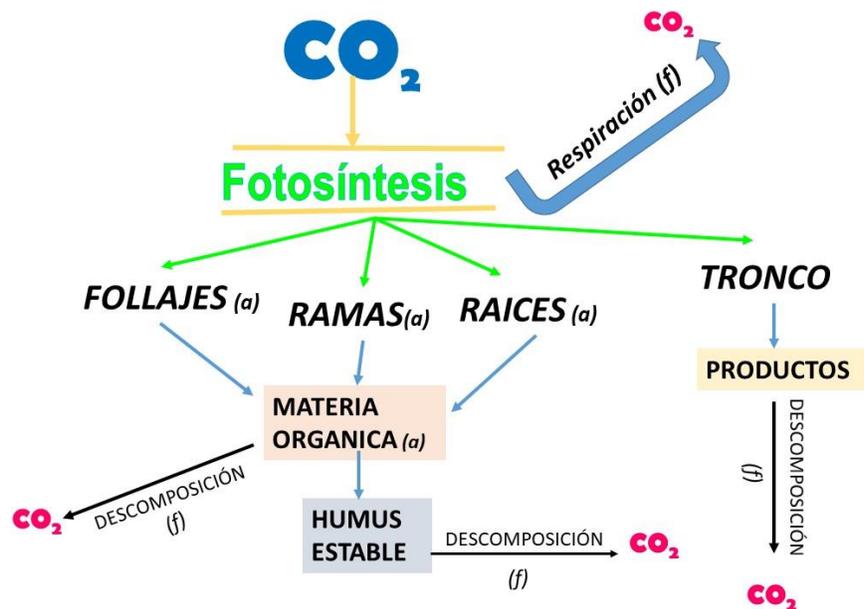


Diagrama simplificado de los flujos (f) y almacenes (a) de carbono en un ecosistema con componente forestal (FUENTE: Adaptación del trabajo de Benjamín y Mansera, 2001).

Metodología: La metodología que se aplicó se basó en la adaptación que realizaron Rendón y Soto (2007). Dichos autores partieron de experiencias que acumularon en campo usando metodologías convencionales del IPCC (2003), y considerando minimizar la complejidad, el tiempo y los costos en el proceso de medición y análisis.

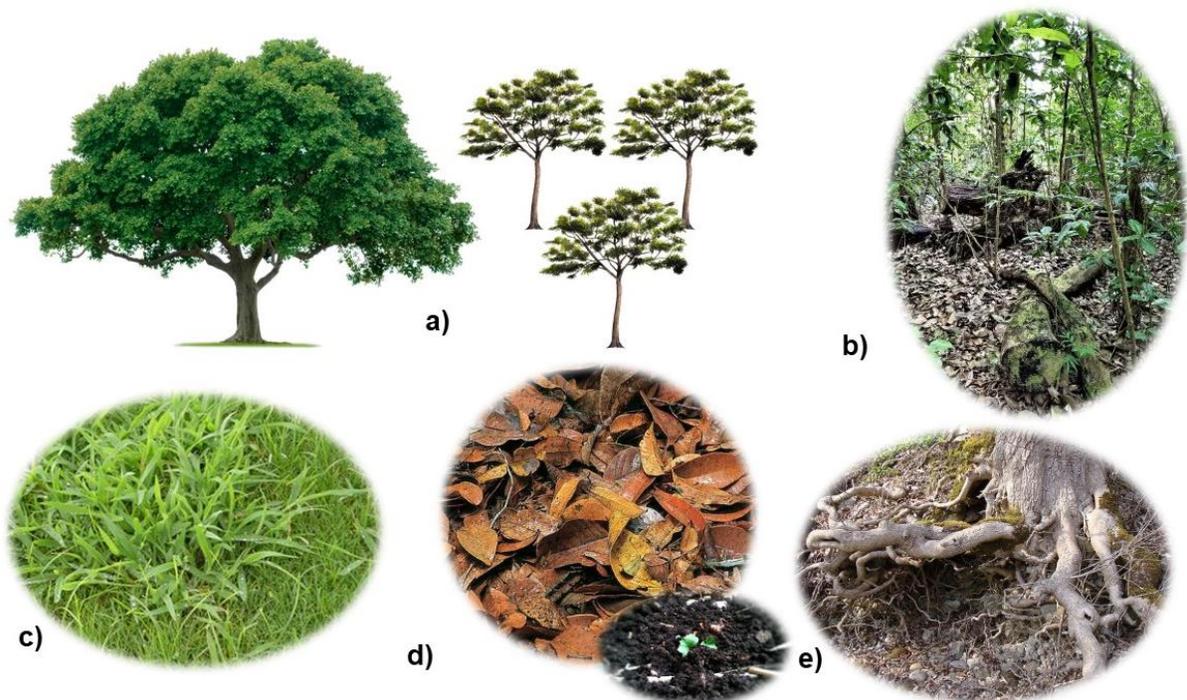
Esta metodología fue generada para que los productores o técnicos pudieran llevar a cabo una estimación realista (comparable con las metodologías convencionales) de la captura o secuestro de CO_2 en sus parcelas. La metodología es aplicable en: ambientes con clima tropical o subtropical, y terrenos agrícolas, cafetales, taungya,

plantaciones forestales, milpas, pastos, acahuales, jóvenes, medianamente maduros o maduros y tierras degradadas.

Mediciones y estimación por componentes

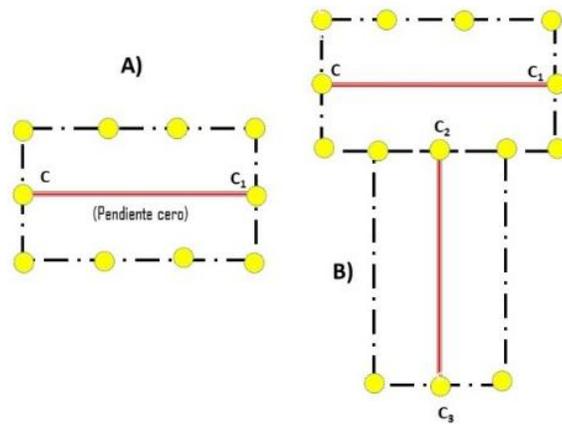
Las mediciones se realizaron por cada componente de la parcela: árboles, herbáceas, hojarasca y ramas caídas. La biomasa de las raíces se estimó de forma directa.

Componente a analizar: a) árboles (maduros y juveniles), b) ramas caídas, c) herbáceas, d) hojarasca y humus e) raíces (gruesas y finas)



Procedimiento base para el muestreo:

1. Establecer dos rectángulos que forman entre ellos una "T", Mediante dos cuerdas y varias estacas se señala el centro y los lados de cada rectángulo. Cada rectángulo midió 20 m de largo x 12.5 m de ancho (en total 500 m²). El lado mayor de uno de los rectángulos se marca sobre la pendiente cero [(C-C₁) sobre la parte más plana del terreno] y el otro sobre la pendiente máxima que se localiza sobre la "cuesta" más fuerte.



2. El tamaño de los rectángulos se ajustan ligeramente según la inclinación del terreno ya que es frecuente encontrar parcelas de cultivo entre 5 y 40 grados de inclinación; en estos casos se hace una corrección debido a la pendiente, considerada por apreciación visual.

Cuadro 1. Longitudes corregidas según la pendiente

| Ángulo ° | Desnivel con 20 m de fondo (m) | Base corregida (m) |
|----------|--------------------------------|--------------------|
| 0-14 | Menos de 5 | 20.0 |
| 15-18 | 5 | 20.5 |
| 19-25 | 8 | 21.0 |
| 26-37 | 10 | 22.0 |
| 38-42 | 13 | 23.0 |
| 43-52 | 15 | 24.0 |
| 53-55 | 16 | 25.0 |

3. Es necesario hacer un inventario de lo que hay en la parcela.

La metodología está diseñada para emplearse en una superficie total de una hectárea. Si se presentan terrenos más extensos se levanta más de una parcela de muestreo; dentro de las consideraciones que se toman en cuenta para determinar

el número de parcelas muestra cuando se presenta este caso, está el relieve y la vegetación de los terrenos. Las parcelas son debidamente georreferenciadas.

Metodología para realizar mediciones y estimaciones por componente:

Biomasa viva: Para estimar la biomasa aérea se realizó un inventario forestal, con la finalidad de conocer el número y tamaño de los árboles. Con ello y usando fórmulas especiales que se describen más adelante, se estimó la biomasa total. Por estudios anteriores, se conoce que la mitad de la biomasa total es carbono.

Medición de los árboles: En cada uno de los rectángulos se registró y midió el perímetro de todos los árboles que estaban por arriba de 31.4 cm (de perímetro o circunferencia). Esta medida se tomó alrededor de la altura de pecho (1.30 m de alto del suelo) con una cinta métrica de costurera. Un cm de diámetro= 3.14 cm de la cinta métrica en centímetros.

También se midieron las alturas de los árboles más grandes, todos aquellos que están por arriba de 6m. En casos donde no se contó con un instrumento de medición, la altura se estimó visualmente por comparación con una vara de 3 m.

Medición de árboles juveniles: En la mitad de uno de los rectángulos (125 m²) se midió con un vernier todos los árboles juveniles, que son los arbolitos que miden más de 2.5 cm, pero menos de 9.5 cm de diámetro (7.8 cm- 29.8 cm de circunferencia). La altura también se midió con una vara recta de 3 m.

Fórmula para estimación del carbono en el componente arbóreo [árboles (más de 10 cm de diámetro) y juveniles (entre 2.5 cm y 9.5 cm de diámetro)]

$$Y = \exp[-2.977 + \ln (\rho D^2 h)]$$

Donde:

Y= biomasa

$\exp(n)=2.718^n$ (elevar la base; e = 2.718, a la potencia n)

ln= logaritmo natural

ρ =densidad por especie o promedio (gr/cm³)

D=diámetro a la altura del pecho o dap (cm)

h= altura (m)

Herbáceas: Las herbáceas son un componente importante que captura carbono ya que siempre están presentes en los sistemas agroforestales o forestales. Dentro de este grupo se consideran las hierbas espontáneas, arvenses o también llamadas malezas al igual que los pastos, las plántulas o futuros árboles y los cultivos como el maíz, el frijol, la calabaza o el chayote. Las herbáceas se midieron para estimar su contenido de carbono.

La metodología utilizada es una estimación visual de la cobertura, la cual se transforma en peso seco. Normalmente en los estudios especializados las herbáceas se cortan para ser llevadas a un laboratorio, secarlas y pesarlas. Sin embargo, se encontró una manera de reducir los pasos y simplificar el trabajo sin afectar los cultivos. Únicamente es necesario medir la altura de las plantas y apreciar a simple vista qué tanto cubre el suelo (cobertura visual).

El método consiste en estimar a “ojo” el porcentaje de cobertura en 12 cuadrados de 2.05m^2 , a manera de simplificar la metodología. Hay que registrar si la mayoría de los tallos son leñosos o carnosos (suculentos).

Se cortaron cuatro varas rectas de 0.5 m de largo, para construir un cuadrado de 0.25 m^2 . Se lanzó al azar un objeto y en el lugar donde cayó se armó el cuadro con las varas. Se midió y se anotó la altura máxima (H_{max}) y la altura predominante (H_{dom}) de las hierbas o plántulas presentes (altura modal) y con ambas alturas se obtuvo un valor promedio.

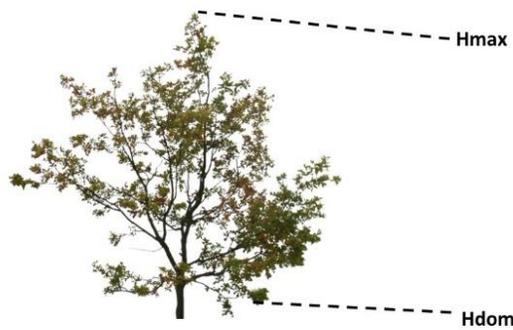


Figura. Perfil de la altura máxima (Hmax) y predominante (Hdom) de las herbáceas

Utilizando como referencia imágenes adjuntas se estimó visualmente la cobertura aproximada (%) dentro de cada cuadro y se anota el tipo de los tallos predominantes (leñosos y carnosos). Se registraron 12 cuadros por parcela.

Definimos el factor de cobertura (f_c) con la fórmula

$$f_c = cxh$$

Donde:

C= cobertura dentro de un cuadro de $0.25m^2$ (entre 0 y 1), obtenidos por comparación con dibujos.

H= $(Hmax + Hdom)/2$ =Altura promedio de las plantas.

Se dan dos fórmulas para encontrar el peso seco de las herbáceas, una para tallos leñosos y otra para tallos suculentos. En estas fórmulas se utilizan los resultados del factor de cobertura:

Fórmula para tallos leñosos

$$x_e = \left(\frac{f_c}{0.37} \right) - 11.62$$

Fórmula para tallos suculentos

$$x_u = \left(\frac{f_c}{0.37} \right) - 51.85$$

Donde:

X_e = Peso (biomasa en gramos) para herbáceas con tallos leñosos.

X_u =Peso (biomasa en gramos) para herbáceas de tallos carnosos.

El siguiente paso es calcular la biomasa total encontrada en los 12 cuadros (3m²), para extrapolar el resultado a una hectárea mediante la siguiente relación

$$B_{herb} = 3.33x_e$$

Donde

B_{herb} =Biomasa de herbáceas promedio por hectárea (kg/ha)

3.33= Factor de conversión

X_e =peso seco promedio por cuadro (gr/m²)

Raíces: Las raíces de las plantas fijan una gran cantidad de carbono, para contabilizarlo se puede utilizar una ecuación alométrica. Las ecuaciones de este tipo utilizan datos conocidos para calcular una cantidad de interés que resulta difícil de medir directamente. Se supone que mientras más árboles y juveniles hay, mayor cantidad de raíces habrá. La fórmula para encontrar la cantidad de biomasa de raíces gruesas y finas es la siguiente (Cairns et. al. 1997):

$$y = \exp(-1.0587 + 0.8836 \ln(ABC))$$

Donde:

y =Biomasa total de raíces gruesas y finas (peso seco)

Exp (n)=2.708ⁿ

ABC=Biomasa arbórea más arbustiva (Mg/ha de materia seca)

Materia en descomposición

Hojarasca y humus: Dentro de los cuadros de 0.25 m² usados para las herbáceas se midió la profundidad de las hojarasca y humus en un punto al azar, introduciendo una regla graduada en centímetros. Es importante reconocer hasta dónde medir la capa más baja de materia en descomposición (humus), aunque se forma de las hojas y restos vegetales en descomposición, dicha capa se reconoce por su textura suelta y porosa de color oscuro en la cual no es posible distinguir (visualmente) residuos de materia vegetal.

Se mide un punto por cuadro porque la profundidad de la hojarasca y humus varía dentro de una misma parcela, al tomar una profundidad por cuadro se espera una mejor aproximación a la profundidad media, de este modo se calcula un promedio para estimar el peso seco de la hojarasca y humus. Con el valor correspondiente de cada profundidad es posible calcular el peso total por hectárea. La biomasa en kg/ha de hojarasca y humus se calcula multiplicando el promedio por cada cuadro (0.25 m²) por el factor, una conversión (metros-hectáreas) que es igual a 40.

$$B_h = 40H_p$$

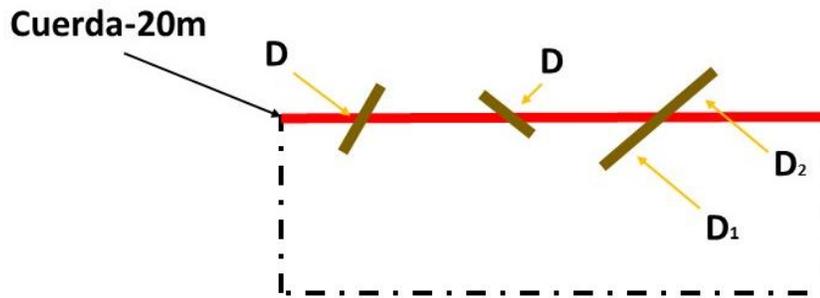
Donde:

B_H=Biomasa de hojarasca y humus (kg/ha)

40= factor de conversión (para convertir de a kg/ha)

H_p= Biomasa promedio por cuadro (0.25 m²)

Ramas caídas: Sobre las dos cuerdas de los dos rectángulos (R₁ y R₂) se midieron todas las ramas caídas (sobre el suelo) que cruzan las cuerdas. Se midió el diámetro con un vernier y el largo (con la cinta métrica) de las ramas largo menor o igual a 50 cm y diámetros mayores 1.5 cm. Para ramas mayores de 50 cm de largo se midió dos diámetros, especialmente D₁, D₂.



Medición de ramas caídas (L_1, L_2, L_3); L_1, L_2 , miden menos de 50cm por lo que solo se mide un diámetro en el centro de la rama. L_3 mide más de 50cm de longitud, en este caso se hacen dos mediciones de diámetros (D_1 y D_2).

Después de medir la rama, se reconoce el estado de descomposición de la misma (f=fresco, i=intermedio, p=podrido). Se repite el procedimiento para completar las dos cuerdas, lo cual equivale a 40 m del trayecto.

Con el diámetro se encuentra el volumen mediante la fórmula para el volumen de un cilindro (en las ramas con una longitud mayor a 50 cm se calcula el diámetro promedio).

$$V = \pi L \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Donde

V =volumen (cm^3)

L =longitud (cm)

D =diámetro (cm)

El volumen se pasó a peso seco, multiplicando dicho volumen por la densidad de la rama, según su grado de descomposición se utiliza la fórmula:

$$m = \rho V$$

M=Peso seco (gr)

ρ =Densidad según el nivel de descomposición (gr/cm³)

V= Volumen de cada rama

La biomasa en el recorrido total de 40m es la suma (Σ) de todas las ramas caídas obtenidas con la ecuación anterior, para convertir de gramos a kilogramos se divide entre mil

$$B_{tr} = \Sigma \rho V / 1000$$

Puesto que el muestro se realizó sobre una línea, para estimar un valor aproximado de la biomasa de las ramas caídas en kilogramos por hectárea se utilizó la ecuación

$$R_c = L_m B_{tr}$$

Donde:

R_c =Biomasa de las ramas caídas por unidad de superficie (Kg/m²)

B_{tr} =Biomasa resultante en el trayecto de 40m (kg)

L_m =Longitud promedio de las ramas encontradas bajo las dos cuerdas, sin tomar en cuenta el nivel de descomposición (m).

El resultado anterior (R_c) está dado en kilogramo por metro cuadrado, para convertir a kilogramo por hectárea se multiplica por 10000 y se divide entre el área promedio. El área promedio se obtiene multiplicando el promedio de la longitud de las ramas por 40m (largo de dos cuerdas).

Estimación del carbono contenido en cada componente y total

En el siguiente paso se convirtieron estos datos y resultados en su equivalente en carbono almacenado (kilogramos por hectáreas). La biomasa total se obtiene sumando todos los componentes evaluados. El carbono existente en el área muestreada será la mitad de la suma de todos los componentes, ya que, convencionalmente se considera el factor de proporcionalidad de 50% para obtener

el carbono total contenido en la biomasa viva (IPCC, 2003). Así que, se suma la biomasa de árboles juveniles, raíces, hojarasca y ramas caídas y al resultado se le obtiene la mitad (50%).

Entonces:

$$C_T = 0.5(C_{Bv} + C_{Bd})$$

Donde:

C_T = carbono total

C_{Bv} =Carbono contenido en la biomasa viva (biomasa en árboles, árboles juveniles, herbáceas, raíces)

C_{Bd} =Carbono contenido en la biomasa en descomposición (hojarasca y humus, ramas caídas)

Materiales Utilizados:

- ✓ 2 cuerdas de 25m
- ✓ 14 estacas
- ✓ 4 varas rectas de 0.5 m
- ✓ Regla graduada en cm
- ✓ Flexómetro
- ✓ Vernier
- ✓ 1 Cinta métrica (de costurera) o cinta dimétrica si se tiene
- ✓ Pintura en aerosol
- ✓ GPS
- ✓ Formatos
- ✓ Libreta
- ✓ Lápiz o lapicero
- ✓ Libreta

Formatos que se utilizaron en campo: Formato 7, Ver en anexos.

- **Índice de calidad del suelo**

Este indicador tiene un tipo de impacto a nivel local y de paisaje y el tipo de servicio agroecosistémico que aporta es de soporte y regulación.

Sustento teórico: El estado de degradación de los suelos impide que estos proporcionen bienes y servicios de la manera esperada, entre ellos la producción de alimentos y la conservación de otros recursos naturales como el agua, flora y fauna. Un criterio que ayuda a determinar el grado de degradación del suelo es la valoración de su calidad (Doran y Parkin, 1996; Karlen et al. 1997).

El Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America define la calidad del suelo como su capacidad para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, lo cual implica: 1) sostener la productividad de plantas y animales, 2) mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, 3) Sostener la salud humana y el hábitat (Karlen et al., 1997; Acevedo et al. 2005), 4) sostener la actividad biológica, la biodiversidad y la productividad, 5) filtrar, amortiguar, degradar e inmovilizar contaminantes, 6) almacenar y reciclar nutrientes y, 7) soportar estructuras socioeconómicas asociadas con el hábitat humano (Doran y Parkin, 1996; Karlen et al., 1997; Bautista y Etchevers, 2014).

Metodología: Las muestras de suelo que se levantaron en campo fueron de 0 a 20 cm de profundidad, de tipo compuestas debido a la extensión y a la heterogeneidad del terreno es por ello por lo que se determinaron puntos de muestreo en las parcelas estudiadas.

Dentro de las propiedades que se analizaron directamente en campo fueron:

| Indicadores visuales de la calidad del suelo | ¿Cómo se analizó? |
|--|--|
| Textura | Manual de Juárez, Calderón, Espinoza y Rodríguez (2013) denominado Técnicas de Monitoreo y Evaluación de servicios Ecosistémicos para la zona Sierra-Costa de Chiapas, México. |
| Estructura y agregados | |
| Porosidad | |
| Compactación | |
| Color | |
| Materia orgánica | |
| Número y color del moteados | |
| Erosión hídrica | |

Para calcular el tipo de calidad de suelo se asignó el valor de cero si el indicador presentaba una condición pobre, si tenía una condición moderada el valor asignado fue uno y dos si tenía una condición buena. El resultado de cada indicador se multiplicó por un factor de tres. Partiendo del total de la suma de cada uno de los indicadores se determinó el tipo de calidad de suelo. Si la suma total de valores era menor a 15 se le asignó una calidad pobre, si se tenía como resultado entre 15 y 30 se le asignó una calidad moderada y si tenía un valor mayor a 30 se le asignó una calidad buena.

Propiedades que se analizaron en el laboratorio de ECOSUR (en 2 terrenos de cada una de las 4 comunidades incluidas en el estudio):

| Propiedad | ¿Cómo se analizó? |
|--------------------|--|
| Textura | Se empleó el manual de la USDA. 2002. Fiel book for describing and sampling Soils. Versión 2.0 |
| Fósforo disponible | |
| Potasio disponible | |
| Materia Orgánica | Análisis de laboratorio en ECOSUR |
| C.I.C | |

| | |
|----------------------|--|
| pH | |
| Nitrógeno disponible | |

Materiales utilizados:

- ✓ Bolsas nylon o papel (para guardar la muestra)
- ✓ Etiqueta
- ✓ GPS
- ✓ Bolsa blanca grande
- ✓ Pala
- ✓ Agua
- ✓ Cuchillo
- ✓ Instrumentos para medir temperatura y pH en campo
- ✓ Cubeta
- ✓ Costal resistente

Formatos que se utilizaron en campo: Formato 2, ver en anexos.

- **Presencia y composición de escarabajos coprófagos**

Este indicador tiene un tipo de impacto a nivel de paisaje y el tipo de servicio agroecosistémicos que aporta es de regulación.

Sustento teórico: Los escarabajos realizan sus actividades principalmente en el suelo donde además del alimento encuentran refugio. Para alimentarse y reproducirse las especies cavadoras remueven y entierran el estiércol en los potreros. Con la construcción de galerías hechas a diferente profundidad dependiendo de la especie, remueven la tierra y mejoran su aireación. Así, una vez enterrado el estiércol se obtienen otros beneficios pues algunos de sus nutrientes pasan al suelo, lo que mejora su fertilidad, indirectamente permiten la dispersión secundaria de semillas contenidas en el mismo estiércol. Además, al enterrar el estiércol se controla el desarrollo de moscas del ganado y de huevecillo de parásitos intestinales del mismo. Con estas actividades los escarabajos ofrecen servicio para mantener el equilibrio del ecosistema (Zunio y Melic 2007; Huerta et al. 2013).

Por la utilidad y beneficios que tienen estos insectos dentro del ecosistema, se les ha usado como modelos de estudio para evaluar los efectos que ejercen en la deforestación y los cambios del uso de suelo, sobre la diversidad de sus especies en paisajes tropicales.

Aunque se les considera organismos clave de los ecosistemas, los escarabajos de estiércol pueden verse afectados en su diversidad y en sus funciones ecológicas y reproductivas, como, por ejemplo, su capacidad de remover el excremento y la supervivencia de las crías como resultado de las prácticas de manejo ganadero, sobre todo por el uso de las diversas sustancias veterinarias y agroquímicas, que son aplicadas sin el adecuado control (Martínez et al. 2011)

Metodología: Considerando que se trabajó con sistemas agrosilvopastoril y extensivo se realizó una colecta para conocer y describir las diferentes especies de escarabajos coprófagos que habitan en cada uno de los sistemas. Como metodología se emplearon las trampas de caída. Las trampas fueron botes de plásticos de un litro de volumen y tapa perforada, en cuyo interior se colocó suelo y cebo para atraer a los escarabajos. Estos botes se enterraron en su parte superior, que funcionan como techos durante la lluvia. La colecta se realizó en los meses de lluvia (mayo-octubre), que se tiene registrada como la temporada de mayor actividad de los escarabajos en campo.

Los escarabajos se capturaron vivos en las trampas, utilizando dos diferentes tipos de cebo: estiércol de ganado vacuno y heces humanas. Todos los escarabajos colectados en cada trampa y terreno, se contaron e identificaron por especie, y después fueron liberados en el sitio donde se encontraron. Cuando se presentaron dudas acerca de la identidad de las especies, se consideró llevar ejemplares al laboratorio provisional para su revisión y confirmación del nombre de la especie. Con los datos recolectados se realizó una base de datos, donde se registró la presencia y ausencia de escarabajo en cada una de las parcelas.

Materiales Utilizados:

- ✓ Botes de plástico de un litro de volumen con tapa perforada

- ✓ Estiércol de ganado vacuno
- ✓ Heces humanas
- ✓ Guantes
- ✓ GPS
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Botes de vidrio
- ✓ Alcohol al 70%
- ✓ Etiquetas
- ✓ Lápiz
- ✓ Manuales taxonómicos de escarabajos coprófagos

Formatos que se utilizaron en campo: Formato 2, ver en anexos.

- **Composición y riqueza de aves**

Este indicador tiene un tipo de impacto a nivel de paisaje y el tipo de servicio agroecosistémico que aporta es de regulación.

Sustento teórico: La deforestación y la fragmentación de los bosques pueden tener un impacto negativo en las comunidades de aves, al reducir los hábitats naturales, aislar poblaciones de aves, disminuir el tamaño de las poblaciones y aumentar las depredaciones en los parches de bosque remanentes (Stailles 1985; Sigel et al. 2006). Además, estos cambios pueden provocar la extinción local o regional de especies que dependen de bosques continuos y resultar en cambios en la composición de especies, a través de la colonización de especies oportunistas (Estrada y Coates-Estrada 1997; Gillespie et al. 2000; Kattan 2002).

Varios estudios (Narango 1992; Cardena 2002) muestran que las grandes extensiones en monocultivos de gramíneas pueden disminuir significativamente la diversidad de la avifauna en dichos sistemas de producción. Sin embargo, otras investigaciones indican que buena parte de la biodiversidad original puede ser mantenida dentro de los potreros, si estos son utilizados y manejados apropiadamente (Greenberg et al. 1997; Harvey et al. 2000)

Metodología: El presente indicador está dirigido a identificar la composición y la riqueza de especies de aves mediante un recorrido en toda la parcela o terreno del

productor; se registraron las aves vistas y oídas. El muestreo prospectivo se realizó entre 7:00am y 11:00am. Es importante mencionar que para este indicador se contó con la asesoría en campo de una experta ornitóloga.

Materiales Utilizados:

- ✓ Binoculares
- ✓ GPS
- ✓ Mapas parcelarios
- ✓ Guías
- ✓ Formato

Formatos que se utilizaron en campo: Formato 4, ver en anexos.

• **Cercos vivos**

Este indicador tiene un tipo de impacto a nivel de paisaje y el tipo de servicio agroecosistémico que aporta es de regulación.

Sustento teórico: Los cercos vivos son comunes en la zona de estudio, donde delimitan los campos agrícolas, las pasturas y los límites de las fincas, y forman redes de cobertura arbórea a lo largo de los paisajes rurales. Dentro de las principales contribuciones de los cercos vivos registrados en estudios hechos en América Central por Harvey et. al, Villanueva et. al.(2003), Villacis et. al (2003), Lang et. al. (2003) reportan que, aunque las cercas vivas son típicamente ignoradas en la valoración de los usos del suelo y en los planes de conservación, son un componente importante ya que cumplen funciones tanto para la producción sostenible como para la conservación de biodiversidad

Metodología: Para evaluar dicho indicador se empleó un GPS, para georreferenciar las cercas presentes en cada una de las parcelas estudiadas, y se corroboró dicha información mediante imágenes de satélite tratadas, lo que nos permitió determinar primeramente los metros lineales en cada una de las parcelas, posteriormente se dividió entre el número de hectáreas presentes en cada terreno. También se registró la composición botánica de los cercos vivos.

Materiales Utilizados:

- ✓ GPS
- ✓ Computadora
- ✓ Imágenes de satélite

- **Valoración de servicios agroecosistémicos culturales:** Belleza escénica, recreación, información (cultural, artística, espiritual e histórica) salud mental, ciencia y educación

Este indicador tiene un tipo de impacto a nivel de paisaje y el tipo de servicio agroecosistémico que aporta es cultural.

Sustento teórico: La cultura es multidimensional, desde su significado hasta sus representaciones. No existe una sola definición que pueda abarcar todo lo que significa el término cultura. De hecho, existen más de 150 definiciones diferentes aceptadas por los antropólogos, sin llegar a un consenso (Vecvagars 2006). Una de estas definiciones dice que “la cultura es todo aquello que no necesitamos hacer para sobrevivir, pero estamos impulsados a hacer para sentirnos humanos” (Matarasso 2012). En cualquier caso, se sabe que la cultura se ve influenciada fuertemente por el entorno, y que las características tanto físicas como geográficas, climáticas, y de fauna y flora, entre otras singularidades del medio ambiente local, determinan de una u otra forma las representaciones culturales de una sociedad (Milton 1997). La naturaleza inspira y también enseña, siendo una fuente fundamental de información para la investigación y la ciencia. Es por estas razones que se considera que parte de los servicios que brindan los ecosistemas tienen que ver con la creación de herencia cultural (tanto tangible como intangible) y de conocimiento.

La valoración cultural en torno a su uso e importancia requiere un esfuerzo por entender los lazos culturales y sociales de la comunidad hacia belleza escénica, recreación, información (cultural, artística, espiritual e histórica) salud mental, ciencia y educación, y al identificar el valor, se debe partir de las visiones que las comunidades locales tengan sobre estos. La valoración cultural se da fuera del

contexto puramente de mercado o de transacción monetaria, valiéndose de la identificación del uso e importancia como una declaración de preferencias relativas y de percepciones locales que no pueden expresarse eficazmente como un precio. Los productores conocen lo que es importante para ella y la definición de esa importancia es relativa y subjetiva dependiendo de la experiencia, conocimiento, necesidades y hasta de la relación de los costos y beneficios tangibles (Rojas 2009).

Metodología: Para evaluar y conocer la percepción del servicio cultural en los productores se diseñó un cuestionario semiestructurado con preguntas abiertas y de opción múltiple. Las preguntas abiertas se realizaron con el objetivo de conocer de una forma más profunda la percepción del productor respecto a los servicios culturales que le provee su parcela. Las preguntas de opción múltiple fueron las que se tomaron en cuenta para evaluar el presente indicador y los encuestados eligieron entre varias opciones que van desde una evaluación totalmente negativa, pasando por un punto neutral hasta una totalmente positiva; a cada opción se le asignó un valor del 1 al 10. El cuestionario tiene un valor máximo de 100 puntos. Las preguntas y el análisis se basaron en la Escala de Rensis Likert, la cual, es una escala de actitud que consiste en una serie de preguntas diseñadas para conocer en qué medida las personas están de acuerdo, no favorecen o se oponen, aceptan o rechazan una determinada actitud (Smith y Mackie, 1997).

Materiales Utilizados:

- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Formato 6, ver en anexos
- **Composición y riqueza florística arbórea**

Este indicador tiene un tipo de impacto a nivel de paisaje y el tipo de servicio agroecosistémico que aporta es de regulación y soporte.

Sustento teórico: Las selvas tropicales son ecosistemas que albergan un gran número y diversidad de especies. Estos sistemas son formaciones naturales compuestas de un mosaico de parches de formas y tamaños heterogéneos y en distintas fases de regeneración natural (Brokaw 1985; Whitmore 1992 y Martínez-Ramos 1994). La naturaleza discontinua del dosel de la selva tropical define, entre

otras cosas, la presencia de gremios o grupos ecológicos de árboles, en función de sus requerimientos de luz y del tamaño del parche o claro, necesarios para completar sus ciclos de vida (Hubbell 2001; Leigh 1999).

Metodología: El presente indicador está dirigido a identificar la composición y la riqueza de especies arbóreas mediante el recorrido en toda la parcela o terreno del productor. Durante el recorrido se registraron en los formatos específicos (Formato 5, ver en anexos) todas las especies arbóreas con su nombre común. Los recorridos se realizaron con la asesoría de un experto en flora de la zona (Miranda 2015).

Materiales Utilizados:

Formatos que se utilizaron en campo: Formato 5, ver en anexos.

- **Densidad Arbórea**

Este indicador tiene un tipo de impacto a nivel de paisaje y el tipo de servicio agroecosistémico que aporta es de soporte.

Sustento teórico: Los bosques y las selvas mexicanas han sufrido fuertes disturbios debido al impacto del cambio de uso del suelo, la tala ilegal, los incendios forestales, las plagas y enfermedades, los fenómenos meteorológicos y el crecimiento demográfico, lo cual, aunado a la deficiente aplicación de prácticas silvícolas, ocasiona la reducción de la cubierta vegetal de los diversos ecosistemas (Hernández et al. 2013).

La densidad es un indicador confiable del grado de ocupación del arbolado de un lugar y tiempo específico (Zeide 2004), además, es una de las pocas variables que representan, de manera sencilla y objetiva la estructura de áreas forestales.

Metodología: Para evaluar dicho indicador se cuantificaron mediante imagen de satélite los árboles dispersos dentro del terreno, y se corroboró mediante una muestra de dos parcelas por comunidad en donde se contaron y georreferenciaron directamente en campo, corroborando el número de árboles dispersos en el terreno con el obtenido en los Sistemas de Información Geográfica.

Materiales Utilizados:

- ✓ Computadora
- ✓ SIG'S

- **Abundancia de fauna silvestre**

Este indicador tiene un tipo de impacto a nivel local y el tipo de servicio agroecosistémico que aporta es de soporte.

Sustento teórico: La abundancia es un atributo de la población que varía con el tiempo y en el espacio y son de gran importancia para los estudios de manejo y conservación de fauna silvestre, ya que permiten comparar poblaciones, dar seguimiento a variaciones temporales o a la dinámica poblacional y evaluar de forma indirecta la calidad de los hábitats (Wilson et al. 1996; Walter et al. 2000).

Metodología: Este indicador se midió de forma cualitativa por cuestiones de tiempo y factores económicos. Se les pregunto directamente a los productores sobre qué tan abundante (alto, medio o bajo) era la presencia de animales de monte durante el recorrido a su parcela, además de brindarnos una lista de los que observan con más frecuencia.

Materiales Utilizados:

- ✓ Libreta

- **Abundancia y composición de abejas**

Este indicador tiene un tipo de impacto a nivel local y el tipo de servicio agroecosistémico que aporta es de soporte.

Sustento teórico: Los principales polinizadores están agrupados en cuatro órdenes de insectos: *Hymenoptera* (abejas, avispas, hormigas), *Diptera* (moscas, mosquitos), *Lepidoptera* (polillas y mariposas) y *Coleoptera* (abejones, cucarrones).

Según Brown (1991) para que un grupo de organismos pueda ser utilizado como indicador es necesario que se cumplan ciertos requisitos, a saber: que su taxonomía sea relativamente bien conocida, tenga alta diversificación ecológica y taxonómica,

fidelidad ecológica, sea especie endémica, abundante, fácil de encontrar en el campo, funcionalmente importante en los ecosistemas, sensible a perturbaciones, de respuesta rápida y predecible y, finalmente, asociada con otras especies y recursos específicos. Tomando en consideración dichas especificaciones se eligieron las abejas (*Hymenoptera Apoidea*) para contrastar la composición y riqueza en parcelas donde se practica la ganadería extensiva y donde se practica el sistema agrosilvopastoril.

Es importante mencionar que la diversidad y la abundancia de polinizadores, en especial de abejas, están relacionadas con aumentos en el proceso de polinización de frutos de muchas especies vegetales (Rathcke y Jules 1994, Aizen and Feinsinger 1994, Steffan-Dewenter and Tschardtke 2005, Kremen et al. 2002, Klein et al. 2003, Ricketts et al. 2004).

La polinización es uno de los procesos ecológicos fundamentales para mantener la viabilidad y diversidad de las angiospermas y es una interacción ecológica que tiene importantes consecuencias para los servicios de los ecosistemas (Pimentel et al. 1997, Allen-Wardell et al. 1998, Kearns et al. 1998, Norberg 1999, Cunningham et al. 2002, Kremen et al. 2002, Klein et al. 2007). Cerca de 35% de la producción global de alimentos de origen vegetal proviene de plantas que dependen de polinizadores y un tercio de la dieta de los seres humanos está constituida por verduras, legumbres y frutas polinizadas por insectos, de los cuales más del 90% son abejas (Klein et al. 2007).

Metodología: Se identificó el tipo de vegetación dominante; así como las especies arbóreas dominantes. Método de captura: Platos trampa (pan traps o bowl traps)

Se eligió dicho método ya que se ha comprobado que es un método eficiente, imparcial y con mayor costo-beneficio, en comparación con otros en la captura de abejas (Droege 2009; Droege et al. 2009).

Tomando en cuenta la superficie promedio de las parcelas de los productores, se utilizaron 50 recipientes de plástico de boca ancha de 150 ml de capacidad, los cuales se distribuyeron de forma aleatoria en cada parcela. Estos fueron de color

amarillo, blanco, azul, rosa y rojo. Los platos contendrían una solución jabonosa (100 ml de agua y aproximadamente media cucharada de detergente líquido comercial para trastes) y fueron colocados regularmente de 8:00 am a 16:00 pm en zonas abiertas a ras de suelo, a una distancia aproximada entre recipientes de 3 metros e intercalando los colores.

Las abejas atrapadas por parcela fueron extraídas de las trampas usando un tamiz para eliminar la solución jabonosa y procurando no mezclar los organismos atrapados entre los distintos colores de recipiente, luego se depositaron en frascos con alcohol al 70%. Posteriormente los ejemplares fueron lavados y secados según el método sugerido por Droege (2009): posteriormente se montaron en seco, etiquetados y almacenados para su identificación taxonómica. Esta metodología fue aplicada únicamente en dos comunidades.

A demás de llevarse a cabo el análisis en campo se le preguntó directamente al productor la abundancia de abejas en su parcela, donde ellos determinaron si era alta, media o baja.

Materiales Utilizados:

- ✓ 20 recipientes de plástico por cada color
- ✓ Detergente
- ✓ Alcohol al 70%
- ✓ Papel secante o servilleta
- ✓ Cajas entomológicas
- ✓ Alfileres entomológicos
- ✓ Recipientes o frascos de vidrio
- ✓ Pintura en aerosol
- ✓ Formato para la toma de datos

Formatos que se utilizaron en campo: Formato 1, ven en anexos

- **Emisiones de Metano**

Este indicador tiene un tipo de impacto a nivel local y el tipo de servicio agroecosistémico que aporta es de soporte.

Sustento teórico: El metano (CH₄) es uno de los principales gases de efecto invernadero subproducto de la fermentación de los carbohidratos en el rumen (Bodas et al. 2012.) En este sentido, los rumiantes contribuyen con el 40 % de los 80 millones de toneladas de CH₄ que se emiten por actividades antropogénicas globales (Gerber et al. 2013); adicionalmente a su efecto en el calentamiento global, el CH₄ representa entre el 2 y 12 % de la energía total consumida por los rumiantes (Moss et al. 2000).

Estudios como el de Canul et al. (2017) y Piñeiro et al. (2018); han abonado a determinar la variación de emisiones al manipular la dieta de los rumiantes, lo cual ha sido una alternativa viable para aminorar la producción de metano, al mejorar las características fermentativas a nivel ruminal.

En esta tesis, el indicador que cuantifica la producción de metano por hato ganadero, fue estandarizado a emisiones de metano por unidad animal (kg de CH₄ por año) y se calculó para cada una de las unidades de producción ganadera estudiadas.

Metodología: Para cuantificar los kilogramos de metano emitidos por hato ganadero y año, primeramente, se establecieron seis categorías de bovinos (vacas cargadas, vacas con cría, sementales, becerros recién destetados, vaquilla, toretes). De cada categoría se obtuvo el peso promedio (pesando 5 bovinos por cada categoría). Después se calculó el consumo de materia seca por cada categoría de bovino y día, considerando que este equivale al 3% del peso vivo promedio por categoría.

Posteriormente se relacionó el consumo de materia seca y las emisiones de metano. Para ello se emplearon dos tipos de factores de emisión de metano. Para los productores agrosilvopastoriles se tomó como base el factor de emisión de 14.7 L CH₄/kg de materia seca consumida en vaquillas (de 298.8 kg) con dieta basal de pasto Taiwan (*Pennisetum purpureum* [*P. purpureum*]) y 20 % de materia seca de follaje de *Leucaena leucocephala* sugerido por Piñeiro et al. (2018). Para los productores extensivos se consideró el factor de emisiones de metano entérico con dieta basal de solo pasto Taiwan (*Pennisetum purpureum* [*P. purpureum*]) sugerido en 20.1 CH₄/kg de materia seca consumida (Piñeiro et al. 2018). En función del peso

vivo, materia seca consumida, y factor de emisión, fue posible calcular las emisiones de metano para cada categoría de bovinos definidas previamente y por sistema de producción (silvopastoril o extensivo). La sumatoria de las emisiones de metano de todas las categorías de bovinos permitió calcular las emisiones de metano anual para cada hato ganadero. Los resultados se reportaron en kilogramos de metano por unidad animal y año. La conversión de las cabezas de ganado presentes en cada hato a unidad animal se calculó con base en las siguientes equivalencias (Vallentine 1990): (I) vaca con cría = 1.25 unidades animal (UA); (II) vaca cargada = 1 UA; (III) vaca vacía = 0.9 UA; (IV) semental = 1.25 UA; (V) vaquilla = 0.9 UA; (VI) torete = 0.9 UA; (VII) becerro recién destetado = 0.5 UA.

Materiales Utilizados:

- ✓ Formato
- ✓ Computadora
- ✓ Calculadora

Importancia de la evaluación multicriterio

La evaluación multicriterio es un marco de análisis para la ponderación y agregación de información multidimensional (Munda et al. 2004) que: i) busca comprender de forma integrada las diferentes dimensiones de una realidad o de problemas complejos; ii) operacionaliza la toma de decisiones donde confluyen problemas de diversos tipos, como los tecnológicos, económicos, ambientales y sociales, y con diferentes escalas de medición (monetarias, biológicas, cualitativas). iii) permite la construcción de índices o indicadores sintéticos para medir el grado de avance o el estado en que se encuentra un sistema. Los valores originales de los indicadores se estandarizan en una sola escala de medición para eliminar los efectos de escala y unidades de medida.

Índice de servicios agroecosistémicos (ISAGAN)

Se integró un índice de servicios agroecosistémicos (multicriterio) de la ganadería (ISAGAN). El ISAGAN integró nueve indicadores de servicios ecosistémicos: (i) índice de estado del suelo; (ii) densidad de árboles por ha; (iii) riqueza florística arbórea (núm. de especies); (iv) cercos vivos (metros lineales por ha); (v) servicio cultural (%); (vi) carbono total (Ton/ha); (vii) producción de CH₄ por Unidad Animal (kg por año); (viii) abundancia de fauna silvestres (%); y (ix) abundancia de abejas (%).

En la serie de datos de cada indicador cuantitativo o cualitativo, con diferente unidad de medida, se identificó el valor máximo o mínimo favorable, al cual se le asignó un valor porcentual del 100 % o punto ideal (Munda et al. 2004), el cual sirvió de base para convertir en porcentaje todos los datos con diferentes unidades de medida de cada indicador, es decir, los indicadores se estandarizaron a una misma unidad de medida. Hay indicadores para los cuales el valor óptimo es la cifra máxima, lo que significa que cuanto más elevada sea la cantidad es mejor; en este caso el valor estandarizado del indicador se obtiene de la siguiente forma: $(\text{valor del indicador} / \text{valor óptimo}) * 100$. Sin embargo, existen casos para los cuales el valor óptimo es la cifra mínima, es decir, cuanto menos elevada sea la cantidad es mejor, y el valor estandarizado se calcula de la siguiente forma: $(\text{valor óptimo} / \text{valor del indicador}) * 100$ (Nahed et al. 2013a). En todos los casos, cuanto más se acerca el valor porcentual estandarizado del indicador al 100% es mejor desde el punto de vista del ISAGAN. El valor del índice o porcentaje del ISAGAN por UPG se obtuvo del promedio de los valores porcentuales estandarizados de los nueve indicadores de servicios agroecosistémicos.

Análisis de la información

La serie de datos porcentuales del ISAGAN de todas las UPG se utilizó como factor de agrupación de dichas UPG, independientemente de la localidad, mediante análisis de conglomerados de k medias (Manly 2004).

A todos los indicadores técnicos y socioeconómicos y del ISAGAN se les aplicó la prueba de Shapiro Wilk para corroborar su normalidad (Grimm y Wozniak 1990).

Los indicadores con distribución normal se examinaron mediante Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar diferencias entre conglomerados. Los indicadores que mostraron diferencia significativa en la prueba de ANOVA, se sometieron a contrastes a *posteriori* (comparaciones múltiples) mediante la prueba de Tukey, con la finalidad de identificar diferencias específicas entre conglomerados (Zar 1984). Los indicadores que no presentaron distribución normal se les aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para identificar diferencias entre conglomerados. El análisis estadístico de los datos se realizó en el programa Statical Package for the Social Sciencas (SPSS Statistics, Versión 15) (Mehta y Patel 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Trayectoria histórica de la ganadería bovina a nivel municipal y en las cuatro localidades de estudio

La Figura 4 representa la trayectoria histórica de los procesos socioambientales que dieron origen a la ganadería bovina en el municipio de Pijijiapan, Chiapas. Se observa que durante el periodo colonial (1521 a 1810) la Costa de Chiapas registraba pocos habitantes. En el año 1900 se comenzó a utilizar la reserva maderera y a desarrollarse la ganadería. En ese mismo año, Pijijiapan al igual que Tonalá y Mapastepec pertenecían al Departamento de Tonalá y la mayor parte de la población se asentaba en las haciendas, ranchos y rancherías. La clasificación por uso de las tierras en esa época ya mostraba una tendencia marcada hacia la producción ganadera. Los terrenos dedicados a la ganadería a su vez tenían uso forestal y agrícola (AHP, s/f).

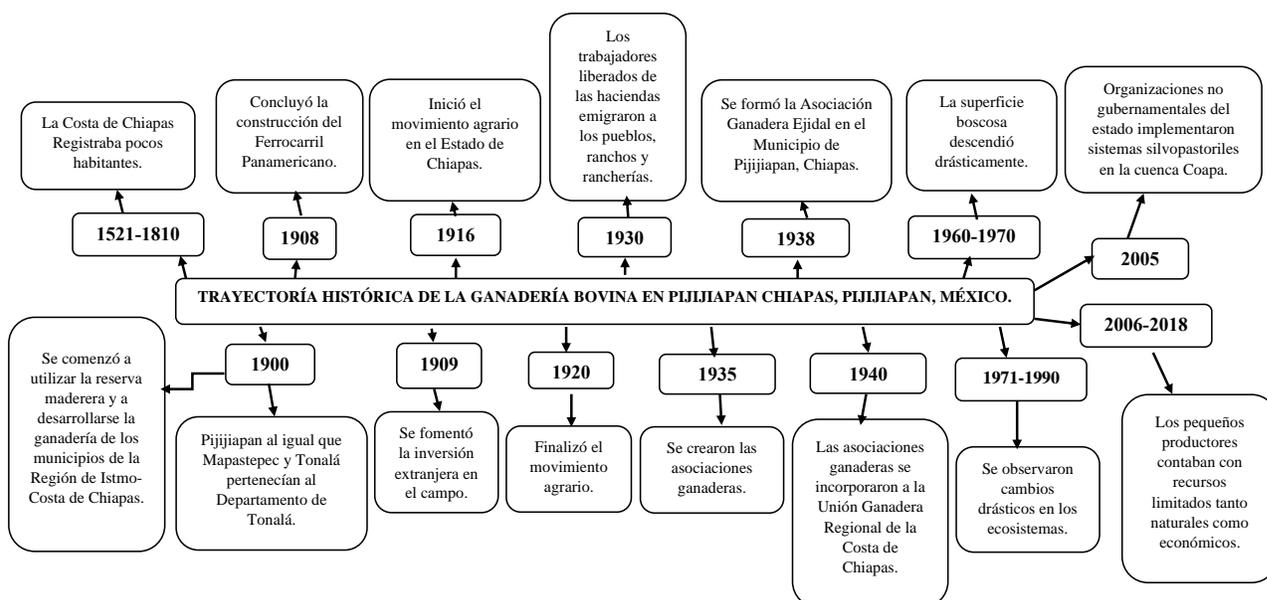


Figura 4. Trayectoria histórica de los procesos socioambientales que dieron origen a la ganadería bovina, en Pijijiapan, Chiapas, México.

Fuente: Elaboración propia, con base en información de productores y AHP (s/f).

La efervescencia económica en los departamentos de Tonalá y Soconusco, había hecho posible que el gobierno federal y la banca norteamericana compartieran costos de construcción del Ferrocarril Panamericano, concluido en 1908, para dar

salida al café, cacao, plátano, caucho y ganado en pie. En 1909 la inversión extranjera alcanzó proporciones dominantes. El capital americano y español sobresalieron (AHP, s/f; Ovalle 1995).

El movimiento agrario que comenzó en el año 1916 dinamizó el desarrollo. Como consecuencia, en 1920, un número muy significativo de haciendas se habían convertido en ranchos y rancherías. La inestabilidad política obligaba a los hacendados a fragmentar sus predios en ranchos acorde con los límites establecidos por las nuevas disposiciones antiagraristas establecidas por la lucha armada. (AHP, s/f; Ovalle 1995).

En 1930 los trabajadores liberados de las haciendas emigraron a los pueblos, ranchos y sobre todo rancherías. Los rancheros ganaderos formaron las asociaciones ganaderas locales, bajo el amparo de la Ley de Asociaciones Ganaderas, expedida por el presidente de la República Lázaro Cárdenas del Río en 1935, y en Pijijiapan se formó en octubre de 1938. En 1940 las asociaciones se incorporaron a la unión ganadera Regional de la Costa de Chiapas y ésta, a su vez, a la Unión Ganadera Regional de Chiapas (AHP, s/f; Chápela 1982; Ovalle 1995).

Para esta década la distribución del espacio productivo se conformó de la siguiente manera: por un lado, campesinos bajo el régimen ejidal o mediante la modalidad de ranchería y por otro lado empresarios cobijados en la “pequeña propiedad privada”, rancheros y antiguos hacendados. A la par que se otorgaron los títulos de propiedad a los primeros ejidos, las agrupaciones continuaron formándose (Chapela 1982; Ovalle 1995)

Para 1960 la superficie boscosa había descendido drásticamente, a la par se incrementaron notablemente las tierras con pastos naturales en llanuras y cerros, así como las tierras de labor; es decir, la tala inmoderada de los bosques maderables y no maderables dio cabida a que la ganadería bovina incorporara nuevas tierras, lo que indujo el crecimiento de pastos naturales con el tipo de producción extensiva (AHP, s/f).

De 1971 a 1990 en Pijijiapan se observaron cambios muy fuertes en los ecosistemas, los ríos ya no seguían su cauce natural, los habitantes habían manipulado dichos causes, desmontando terrenos que en ciertas temporadas del

año se inundaban, para poder cultivar en ellos. La tala también afectó los cinturones de vegetación de estos cauces, todo esto se fue complicando con diversos fenómenos meteorológicos que afectaron la región en esas décadas. Dentro de las principales afectaciones que se registraron fueron erosión de suelo y arrastre de sedimentos, poniendo en una posición privilegiada a los terrenos de la parte baja del municipio, además de pérdida de vegetación y fauna nativa (Chapela 1982; Muench 1982; Ovalle 1995).

Los productores dedicados a la pesca también fueron afectados por la canalización de los cauces y dragado de las bocas barras, ya que se perdieron zonas de amortiguamiento que propiciaban el crecimiento y mantenimiento de ciertas especies que eran comercializadas. Se llegaron a perder importantes zonas de estuarios (pampas) y la pesca ya no volvió a ser lo mismo ya que decreció sustancialmente la cantidad de peces que llegaba a estas zonas (Chapela 1992; Ovalle 1995).

A principios del siglo XXI los ríos que eran permanentes se volvieron intermitentes e incluso algunos llegaron a desaparecer y de los pocos permanentes que se mantienen actualmente, han disminuido su caudal comparado con las décadas previas, además, la temperatura del agua y del ambiente es mayor.

El patrón de cambio de uso del suelo por parte de los nuevos poseedores de la tierra en el municipio, ha tenido diferente grado de intensidad, como se observa en la Figura 5. El crecimiento poblacional y la dotación de tierras han ejercido presión sobre los recursos naturales, que conducen a una competencia constante entre los usos pecuario, agrícola y forestal. Una situación similar del cambio de patrón de uso de suelo fue reportada por Nahed et al. (2003) en la zona borreguera Tsotsil de

Chiapas, donde el crecimiento poblacional y la escasez de tierras agrícolas fungieron como principales factores de presión de los recursos naturales.

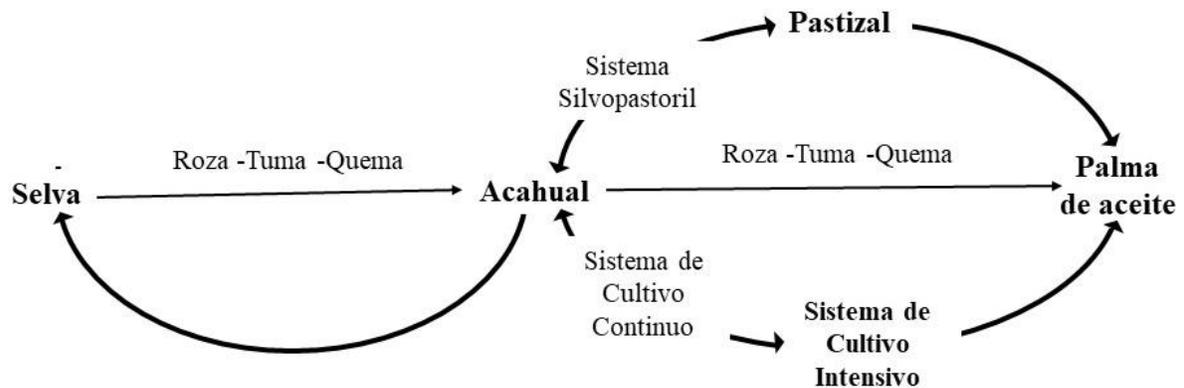


Figura 5. Modelo conceptual de cambio de uso del suelo en el municipio de Pijijiapan, Chiapas. Fuente: Elaboración propia, con datos de campo.

El municipio de Pijijiapan cuenta con 41 ejidos o comunidades agrarias (INEGI, 2007). A nivel municipal existen dos Asociaciones que son La Asociación Ganadera Local y La Asociación Ganadera Local General Social de Pijijiapan, Chiapas, encargadas de la regularización del hato, facturación, además de brindar capacitación a los integrantes de las asociaciones.

En 2005 una de las organizaciones no gubernamentales (ONG's) del estado implementó trabajos en la Cuenca Coapa, con el principal objetivo de revertir el deterioro ambiental presente a lo largo de dicha cuenca. Ellos identificaron que una de las principales actividades productivas que potenciaba el deterioro en esta zona era la ganadería. Es por ello que como parte de la estrategia se dio a conocer el desarrollo de la ganadería mediante manejo agrosilvopastoril, como alternativa a la ganadería extensiva o convencional. En esta iniciativa participaron cinco localidades: Rincón del Bosque, Unión Pijijiapan, Nueva Flor, Coapa Echegaray y Paraíso, de las cuales cuatro aún continúan con el sistema agrosilvopastoril, pese a que ya no cuentan con la presencia activa de la ONG.

En general, la ganadería siempre estuvo presente en la matriz productiva de la región. Los cambios socioproductivos en esta matriz muestran un proceso paulatino de desplazamiento de la cobertura boscosa y la extracción forestal, por una cobertura de pastos para la actividad ganadera. Los efectos ambientales de este desplazamiento comenzaron a percibirse y documentarse desde el año 1955.

El surgimiento del SSP fue una respuesta a la comprensión de los efectos ambientales negativos de una ganadería extensiva. Su desarrollo en la región es aún incipiente y su escalamiento se puede dar con la combinación de impactos productivos y ambientales que sean capaz de fortalecer la capacidad de aprendizaje social que muestren los actores del desarrollo ganadero involucrados.

En síntesis, se identifican tres fases históricas de la ganadera en el municipio de Pijijiapan. La primera, hasta 1900, cuando se perfilan las principales formas socioproductivas de la región, entre ellas la ganadería. La segunda, desde 1900 hasta 1955, cuando se impulsó el desarrollo de la región y surgen las organizaciones ganaderas. La tercera, desde 1955 hasta la fecha, periodo en el que se expande la ganadería mediante la práctica de la ganadería extensiva, con impactos ambientales negativos y el posterior surgimiento de los SSP como alternativa sustentable a la ganadería extensiva.

En este contexto, los sistemas agrosilvopastoriles y la ganadería orgánica son modelos complementarios de desarrollo sustentable de la ganadería (Nahed et al., 2013b). Los SSP tienen por objetivo maximizar los beneficios de la combinación de la producción agrícola, forestal y ganadera para obtener productos o beneficios múltiples (Steinfeld et al., 2006). Para ello, se hace la retención deliberada o el cultivo intencional de árboles forrajeros, frutales o maderables y se combinan con cultivos agrícolas y/o el pastoreo de animales en un mismo terreno (Sánchez 1999; Murgueitio e Ibrahim 2008). Con el tiempo se cambia la combinación mediante una secuencia lógica para que la producción sea duradera y aporte servicios agroecosistémicos (Nair 1993). Con la misma orientación, la ganadería orgánica, también conocida como ecológica o biológica, integra aquellos sistemas de producción animal basados en el pastoreo, está ligada estrechamente al suelo, y

tienen como objetivos cerrar de forma natural e integrada el ciclo suelo-planta-animal, conserva el entorno ambiental y la biodiversidad, favorece el bienestar animal, evita el empleo de sustancias de síntesis química y ofrece a los consumidores alimentos de origen animal de gran calidad organoléptica, nutritiva e higiénico-sanitaria (IFOAM 2009; Nahed et al. 2013a).

Para incursionar a estas formas novedosas de producción, es necesario conocer el estado actual de la ganadería. . En la siguientes secciones se comparan nueve indicadores de servicios agroecosistemicos en dos tipos de sistemas de producción (silvopastoril y convencional). Posteriormente se hace presentan los resultados de la clasificación de los sistemas de producción mediante análisis de conglomerados resultando tres conglomerados. Luego se comparan los tres conglomerados resultantes en sus aspectos técnicos y socioeconómicos, para finalmente comparar los indicadores del ISAGAN en los tres conglomerados.

Comparación de indicadores de servicios agroecosistemicos entre el sistema agrosilvopastoril y el sistema extensivo.

En el Cuadro 1 se muestran los valores promedio de los indicadores utilizados para construir el índice de servicios agro-ecosistémicos de la ganadería (ISAGAN), de los sistemas silvopastoril y extensivo. De los nueve indicadores incluidos, densidad de árboles por ha, riqueza florística arbórea y metros lineales de cercos vivos no presentaron diferencia ($p > 0.05$), en tanto que los otros seis indicadores y el ISAGAN si mostraron diferencia ($p < 0.05$).

Con excepción del indicador metros lineales de cerco vivo, los otros indicadores y el ISAGAN muestran valores mayores en los sistemas agrosilvopastoril en comparación con el sistema extensivo. La importante diferencia de los valores medios del ISAGAN entre ambos sistemas, prueba la hipótesis inicial de que el sistema agrosilvopastoril brinda mayor aporte de servicios ecosistémicos que el sistema extensivo (Cuadro 1). El comportamiento de estos resultados dio pauta a realizar un análisis más robusto de los datos que pudiera diferenciar estadísticamente las tres variables que no presentaron diferencia o identificar en

ellas tendencias definidas, por lo que se procedió a examinar los datos mediante análisis de conglomerados.

Cuadro 1. Indicadores utilizados para construir el índice de servicios agroecosistémicos, basado en el método del punto ideal (Munda 2004) comparando los sistemas silvopastoril y extensivo, en cuatro localidades del municipio de Pijijiapan, Chiapas, México.

| Indicador | Sistema Silvopastoril | Extensivo | z; p |
|--|------------------------------|------------------|---------------|
| Índice de estado del suelo* | 35.2(±4.2) | 30.1(±6.6) | -2.22; 0.0262 |
| Densidad de árboles por ha* | 34.2(±46.1) | 22.8(±17.7) | NS |
| Riqueza florística arbórea, número de especies* | 38.8(±19.5) | 29.2(±12.7) | NS |
| Cercos vivos, metros lineales por ha | 140.7(±81.6) | 157.0(±99.30) | NS |
| Servicio cultural*, % | 91.3(±8.6) | 72.9(±11.6) | -4.025; 0.000 |
| Carbono total*, Ton/ha | 36.6(±10.2) | 26.5(±4.4) | -3.48; 0.000 |
| Producción de CH ₄ por Unidad Animal*, kg por año | 39.4(±5589.5) | 52.9(±7731.7) | -4.192; 0.000 |
| Abundancia de fauna silvestres, %** | 79.6(±20.3) | 54.9(±26.2) | -4.025; 0.000 |
| Abundancia de abejas, %** | 75.9(±31.9) | 41.2(±22.1) | -2.77; 0.006 |
| Índice de Servicios Agroecosistémicos | 70.2(±9.9) | 53.9(±7.4) | -4.027; 0.000 |

Clasificación de las unidades de producción ganadera mediante análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados permitió identificar tres grupos claramente diferenciados ($p < 0.05$) y con tendencia definida al incremento de los valores del ISAGAN (Gráfico 1). El número de repeticiones (o UPG) en cada conglomerado muestra una distribución aceptable. En el C1 la mayoría de UPG es manejada bajo el sistema extensivo; en el C2, cinco pertenecen al sistema silvopastoril y cuatro al sistema extensivo; y en el C3 todas las UPG son manejadas bajo el sistema agrosilvopastoril. El rango y el promedio de los valores más bajos se observan en las UPG del C1 (bajo aporte), los intermedios en las UPG del C2 (intermedio aporte) y los más altos fueron los de las UPG del C3 (alto aporte) (Cuadro 2). Esta agrupación es importante para identificar a las UPG con mayor y menor potencial de aporte de servicios agroecosistémicos y para planificar mecanismos de intervención para cada grupo de productores orientados a superar sus limitaciones de aporte de servicios agroecosistémicos. El objetivo es que las UPG convencionales transiten hacia sistemas que sean capaces de reproducirse a sí mismas por tiempo razonable y cambiar oportunamente cuando las condiciones así lo exigen, para seguir funcionando a largo plazo. Para que esto ocurra, los recursos y procesos ecológicos y sociales que lo hacen funcionar deben ser capaces de reproducirse y, por lo tanto, de autorregularse, de coordinarse para ser compatibles, de amortiguar oportunamente las perturbaciones coyunturales adversas, de reorganizarse y de adaptarse cuando se presentan cambios estructurales internos y externos.

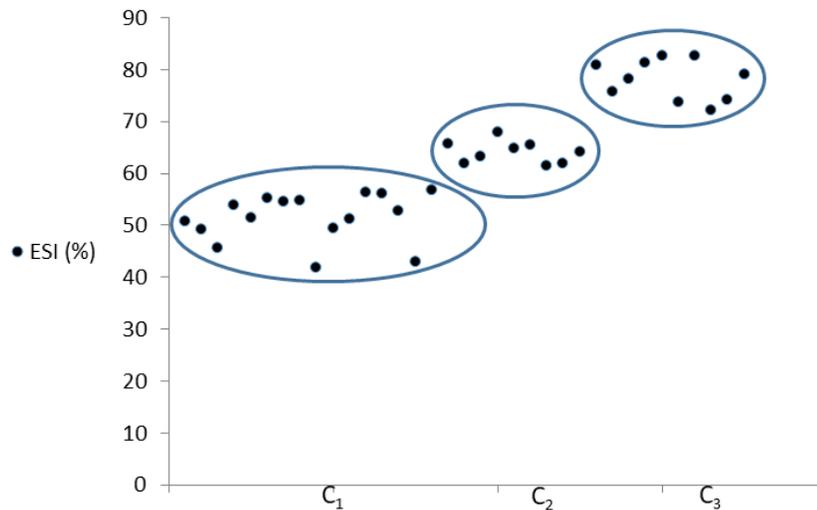


Gráfico 1. Clasificación de las UPG y distribución de conglomerados según el aporte de SA-E, por el método de análisis de conglomerado de K medias.

Cuadro 2. Clasificación multicriterio de UPG según el aporte de servicios agroecosistémicos dado por un índice (ISAGAN) en cuatro localidades del municipio de Pijijapan, Chiapas, México.

Caracterización técnica y socioeconómica de la ganadería bovina.

| Variable | C ₁ | C ₂ | C ₃ | *F; Valor de p |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Conglomerados | Bajo | Medio | Alto | - |
| N | 16 | 9 | 10 | - |
| Silvopastoril | 3 | 5 | 10 | - |
| Extensivo | 13 | 4 | 0 | - |
| Rango. % | 41.92-56.76 | 61.37-67.96 | 72.20-85.73 | - |
| Promedio ISEAGAN | 51.45 | 64.06 | 78.07 | 141.637; 0.000 |

En la Cuadro 3 se presenta la caracterización técnica y socioeconómica de la ganadería bovina. La producción tradicional de ganado bovino es con el objetivo de producir becerros destetados para la venta, o para engorda y leche para autoabasto y venta, lo anterior predomina en la zona de estudios. Dicho sistema se caracteriza por su escaso grado de desarrollo tecnológico, bajo uso de insumos externos, uso integral y diversificado de los recursos y un calendario de manejo adaptado a la variabilidad de las condiciones ambientales. Estas características de la ganadería

en el municipio de Pijijiapan, son similares a lo reportado por Nahed et al (2013a) para el municipio de Tecpatán, Chiapas.

Cuadro 3. Indicadores técnicos y socioeconómicos que caracterizan los sistemas agrosilvopastoril y extensivos, en cuatro localidades del municipio de Pijijiapan, Chiapas.

| Indicador | C ₁ | C ₂ | C ₃ | X ² ; p |
|--|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| n= | 16 | 9 | 10 | --- |
| ISAGAN, % | 51.5 | 64.1 | 78.1 | --- |
| Edad del productor, años | 53.0 (± 3.3) | 49.8 (± 4.1) | 53.1 (± 3.5) | NS* |
| Antigüedad en la ganadería, años | 30.7 (± 5.1) | 21.4 (± 4.7) | 35 (± 4.8) | NS** |
| Superficie de tierra propia total, ha | 21.2 (± 2.0) | 29.5 (± 7.6) | 36.2 (± 9.5) | NS |
| Superficie de uso ganadero, ha | 18.7 (± 1.9) | 23.8 (± 7.9) | 21.6 (± 3.7) | NS* |
| Superficie de pastizal con árboles dispersos, ha | 6.1 (± 2.1) | 14.9 (± 4.4) | 15.3 (± 3.1) | NS* |
| Superficie de pastizal abierto, ha | 12.6 (± 2.6) | 8.9 (± 6.6) | 6.4 (± 2.4) | NS |
| Superficie de uso agrícola, ha | 1.7 (± 0.9) | 0.8 (± 0.3) | 1.4 (± 0.5) | NS* |
| Superficie de acahual y Bosque, ha | 0.8 (± 0.6) | 4.9 (± 3.6) | 13.2 (± 8.3) | NS* |
| Superficie deforestada en los últimos 6 años, ha | 2.4 (± 1) | 0.7 (± 0.6) | 0.05 (± 0.05) | NS |
| Superficie reforestada en los últimos 6 años, ha | 0.30 (± 0.14) | 0.8 (± 0.4) | 7.3 (± 3.8) | NS |
| Productores afiliados a organizaciones ganaderas, % | 6.3 (± 6.2) | 0.0(± 0.0) | 30 (± 15.8) | NS*** |
| Recibe asistencia técnica para la ganadería y la agricultura, % de productores | 18.7 (± 10.1) | 44.4 (± 17.6) | 90 (± 10.0) | 12.23; 0.002*** |
| Jornales temporales contratados por vaca y año | 1.8 (± 0.6) | 1.7 (± 0.9) | 7.4 (± 2.6) | NS* |
| Tamaño del hato, UA | 37.84 (± 5.03) | 52.0 (± 14.4) | 31.9 (± 10.5) | NS* |
| Total de unidades animal, UA | 42.7 (± 5.9) | 71.9 (± 16.2) | 39.5 (± 12.1) | |
| Carga animal, UA/ha | 2.2 (± 0.3) | 3.0 (± 0.5) | 1.9 (± 0.4) | NS** |
| Tasa de natalidad, % | 55.2 (± 9.9) | 55.7 (± 5.2) | 60.3 (± 2.9) | NS** |
| Tasa de mortalidad en animales adultos, % | 2.0(±0.1) | 3.3 (± 1.2) | 5.1 (± 1.5) | NS* |
| Tasa de mortalidad de becerros, % | 7.4 (± 2.9) | 7.2 (± 3.2) | 5.4 (± 2.5) | NS |

SMOF. Sin incluir la mano de obra familiar.

| | | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| Producción de leche por ha y año, 1 | 1828.8 (± 166.2) | 1923.2 (± 153.7) | 1749.0 (± 75.6) | NS** |
| Producción de leche por ha y año, 1 | 1069.9 (± 191.6) | 1394.2 (± 240.1) | 987.4 (± 251.8) | NS* |
| Ingreso por variación de inventario, MX\$ | 20212.0 (± 4688.7) | 36750.0 (± 6613.0) | 25480.0 (± 8667.4) | NS* |
| Margen neto por vaca y año, SMOF. MX\$ | 2922.3 (± 2895.3) | 6239.8 (± 1376.1) | 3274.8 (± 1187.5) | NS** |
| Margen neto por ha y año SMOF, MX\$ | 15940.7 (± 8911.5) | 9487.2 (± 3071.0) | 5477.4 (± 1816.6) | NS* |
| Ingreso a la UPG derivado de la ganadería, \$ | 344,954.8 (±100051.9) | 218,556.6 (± 53633.5) | 149,954.4 (± 49003.7) | NS* |
| Ingreso a la UPG derivado de la ganadería, % | 93.8 (±8.9) | 87.8 (± 5.5) | 79.4 (± 7.8) | NS* |

* Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. ** Análisis de varianza ($p < 0.05$). *** Indicador diferente ($p < 0.05$) entre conglomerados por X^2 de máxima verosimilitud, mediante tablas de contingencia. NS: No significativo.

La ganadería está integrada a la producción agrícola y forestal por flujos de energía y circulación de materiales a través del abonado de cultivos con estiércol, alimentación del ganado con residuos agrícolas y en unidades de pastoreo con un gradiente de arborización que va desde pastizales extensivos (sin árboles) hasta pastizales con cercos vivos, árboles dispersos, con arbustos y/o acahuales, utilizados de forma alterna durante el ciclo anual. Esta forma de manejo de la ganadería, con bajo uso de insumos externos, tiene menor costo ambiental y tiende a ser sustentable en comparación con sistemas con manejo convencional con alto uso de insumos externos (Nahed et al. 2013b; Valdivieso et al. 2019).

Los productores de los tres conglomerados son adultos jóvenes, de 49 a 53 años de edad en promedio y tienen entre 21 y 35 años dedicados a la ganadería (Cuadro 3). Estos productores han mostrado alta apertura a recibir asesoría, capacitación e interés para incursionar en innovaciones tecnológicas que los adultos mayores, lo cual fue observado por Nahed et al. (2010), en la comunidad de Tierra nueva en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera EL Ocote, Chiapas, lo que

constituye una oportunidad para desarrollar el manejo silvopastoril. Entre el 81 y el 89 % de los productores con manejo agrosilvopastoril y extensivo consideran que alguno de sus hijos u otro familiar continuará con la actividad ganadera, lo cual contrasta con lo reportado por Zepeda et al. (2016), quien muestra para el municipio de Mezcalapa, Chiapas que solo el 40 % de la generación de jóvenes tiene interés en el campo y particularmente en continuar con la actividad ganadera, para que las UPG mantengan su reproducción biológica y social. Por otra parte, los tipos de tenencia de las tierras predominantes y regularizadas son la ejidal y la propiedad privada, lo que ha permitido estabilidad en la producción agropecuaria en el municipio de Pijijiapan y en general en la región Costa de Chiapas (Ovalle 1995).

El único indicador que mostró diferencia entre conglomerados fue el de asistencia técnica, superior en grupo tres ($p < 0.05$). Además se observa que a medida que se incrementa el valor promedio de dicho indicador, se incrementa el valor del ISAGAN e indica incremento del y aporte de servicios agroecosistémicos. La misma tendencia ($p > 0.05$) se observa en los indicadores superficie de tierra propia, superficie de pastizal con árboles dispersos, superficie de acahual y bosque, superficie reforestada en los últimos seis años, tasa de natalidad y tasa de mortalidad en animales adultos. Este comportamiento es trascendental puesto que refuerza la idea de que los servicios agroecosistémicos de las UPG pueden concordar con una aceptable productividad y eficiencia, así como con la factibilidad del proceso de conversión ganadera extensiva hacia un manejo agrosilvopastoril.

En contraste, los indicadores superficie de pastizal sin árboles dispersos, superficie deforestada en los últimos seis años, margen neto por hectárea y año e ingreso económico de la UPG derivado de la ganadería (Mx\$ y %) presentan tendencias inversas ($p > 0.05$), lo que significa que a medida que incrementa el valor del ISAGAN se reducen los valores promedio de los indicadores en los conglomerados de UPG.

El resto de los indicadores (catorce de ellos) no presentaron diferencia significativa ni tendencia definida por efectos de los conglomerados, lo que indica variabilidad en el aporte de servicios agroecosistémicos.

En general, estos valores son inferiores a los reportados por Zepeda et al. (2016) para el municipio de Tecpatán, Chiapas. La carga animal total promedio de los pastizales en el conglomerado 3 está dentro de los límites permitidos por la normatividad orgánica, en tanto que la carga animal de los conglomerados 1 y 2 rebasan las dos unidades animales permitidas por IFOAM (2005), por lo que existe el riesgo de contaminación del suelo y el manto freático por nitrógeno.

La principal mano de obra en todas las UPG es familiar, la cual no se incluyó en el costo de producción; sin embargo, una proporción importante de productores contrata trabajadores temporalmente durante el ciclo anual, principalmente en los del conglomerado 3, lo que conduce al incremento del costo de producción y reduce el margen neto por vaca y año, margen neto por hectárea e ingreso económico a la UPG en \$Mx y en %. Solo una proporción baja de UPG de los tres conglomerados cuenta con camino de acceso en buen estado, agua entubada y energía eléctrica. Esta situación limita fuertemente la implementación de innovaciones, de mejora de las incipientes instalaciones y equipamiento, y en general del desarrollo de la producción ganadera, como lo han señalado Mena et al. (2011); Nahed et al (2013a).

El tamaño del hato de ganado bovino estandarizado en unidades animal incluyó a los bovinos, equinos (caballos burros), ovinos y caprinos. Todas las UPG cuentan con bovinos de la raza Cebú, encastadas con algunas razas europeas, entre las que predominan Suizo, Holstein, y en menor proporción Simmental. En todas las UPG el semental permanece todo el tiempo con las vacas, por lo que el empadre ocurre mediante monta directa o natural. Ello se refleja en que los becerros nacen en cualquier momento del año y el destete se realiza después de los 8 a 9 meses de lactancia. En la mayoría de UPG, las vacas se ordeñan una vez al día y de forma manual mediante la técnica de manejo conocido como “rejeguería” tradicional Ortiz (1982). Los productores venden leche solo a los queseros artesanales. Una baja

proporción de productores vende becerros al destete para ser engordados en la misma región, en tanto que una alta proporción de productores somete a repasto a sus becerros durante un año más, para venderlos. La venta de leche, becerros al destete, toretes y vacas de desecho (en cualquier época del año), son las principales fuentes de ingresos del productor y presentan serios problemas de intermediarismo en su comercialización, como ocurre en varias regiones del trópico mexicano (Ortiz 1982; Calderón et al. 2012) y de otras regiones del mundo (Niemeyer y Lombard, 2003; Mena et al. 2004; García et al. 2007).

La baja tasa de natalidad en los tres conglomerados de UPG reduce el ingreso económico en tanto que la baja tasa de mortalidad en animales adultos lo incrementan; los valores de ambos indicadores son menores en comparación con lo reportado por Nahed et al. (2013a). Por su parte, la tasa de mortalidad de becerros tiende a ser alta en los tres conglomerados de UPG, y concuerdan con lo reportado por Nahed et al. (2013a).

En general, las tendencias actuales de las UPG con manejo extensivo, apuntan hacia la disminución paulatina de los rendimientos productivos (observado en el relativo menor ingreso por variación de inventario y el margen neto por vaca y año del conglomerado 1), deterioro de los recursos naturales y agudización de los actuales niveles de pobreza. Revertir estas tendencias requiere de cambios funcionales, como los aspectos tecnológicos y de manejo del sistema de producción, y cambios estructurales, como la reorientación de las políticas públicas actuales hacia el desarrollo de sistemas ganaderos congruentes con el uso, la conservación, la gestión integral de los recursos naturales y la producción limpia. Así mismo, las políticas públicas requieren favorecer la transición de las cadenas productivas actuales hacia cadenas de valor. El desarrollo de la ganadería en el contexto de los sistemas agrosilvopastoriles intensivos e integrados constituye un instrumento clave de la política ambiental para la producción limpia, debido a que previene la contaminación, mejora la productividad y competitividad de la ganadería, incrementa el ingreso económico de los productores, promueve el uso eficiente del

agua, energía, materiales, y la conservación de los recursos naturales (Jose, 2009; Murgueitio et al., 2011). Lo anterior se traduce en menor impacto ambiental y menor riesgo para la salud, tanto de los animales como de los consumidores de los productos.

Análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores del ISAGAN

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de los nueve indicadores que integran el ISAGAN, por conglomerados de UPG. Los valores del ISAGAN sintetizan los valores de cada indicador por conglomerados de UPG, y se observa una tendencia hacia el incremento de dichos valores del conglomerado 1 al conglomerado 3.

De los nueve indicadores seis resultaron significativamente diferentes, en tanto que tres de ellos no lo fueron. Los indicadores riqueza florística arbórea, servicio cultural, captura de CO₂ total, abundancia de abejas y abundancia de fauna silvestre presentan una relación directa y significativa ($p < 0.05$) con los valores del ISAGAN. En tanto que el indicador de emisión de CH₄ entérico por unidad animal, presenta una relación inversa y significativa ($p < 0.05$) con el ISAGAN. Densidad de árboles por hectárea presenta una relación directa no significativa ($p > 0.05$) con el ISAGAN, en tanto que el índice del estado del suelo y metros lineales de cerco vivo por hectárea no presentan una tendencia definida con relación al ISAGAN, y los mayores valores están en el conglomerado 2. A continuación se hace la interpretación y discusión de cada indicador incluido en el ISAGAN.

Cuadro 4 Indicadores utilizados para construir el índice de servicios agroecosistémicos, basado en el método del punto ideal (Munda, 2004), comparando tres conglomerados, en cuatro localidades del municipio de Pijijiapan, Chiapas, México.

| Indicador | Valor Máximo | C₁ | C₂ | C₃ | X²; p |
|---|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| N= UPG | --- | 16 | 9 | 10 | --- |
| ISAGAN, % | -- | 49.9 | 62.8 | 80.3 | --- |
| Índice de estado del suelo | 42 (100%) | 30.2 (±1.7) (71.9%) | 35.6 (±0.9) (84.7%) | 34.5 (±1.5) (82.1%) | NS* |
| Densidad de árboles por ha | 57.7 (100%) | 19.3 (±4.1) (33.4%) | 21.7 (±5.2) (37.7%) | 49.8 (±18.2) (86.4%) | NS* |
| Riqueza florística arbórea, número de especies | 65 (100%) | 25.1 (2.4±) (38.6%) | 29.7 (±4.6) (45.7%) | 52.7 (±4.7) (81.1%) | 16.092;.000* |

| | | | | | |
|--|-----------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|
| Cercos vivos, metros lineales por ha | 354.5 (100%) | 131.8 (±14.2) (37.2%) | 192.6 (±14.2) (54.4%) | 135.8 (±30.8) (38.3%) | NS** |
| Servicio cultural, % | 100 (100%) | 74.1 (±3.2) (74.1%) | 84.4 (±3.8) (84.4%) | 93.8 (±2.3) (93.8%) | 10.016; .000* |
| Carbono total, Ton/ha | 57.1 (100%) | 25.7 (±1.0) (45.0%) | 31.0 (±1.9) (54.3%) | 45.4 (±2.1) (79.5 %) | 42.083; .000* |
| Emisión de CH₄ por Unidad Animal, kg por año | 31.15 (100%) | 52.04 (± 203.1) (59.8 %) | 44.25 (±336.9) (70.4%) | 37.9 9 (±314.3) (81.9%) | 10.961; .000* |
| Abundancia de abejas, % | 100 (100%) | 47.9 (± 59.1) (47.9%) | 81.5 (± 94.9) (81.5%) | 86.6 (± 98.9) (86.7%) | 14.599;.000* |
| Abundancia de fauna silvestres, % | 100 (100%) | 41.7 (±53.8) (41.7 %) | 51.8 (±74.4) (51.8 %) | 93.33 (±108.4) (93.3%) | 15.776;.000* |

* Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis ($p < 0.05$). ** ANOVA ($p < 0.05$). NS= No significativo

ISAGAN= Índice de servicios agroecosistémicos de la ganadería.

UPG= Unidad de producción ganadera

Índice de estado del suelo

El estado del suelo está dado por su capacidad para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sustentar la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (Doran y Parkin 1996). Es necesario evaluar y monitorear dicha calidad con el objetivo de mejorar o conservar la fertilidad y la productividad del suelo, para garantizar la sustentabilidad de los agroecosistemas (Vallejo 2013).

En nuestro caso de estudio, el hecho de que el índice del estado del suelo (Cuadro 4) no muestre diferencia por efectos de los conglomerados, significa que en general el manejo, y en particular la alimentación animal con pastos y follajes de especies leñosas en los sistemas agrosilvopastoril y extensivo, aportan cantidades similares de nutrimentos en el reciclaje de nutrimentos suelo-forraje-animal en los tres conglomerados de UPG.

Los análisis realizados mostraron una moderada a nula compactación de los suelos, una cantidad óptima de materia orgánica, poca erosión hídrica y buena estructura. El índice de estado del suelo relativamente mayor en las UPG de los conglomerados 2 y 3 concuerda con la hipótesis planteada en el presente estudio, ya que los productores con manejo silvopastoril brindan mayor aporte de servicios agroecosistémicos a nivel local, lo que permite mejorar la producción de forrajes y

la conservación de recursos naturales como agua, flora y fauna. Lo anterior concuerda con el estudio de Gamarra et. al. (2018), quienes analizaron la relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo, y concluyeron que la tasa de mineralización es buena en los suelos silvopastoriles, ya que estimula la proliferación de microorganismos que mineralizan la materia orgánica, y, en consecuencia, los nutrientes están disponibles para la pastura y el componente arbóreo.

Al realizar un análisis prospectivo mediante pruebas de laboratorio los productores con manejo agrosilvopastoril y con prácticas extensivas, se observa una ligera diferencia en el Potasio disponible al resultar más elevado en parcelas con manejo agrosilvopastoril (Cuadro 5 y 6).

Cuadro 5. Resultados de análisis de suelo de las parcelas con manejo extensivo.

| MANEJO EXTENSIVO | | Parámetros* | | | | |
|--|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Propiedades | Resultados PROMEDIO | Muy bajo | Bajo | Medio | Alto | Muy alto |
| Fosforo disponible mg/kg | 24.29 | Menor de 5.5 | 5.51-11.0 | 11.1-18.0 | 18.1-22 | Mayor a 22.1 |
| Materia Orgánica % | 1.6 | Menor de 4.0 | 4.1-6.0 | 6.1-10.9 | 11.0-16.0 | Mayor de 16 |
| pH H ₂ O | 5.54 | Fuertemente ácido Menor de 5.0 | Moderadamente ácido 5.1-6.5 | Neutro 6.6-7.3 | Medianamente alcalino 7.4-8.5 | Fuertemente alcalino-mayor de 8.6 |
| Nitrógeno Total % | 0.19 | Menor de 0.15 | 0.16-0.30 | 0.31-0.80 | 0.81-1.2 | Mayor a 1.3 |
| Potasio disponible Cmol/kg | 0.27 | Menor de 0.2 | 0.21-0.3 | 0.31-0.6 | 0.61-0.8 | Mayor a 0.81 |
| Capacidad de intercambio de cationes Cmol/kg | 20.7 | Menor de 5.0 | 5.1 -15.0 | 15.1-25.0 | 25.1-40.0 | Mayor a 40.1 |

Cuadro 6. Resultados de análisis de laboratorio de parcelas con manejo agrosilvopastoril

| MANEJO SSP | | Parámetros* | | | | |
|--|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Propiedades | Resultados PROMEDIO | Muy bajo | Bajo | Medio | Alto | Muy alto |
| Fosforo disponible mg/kg | 25.15 | Menor de 5.5 | 5.51-11.0 | 11.1-18.0 | 18.1-22 | Mayor a 22.1 |
| Materia Orgánica % | 1.87 | Menor de 4.0 | 4.1-6.0 | 6.1-10.9 | 11.0-16.0 | Mayor de 16 |
| pH H ₂ O | 5.32 | Fuertemente ácido Menor de 5.0 | Moderadamente ácido 5.1-6.5 | Neutro 6.6-7.3 | Medianamente alcalino 7.4-8.5 | Fuertemente alcalino mayor de 8.6 |
| Nitrógeno Total % | 0.20 | Menor de 0.15 | 0.16-0.30 | 0.31-0.80 | 0.81-1.2 | Mayor a 1.3 |
| Potasio disponible Cmol/kg | 0.33 | Menor de 0.2 | 0.21-0.3 | 0.31-0.6 | 0.61-0.8 | Mayor a 0.81 |
| Capacidad de intercambio de cationes Cmol/kg | 19.70 | Menor de 5.0 | 5.1 -15.0 | 15.1-25.0 | 25.1-40.0 | Mayor a 40.1 |

El monitoreo constante del estado del suelo es importante, ya que permite tomar medidas que aporten en la recuperación del entorno, para garantizar la sostenibilidad del sistema productivo (Nair et al. 1993; Molina et al. 2001). El escenario dentro del municipio apunta a una degradación edáfica constante en el manejo convencional debido principalmente a las diferentes prácticas de manejo agrícola y pecuario presentes. Es por ello que se debe motivar e informar al productor sobre la importancia de llevar a cabo un monitoreo y dar seguimiento en el tiempo, de las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus suelos. El

productor debe ser capacitado para que evalúe sus suelos de una forma sencilla y accesible económicamente, la metodología que se implementó en este estudio resulta ser una opción viable para medir el índice de estado de suelo ya que no se requieren de mucho tiempo y materiales, además de ser práctica.

Densidad arbórea de árboles dispersos

Los árboles dispersos en los potreros son retenidos por los productores ya que cumplen diversas funciones tanto para el productor como para el ambiente, entre las que se encuentran sombra, leña, madera, forrajes. Además, favorecen el hábitat de ciertas especies nativas y mejoran la conectividad entre paisajes arbolados (Esquivel et al. 2011; Harvey et al. 2011). Además de que promueven la captura de carbono, y la conservación del agua (Shibu 2009; Nair 1995; Casanova et al. 2011).

La densidad arbórea en las parcelas no presentó diferencia significativa entre conglomerados ($p > 0.05$) pero mostró una tendencia definida de C1 hacia C3, lo que significa que a mayor densidad arbórea se mejoran los servicios agro-ecosistémicos y se contribuye a aumentar el valor del ISAGAN (Cuadro 4). Las densidades arbóreas del C1 y C2 fueron en general muy bajas, mientras que la densidad de 48.8 árboles/ha en grajas de Nicaragua, (Somarriba et al., 2017), y mayor a la densidad reportada por Grande y Maldonado (2011) en el estudio llevado a cabo en el estado de Tabasco, en el que encontró que los árboles adultos dispersos en los potreros son muy comunes y tuvieron densidades de 25 a 40 árboles/ha

Las densidades de los árboles encontradas en los conglomerados se deben a que los productores con manejo silvopastoril conservan gran cantidad de árboles dispersos en sus terrenos, teniendo un mayor aporte de servicios agro-ecosistémicos a nivel de paisaje ya que forman corredores que permiten conservar la fauna, esto contribuye a la hipótesis de esta investigación. La conservación de la cobertura arbórea es de vital importancia para la conservación de la materia orgánica, lo cual tiene un impacto positivo en la actividad microbiana del suelo, similar a lo que reportó Silberman et al. (2015), quienes señalaron que el contenido de carbono, nitrógeno y la actividad microbiana del suelo está en función de la cobertura arbórea, ya que identificaron que los niveles de carbono orgánico del

suelo (COS), carbono orgánico particulado (COP), nitrógeno total (NT) y respiración edáfica (RE) son menores en suelos sin cobertura arbórea.

Composición y riqueza florística arbórea

En la zona de estudio se encontraron remanentes de vegetación primaria que por diversas razones quedaron en los terrenos después del desmonte que dio paso a las actividades productivas; además de que algunos productores siembran en su terreno árboles con la finalidad de obtener un aprovechamiento posterior como autoconsumo, comercialización o autoabastecimiento, adicional a la producción ganadera. Y en algunos casos en las parcelas se presentan de árboles de regeneración natural que el productor mantiene en su parcela por los beneficios que dichas especies ofrecen.

No se encontró diferencia estadística entre conglomerados y solo se observó una tendencia marcada del C1 al C3, lo que demuestra que los productores con sistemas silvopastoriles tienen mayor riqueza florística arbórea y que indica que su impacto a nivel de paisaje es mayor en los servicios agro-ecosistémicos de regulación y soporte. Al existir mayor cobertura arbórea dentro de las parcelas estudiadas, es factible que presenten importantes aportes en materia de regeneración del suelo, almacenamiento de carbono, como lo señalaron Castañeda et al. (2017), quienes enfatizaron que las reservas de carbono dependen fuertemente de la composición florística, abundancia de la comunidad vegetal y las características del suelo, tal como su fertilidad y disponibilidad de agua.

La composición de los árboles dispersos en los potreros comprende la presencia de árboles de la selva original, diversos frutales nativos o naturalizados, árboles altos y frondosos que ofrecen sombra; y de manera notable, especies maderables, además de otras especies importantes por sus características de adaptación y otros usos particulares; el caulote (*Guazuma tomentosa*) y el piñón (*Jatropha curcas*) fueron las especies con mayor presencia en las cuatro localidades estudiadas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Especies arbóreas presentes con mayor frecuencia relativa en las UPG (silvopastoril y extensiva) de las cuatro localidades estudiadas.

| Localidad | Nombre local | Nombre científico (Especie) | Familia |
|--------------------|---------------------|--|----------------|
| El Paraíso | Cuajilote | <i>Parmetiera aculeata</i> | Bignoniáceas |
| | Cedro | <i>Cedrela mexicana</i> | Meliáceas |
| | Ceiba | <i>Ceiba pentandra</i> | Bombacáceas |
| | Cuaulote/Quebracho | <i>Guazuma tomentoza</i> | Esterculiáceas |
| | Piñón | <i>Jatropha curcas</i> | Euforbiáceas |
| Coapa Echegaray | Cuajilote | <i>Parmetiera aculeata</i> | Bignoniáceas |
| | Piñón | <i>Jatropha curcas</i> | Euforbiáceas |
| | Cedro | <i>Cedrela mexicana</i> | Meliáceas |
| | Cuaulote/Quebracho | <i>Guazuma tomentoza</i> | Esterculiáceas |
| | Yaite/Cuchunuc | <i>Gliricidia sepium</i> | Papilionadas |
| Nueva Flor | Chocohuite/Mulato | <i>Triplaris malaenodendron</i> | Poligonáceas |
| | Bailador | <i>Bombax ellipticum</i> | Bombacáceas |
| | Cuaulote/Quebracho | <i>Guazuma tomentoza</i> | Esterculiáceas |
| | Tepenahuaste | <i>Pithecellobium saman</i> | Mimosáceas |
| | Piñón | <i>Jatropha curcas</i> | Euforbiáceas |
| Unión Pijijiapan | Cuaulote/Quebracho | <i>Guazuma tomentoza</i> | Esterculiáceas |
| | Lombricero | <i>Andira inermis</i> | Papilionadas |
| | Hormiguillo/Laurel | <i>Dalbergia tucurensis</i> | Papilionadas |
| | Guachipilin | <i>Diphysa robinoides</i> | Papilionadas |
| | Piñón | <i>Jatropha curcas</i> | Euforbiáceas |

En la zona de estudio se ha encontrado un máximo de 85 especies en UPG con manejo silvopastoril y hasta 65 con manejo extensivo y dicha cantidad es muy inferior a las 264 especies de árboles encontradas en Nicaragua por Somarriba et al. (2017).

Los árboles dispersos que se identificaron en las parcelas son especies multipropósito que ofrecen diversos productos y servicios agroecosistémicos para la finca, como madera, postes, estacas, leña, y alimentos para el consumo humano y animal, artesanías y sombra para los animales; la venta de algunos productos genera ingresos adicionales a los productores, aunque no es particularmente importante para ellos ya que en su mayoría es utilizado para autoabasto en el caso de la madera y frutales.

Es necesario aumentar el conocimiento sobre la composición y manejo de los árboles para contribuir en la toma de decisiones y poder aportar estrategias para un manejo o arreglo adecuado para los productores y de esta manera incidir en la conservación de los agroecosistemas.

Metros lineales de cercos vivos

Este indicador no presentó diferencias significativas entre conglomerados y todos los valores encontrados fueron muy bajos en comparación con el valor máximo, lo que indica que el indicador tiene una aportación modesta en el valor del ISAGAN. La longitud de los cercos vivos con respecto al del C₂ son similares a los 190 metros lineales por ha encontrados por Somarriba et al. (2017) en las granjas de tres municipalidades de Nicaragua. La mayoría de los cercos vivos está compuesta por *Jatropha curcas*, y en menor medida se encontraron árboles maderable y frutales; los productores establecen y manejan sus cercos vivos para facilitar el manejo de su forraje y el ganado bovino (Harvey et al 2003; Zepeda et. al. 2016).

Valoración de servicios agro-ecosistémicos culturales: belleza escénica, recreación, información (cultural, artística, espiritual e histórica) salud mental, ciencia y educación

Este indicador no presentó diferencias estadísticas entre conglomerados y evidenció una tendencia marcada en la que los productores del C3 valoran en mayor medida los servicios agro-ecosistémicos no tangibles en sus UPG como los sentimientos y sensaciones que les brinda verlos y utilizarlos como un espacio de enseñanza-aprendizaje, mientras los productores del C1 consideraron que, aunque

les proporcionan sentimiento de alegría, representan más un medio para obtener beneficios económicos.

Los sistemas agroforestales proveen diversos servicios agroecosistémicos entre los que sobresalen el mantenimiento de la fertilidad del suelo/reducción de la erosión mediante el aporte de material orgánico al suelo, fijación de nitrógeno y reciclaje de nutrientes; conservación del agua (cantidad y calidad) al favorecer la infiltración y reducir la escorrentía superficial que podría contaminar cursos de agua; captura de carbono, enfatizando el potencial de los sistemas agrosilvopastoriles; y la conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados. Estos servicios complementan los productos que los sistemas agroforestales proveen (para uso comercial o familiar; p. ej., leña, madera, frutos), pero rara vez los agricultores son recompensados por ellos (Beer et al., 2003).

La agroforestería es una herramienta adecuada para la restauración del paisaje porque puede mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo y, por lo tanto, puede aumentar su fertilidad, controlar la erosión y mejorar la disponibilidad de agua. Asimismo, los sistemas agroforestales que proporcionan una cubierta de dosel permanente pueden ser opciones valiosas para la restauración de bosques y paisajes, especialmente en aquellas iniciativas donde ni la restauración del bosque natural ni los cultivos a pleno sol son opciones factibles (FAO, 2017).

La agroforestería también puede mejorar los medios de vida en las comunidades rurales al proporcionar una variedad de alimentos, forraje y productos derivados de los árboles que aumentan la seguridad alimentaria y nutricional, generan ingresos y mitigan la pobreza. Además, la restauración de los paisajes degradados utilizando la agroforestería puede aumentar la resiliencia de las comunidades ante diferentes perturbaciones (incluidas las sequías y la escasez de alimentos) y puede contribuir a mitigar el cambio climático (FAO, 2017).

Captura de dióxido de carbono (CO₂) en: árboles (maduros y jóvenes), ramas caídas, herbáceas, hojarasca y humus, raíces (gruesas y delgadas)

Este indicador refleja como el componente arbóreo aporta al ambiente a nivel global. Los productores del C3 tienen una mayor captura de carbono en toneladas por hectárea al tener mayor densidad arbórea, ya que los productores con manejo silvopastoril aportan mayores servicios ecosistémicos por dicho concepto en comparación con los productores con manejo extensivo. La captura de carbono mostró una relación positiva con la densidad arbórea, ya que a mayor densidad arbórea hubo mayor captura de carbono por unidad de superficie.

Los árboles presentes y el manejo del suelo en las granjas son una buena estrategia para secuestrar y almacenar carbono en la biomasa de la madera, como se demostró en el estudio de Somarriba et al. (2017), en el que la media de las reservas de carbono fue de alrededor de 167 Mg de C por granja (con superficie promedio de 8.7 hectáreas de tierra cultivada), que significaron alrededor de 20 Mg C por ha. En el mismo estudio se reportó que los árboles dispersos en potreros almacenaron 111 Mg de C/granja (que representaron 14.2 Mg de C/ha), mientras que las reservas totales de C en los árboles de los cercos vivos fue de 55.6 Mg de C/granja.

Emisiones de metano

Las emisiones de metano no tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre conglomerados, aunque se observó una tendencia marcada en la que los animales del C3 producen menos kilogramos por año de metano por unidad animal, mientras que los animales de C1 producen más, principalmente porque los productores de este conglomerado sobrepasan la capacidad de carga animal y tienen un manejo más extensivo.

Existen diversas tecnologías o prácticas para reducir las emisiones de metano entérico; entre ellas se incluyen la manipulación de los animales, la manipulación de la dieta y la manipulación ruminal (Eckard et al., 2010; Rojas-Downing et al., 2017). De acuerdo a las características y manejo general de las UPG estudiadas, las principales prácticas para reducir la producción de metano se relacionan con la

manipulación de la dieta, dentro de la que se incluye la mejora de la calidad del forraje mediante varias alternativas como suministrar forraje con menos fibra y carbohidratos solubles más altos, el cambio de pastos C4 a C3, o el pastoreo en pasturas menos maduras (Ulyatt et al. 2002; Beauchemin et al. 2008; Hristov et al. 2013). Asimismo, mejorar la calidad de la dieta puede mejorar el rendimiento animal y reducir la producción de CH₄, pero también puede mejorar la eficiencia al reducir las emisiones de CH₄ por unidad de producto animal. Por lo tanto, el fitomejoramiento puede mejorar potencialmente la digestibilidad y reducir las emisiones de metano (Eckard et al. 2010).

El manejo del pastoreo también puede ser una práctica importante para reducir las emisiones de metano. Se ha demostrado que el manejo del pastoreo intensivo ofreció un uso más eficiente de los cultivos forrajeros pastoreados y una conversión más eficiente del forraje en carne y leche, lo que provocó una reducción del 22% de las emisiones anuales proyectadas de CH₄ en el ganado de carne (DeRamus et al. 2003).

En vacas lecheras en pastoreo se han reportado emisiones de metano de 19.3 g/kg de MS consumida (Clark et al. 2005). Por su parte, los rangos típicos de emisiones de metano de bovinos de carne con peso vivo promedio de 470 kg son de 50-90 kg/cabeza/año (equivalentes a 137-246 g/cabeza/día), mientras que las vacas lactantes con peso vivo promedio de 550 kg emiten de 91-146 kg/cabeza/año (equivalentes a 250-400 g/cabeza/día) (Eckard et al. 2010). De acuerdo con lo anterior, las emisiones de metano de los animales en los tres conglomerados (38-52 kg/UA/año) son inferiores a los reportados por dichos investigadores.

Por otra parte, están surgiendo pruebas de que los sistemas agroforestales son prácticas de manejo prometedoras para aumentar las reservas de carbono encima del suelo y en el suelo y reducir la degradación del suelo, así como para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (Mutuo et al. 2005). En los trópicos húmedos, el potencial de los sistemas agroforestales (basados en árboles) para secuestrar carbono puede superar los 70 Mg C/ha y hasta 25 Mg C/ha en los 20 cm superiores del suelo. En suelos degradados de los trópicos subhúmedos, se ha

encontrado que las prácticas agroforestales de barbecho mejorado aumentan las reservas de carbono en la porción superior del suelo hasta 1.6 Mg C /ha/año más en comparación con el cultivo continuo de maíz (Mutuo et al. 2005). Una revisión de las prácticas agroforestales en los trópicos húmedos mostró que estos sistemas podían mitigar las emisiones de N₂O y CO₂ de los suelos y aumentar la resistencia del sumidero de CH₄ en comparación con los sistemas de monocultivo. En resumen, existe evidencia de varias vías mediante las cuales los sistemas agroforestales pueden aumentar el secuestro de carbono y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Mutuo et al. 2005).

Abundancia y composición de abejas

Este indicador no mostró diferencias estadísticamente significativas entre conglomerados, aunque los productores del C3 reportaron mayor presencia de abejas en su terreno, en comparación con los productores del conglomerado C1, con una clara tendencia de aumento en las UPG con manejo silvopastoril. Los productores con manejo silvopastoril comentaron "...nosotros cuidamos a las abejas no las ahuyentamos ni le prendemos fuego..." mientras que los productores extensivos opinaron "... tratamos de que las abejas no hagan panales dentro del potrero, ya que se ponen agresivas y atacan a mis animales sobre todo a mis vacas.

La diversidad vegetal presente en algunos sistemas agroforestales tiene un importante papel para la conservación de las abejas, como se encontró en cuatro zonas cafeteras de Costa Rica, en donde la presencia de abejas sin aguijón (*Meliponini*) y *Apis mellifera* se relacionó más con la proximidad de los árboles de sombra por ser su principal recurso de nido, mientras que otras abejas de las familias Apidae (incluyendo *euglosinas*), Halictidae y Megachilidae respondieron a la vegetación de malezas (fuente de alimento) por no limitar sus sitios de nido a los árboles. Por otra parte, las abejas también ofrecen beneficios en los sistemas agroforestales; en los cafetales visitados por ellas (que comúnmente representan más del 95% de sus visitantes florales), se han reportado incrementos en la producción de hasta el 50% (Florez et al. 2002).

También se debe considerar la enorme diversidad de abejas que potencialmente pueden visitar los sistemas agroforestales. En el Neotrópico hay casi 6000 especies de abejas —3000 especies de lengua larga (Apidae y Megachilidae) y 3000 de lengua corta (Colletidae, Andrenidae y Halictidae)— que con sus visitas frecuentes a las flores se convierten en polinizadores eficientes, a diferencia de otros animales, que solo las visitan ocasionalmente. Las abejas silvestres no-Apis son particularmente importantes, ya que conforman aproximadamente el 90% del total de las abejas del mundo, son muy variadas, y su biología y sus relaciones con el ser humano son poco conocidas (Nates-Parra 2005).

Diversas especies arbóreas y arbustivas presentes en los sistemas agroforestales de la zona de estudio pertenecientes a diversos géneros como *Spondias*, *Crescentia*, *Tabebuia*, *Bixa*, *Ceiba*, *Cordia*, *Bursera*, *Enterolobium*, *Gliricidia*, *Erythrina*, *Inga*, *Leucaena*, *Byrsonima*, *Cedrela*, *Swietenia* o *Brosimum* son útiles para la producción de miel y favorecen la presencia de abejas. Además de los árboles, algunas plantas forrajeras también permiten disponer de flores para la actividad apícola. Tal es el caso de el trébol blanco (*Trifolium repens*), planta forrajera recomendada para los sistemas silvopastoriles de álamos en la región de los valles irrigados del norte de la Patagonia (Thomas et al., 2015). De igual manera, el botón de oro (*Tithonia diversifolia*), planta forrajera arbustiva que se ha promovido para el establecimiento de sistemas silvopastoriles en varios países de Latinoamérica se considera una importante fuente de néctar para las abejas (FAO, 2015). También se ha resaltado la importancia de algunas especies de árboles como *Schinopsis lorentzii*, *Ziziphus mistol*, *Prosopis nigra* y *Caesalpinia paraguariensis* por la presencia de panales de abejas (Depósito y Ledesma, 2015).

Abundancia de fauna silvestre

Junto con otros beneficios, la agroforestería también se puede utilizar para proporcionar una mayor diversidad en la granja y mejorar el potencial para proveer hábitat para una variedad de especies de vida silvestre. Cuando se aplica la agroforestería, los usos de la tierra resultantes a menudo satisfacen las necesidades de diversas especies de vida silvestre, además de ofrecer oportunidades para

ingresos a corto y largo plazo y sostenibilidad ambiental. A través de combinaciones integradas de árboles, arbustos y pastos, las prácticas agroforestales pueden proporcionar un medio para aumentar la disponibilidad de hábitat para cierta vida silvestre sin sacrificar el potencial para alcanzar las metas y objetivos agronómicos y económicos de los propietarios de la tierra (Walter y Pierce, 2008).

En este estudio no hubo diferencia significativa en la abundancia de fauna silvestre entre conglomerados, aunque el C3 presentó una relativa mayor abundancia en comparación con C1, lo que es congruente con los resultados obtenidos en algunos de los indicadores analizados previamente. Este indicador confirma que los sistemas silvopastoriles contribuyen en generar un hábitat adecuado para la fauna silvestre (Crespo 2008).

El manejo de la fauna se ha considerado como una opción no convencional de la agroforestería; en general, en los sistemas agroforestales los componentes animales con frecuencia solo se refieren a los animales domésticos, sin considerar que la fauna silvestre sirve como una importante fuente de alimentación para las poblaciones locales y por tanto, son candidatos ideales para su inclusión en los sistemas agroforestales. Algunas de las especies que se pueden incluir son los animales de caza, frugívoros que se alimentan de frutos de árboles silvestres y cultivos agrícolas, considerando que las Moraceas constituyen un grupo importante de plantas de interés alimentario. Además de los animales de caza que llegan ocasionalmente atraídos por el acceso a tubérculos y follajes, se pueden agregar diferentes larvas y gusanos comestibles, roedores, palomas y otras aves comestibles. Se sabe que algunos agricultores cazan animales “plagas” de cultivos, lo que llevó a la idea de manejar la fauna de ecotonos como parte de las opciones productivas de algunos grupos humanos. Por otra parte, la fauna silvestre también interviene en el control de parásitos del ganado, como las garzas, que se comen las garrapatas del ganado (Arce y García, 1997). Además de los árboles, también se debe considerar que diversas especies de palmas de los géneros *Oenocarpus*, *Roystonea*, *Mauritia*, *Acrocomia*, *Attalea*, *Bactris*, *Sabal*, *Syagrus*, *Coccothrinax*,

Copernicia, Wettinia, Euterpe, Prestoea y Ceroxylon, presentes en América Tropical son estratégicas para muchas especies de la fauna nativa (Rosales et al., 1999).

Implicaciones para el desarrollo sustentable de la ganadería

Es de gran importancia fomentar el desarrollo sostenible de los sistemas de producción animal desde una perspectiva multidimensional y multinivel. Para ello se requiere favorecer las potencialidades y oportunidades de desarrollo mediante innovaciones socioambientales e intervenciones funcionales (manejo del sistema) y estructurales (políticas). El desarrollo de la ganadería con manejo agrosilvopastoril, intensivos e integrados constituye un instrumento clave de la política ambiental para la producción limpia, debido a que previene la contaminación, mejora la productividad y competitividad de la ganadería, incrementa el ingreso económico de los productores, promueve el uso eficiente del agua, energía, materiales, y la conservación de los recursos naturales (Jose, 2009; Murgueitio et al., 2011). Lo anterior se traduce en menor impacto ambiental y menor riesgo para la salud, tanto de los animales como de los consumidores de los productos. Para alcanzar estas metas, desde el punto de vista funcional o de manejo (CAST, 1999; Nahed et al., 2016) es necesario maximizar las oportunidades que ofrece la producción ganadera actual en el municipio de Pijijiapan, particularmente en lo que se refiere a: (i) diversidad de unidades de pastoreo, particularmente aquellas con manejo agrosilvopastoril y novedosos, uso de recursos locales o adaptados a las condiciones de la región y conocimiento de ciclos naturales; (ii) bajo uso de insumos externos y empleo de tecnología tradicional en la producción; (iii) características artesanales de los productos ganaderos, y (iv) existencia de cadenas productivas no consolidadas que brindan la oportunidad de renovarse hacia aquellas de valor a partir de nuevas conceptualizaciones y relaciones de mercado. Actualmente las primeras se encuentran limitadas por el escaso control de calidad de los productos y la carencia de relaciones estratégicas o alianzas entre los actores involucrados para transitar hacia las segundas; esto imposibilita su comercialización en el mercado formal y hace que los precios sean significativamente menores a los esperados.

Desde la perspectiva estructural (Long, 1984; Scoones, 1998; CAST, 1999), las intervenciones se construyen por las relaciones sociales que prevalecen en un determinado momento de la historia y no son fácilmente modificables. Su transformación depende de múltiples cambios en la estructura social para poder observar los procesos por medio de los cuales la política se transforma. Así, se requieren fortalecer los mecanismos de apoyo (financiero, asesoría, capacitación, organización y gestión) en los eslabones de la cadena productiva e implementar estrategias de desarrollo de la ganadería bovina extensiva que transite hacia prácticas agrosilvopastoril y orgánica, particularmente: (i) una política de desarrollo de sistemas con manejo agrosilvopastoriles y sanidad e inocuidad agroalimentaria que considere el financiamiento de los costos de certificación para diferenciar los productos por calidad, (ii) apoyo permanente para consolidar alianzas entre los actores (producción, comercialización, transformación y venta), así como (iii) promoción de los productos de origen animal en los mercados locales, nacionales e internacional. De esta forma, la carne, leche y quesos producidos en el municipio de Pijijiapan podrían mejorar su calidad y ser amigables con el ambiente, para ser comercializados en nichos de mercados alternativos en beneficio de productores y consumidores.

CONCLUSIONES

Se identificaron tres fases históricas de la ganadera en el municipio de Pijijiapan. La primera, hasta 1900, cuando se perfilan las principales formas socioproductivas de la región, entre ellas la ganadería. La segunda, desde 1900 hasta 1955 cuando se impulsa el desarrollo de la región y surgen las organizaciones ganaderas. La tercera, desde 1955 hasta la fecha, periodo en el que se expande la ganadería mediante la práctica de la ganadería extensiva, con impactos ambientales negativos y surgen los sistemas agrosilvopastoriles como alternativa sustentable a la ganadería extensiva.

El patrón de cambio de uso del suelo por parte de los productores del municipio de Pijijiapan, ha tenido diferente grado de intensidad, y el crecimiento poblacional y la dotación de tierras han ejercido presión sobre los recursos naturales que conduce a una competencia permanente entre los usos pecuario, agrícola y forestal.

La ganadería en pastoreo se caracteriza por un gradiente de arborización, escaso grado de desarrollo tecnológico, bajo uso de insumos externos y uso integral y diversificado de los recursos.

Los valores del Índice de aporte de Servicios Agroecosistémicos Ganadero (ISAGAN) sintetizan los valores de cada indicador por conglomerados de UPG, y se observa una tendencia hacia el incremento de dichos valores del conglomerado 1 al conglomerado 3.

Existe una relación directa y significativa entre los valores de asistencia técnica con los del Índice de aporte de Servicios Agroecosistémicos Ganadero (ISAGAN). Tendencias similares no significativas ($p > 0.05$) se observaron en los indicadores superficie de tierra propia, superficie de pastizal con árboles dispersos, superficie de acahual y bosque y superficie reforestada en los últimos seis años, tasa de natalidad y tasa de mortalidad en animales adultos.

Los indicadores superficie deforestada en los últimos seis años y tasa de mortalidad de becerros presentan tendencias inversas no significativas, y al igual que los indicadores señalados previamente, indican que a medida que se incrementan o reducen (en el caso de superficie deforestada en los últimos seis años y tasa de mortalidad de becerros) los valores de los indicadores, aumenta el aporte de servicios agroecosistémicos.

Existe una relación inversa no significativa entre los indicadores superficie de pastizal sin árboles dispersos, margen neto por hectárea e ingreso económico de la UPG derivado de la ganadería, con el Índice de aporte de Servicios Agroecosistémicos Ganadero (ISAGAN).

Catorce indicadores técnicos y socioeconómicos no presentaron diferencia significativa ni tendencia definida por efectos de los conglomerados, lo que indica variabilidad en el aporte de servicios agroecosistémicos y del comportamiento de los indicadores.

Existe una tendencia al incremento de los valores del ISAGAN del conglomerado de UPG 1, al conglomerado 3. Ello permitió diferenciar tres niveles de manejo, desde el extensivo, el semisilvopastoril y agrosilvopastoril, relacionados directamente con tres niveles de aportes de servicios agro-ecosistémicos (bajo, medio y alto) en la zona de estudio.

Los indicadores riqueza florística arbórea, servicio cultural, captura de CO₂ total, abundancia de abejas y abundancia de fauna silvestre presentan una relación directa y significativa con los valores del Índice de aporte de Servicios Agroecosistémicos Ganadero (ISAGAN). Por su parte, el indicador de emisión de CH₄ entérico por unidad animal, presenta una relación inversa y significativa con el Índice de aporte de Servicios Agroecosistémicos Ganadero (ISAGAN),

El indicador densidad de árboles por hectárea presenta una relación directa no significativa ($p > 0.05$) con el Índice de aporte de Servicios Agroecosistémicos Ganadero (ISAGAN), en tanto que el índice del estado del suelo y metros lineales de cerco vivo por hectárea no presentan una tendencia definida con relación al Índice de aporte de Servicios Agroecosistémicos Ganadero (ISAGAN), y los mayores valores se ubican en el conglomerado de unidades de producción ganadera 2.

El índice de servicios agroecosistémicos de la ganadería (ISAGAN), generado en esta investigación, es perfectible, sin embargo, es un instrumento que permitirá dar seguimiento, en materia de aporte de servicios agroecosistémicos a las unidades de producción ganadera en la región Costa de Chiapas, y puede ser aplicado en otras regiones.

Los sistemas silvopastoriles son una alternativa viable para restaurar los servicios agroecosistémicos en las UPG, capaces de generar beneficios ambientales sin afectar considerablemente los indicadores de eficiencia y productividad.

Mejorar las tendencias actuales de las UPG estudiadas implica realizar cambios funcionales, como los aspectos tecnológicos y de manejo del sistema de producción, y cambios estructurales, como la reorientación de las políticas públicas actuales hacia el desarrollo de sistemas ganaderos congruentes con el uso, la conservación, la gestión integral de los recursos naturales y la producción limpia.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación se emiten las siguientes recomendaciones:

- Mediante proyectos de investigación científica, utilizar y mejorar el ISAGAN para su validación y así contribuir en el análisis y documentación de los múltiples beneficios en materia de servicios agroecosistémicos que aportan los sistemas ganaderos con manejo agrosilvopastoriles, en comparación con los de manejo extensivo.
- Difundir mediante diversos canales de comunicación, las prácticas de sistemas agrosilvopastoriles, dando a conocer los múltiples beneficios tanto para el productor como para el ambiente al revertir gradualmente los efectos negativos causados por una ganadería extensiva, en los cuerpos de agua, en los polinizadores, en el suelo, en la captura de dióxido de carbono, en las emisiones de metano; al no comprometer los servicios ecosistémicos de los que depende todos los sistemas productivos.
- Verificar que los extensionista o personas que brinden capacitación u orientación a los productores tengan los conocimientos y las habilidades necesarias para impulsar la adopción y adaptación de los sistemas agrosilvopastoriles.
- Proponer iniciativas para modificar las políticas públicas agrícolas de comercialización, distribución y abasto que se han impulsado hasta ahora, pero que no han logrado beneficiar plenamente a los pequeños productores, que carecen de acompañamiento técnico adecuado, de acceso a servicios financieros, a seguros, a canales de comercialización, que dependen de intermediarios, y que están sujetos a la especulación de los precios de sus productos.
- Proponer políticas públicas que reconozcan a los campesinos mexicanos como los agentes innovadores y resilientes que son, sujetos a derechos plenos y ricos en conocimientos, experiencias y saberes.

- A partir de los beneficios que se muestran en la presente investigación, y de otras investigaciones en el ámbito nacional e internacional, gestionar apoyos económicos, como pago por servicios ambientales, para productores con manejo agrosilvopastoril, por los múltiples servicios agroecosistémicos que proveen, lo cual ayudaría a fomentar y consolidar dichas prácticas entre productores ganaderos.
- Gestionar ante la Secretaría correspondiente (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural o Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), la certificación con sello verde/agroecológico de la ganadería con manejo agrosilvopastoril, para poder comercializar la carne y la leche así como otros derivados, con un precio diferenciado y justo, para fomentar una ganadería amigable con el ambiente, sustentable, saludable, local y solidaria que les permita crear lazos de confianza entre productores y consumidores, que fomente la competitividad con un enfoque de cadena productiva (aumento de rendimientos, calidad, valor agregado).

LITERATURA CITADA

- Acevedo, E, Carrasco M, León O, Martínez E, Silva P, Castillo G, Ahumada I, Borie G, González S. 2005. Criterios de Calidad de Suelo Agrícola. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile (CL). 205 p
- Aguilar A. 2007. Almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo y silvopastoriles, en dos comunidades de la selva Lacandona, Chiapas, México. Universidad Autónoma de Chapingo. [Tesis de maestría].1: 1-90
- Arce, R., García, A. 1997. La agroforestería social: un nexo entre la conservación y el desarrollo sostenible. *Agroforestería en las Américas* 4(16): 15-21.
- AHP. Archivo Histórico del municipio de Pijijiapan. Chiapas., s/f. Presidencia municipal de Pijijiapan, Chiapas, México.
- Allen-Wardell G, Bernhardt P, Bitner R, Burquez A, Buchmann S, Cane J, Cox Pa, Dalton V, Ongam M, Inouye D, Jones C, Kennedy K, Kevan P, Koopowiz H, Medellin R, Medellin-Moral S, 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology*. 8-17 p.
- Alonso J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 45 (2):107-115
- Apss M, Kurz W, Luxmoore R, Nilsson L, Sedjo R, Schmidt R, Simpson L, Vison T. 1993. Boreal Forests and Tundra. En Wisniewski J. y Sampson R. [editors]. *Territorial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO₂*. Kluwer Academic Publishers. Holanda 39-53 p
- Aizen, M, y Feinsinger P. 1994. Habitat fragmentation, native insect pollinators, and feral honey bees in argentine "Chaco Serrano". *Ecological Applications* 378-392 p

- Aquilla R. 2005. Uso de suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en subcuenca del río Jobal, Costa Rica. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica. 1:23
- Beauchemin, K.A., Kreuzer, M., O'Mara, F., McAllister, T.A., 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 48: 21–27.
- Brown K. 1991. Conservation of neotropical environments: insects as indicators. En: Collins n. & Thomas J. Eds. *The conservation of insects and their habitats* pp 350- 404 Academic Press. London.
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. *FAO Forestry Paper – 134*. Roma, Italia (IT). 89 p
- Bodas R, Prieto N, García-González R, Andrés S, Giráldez FJ, López S. 2012. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Anim Feed Sci Technol.* (176):78-93.
- Bueno, P.; Barroso, R. M.; Balbin, R.; Campo, M.; González, A.; Etxebarria, F.; Herrasti, L.; Galván, V.; Juan-Tresserras, J.; López, J. A.; López, P.; Matamala, J. C.; Millos, J. J.; Robledo, B.; Trancho, G. y B. Sánchez, (2005) “Alimentación y economía en contextos habitacionales y funerarios del Neolítico meseteño”, en Arias, P.; Ontañón, R. y C. García-Moncó, (ed.), *Actas del III Congreso del Neolítico en la Península Ibérica*, Santander, 2003. Volumen 1, Santander, Monografías del Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria.
- Buxó, R., (2008) “La explotación de los vegetales como recurso alimenticio durante la prehistoria: Datos y reflexiones” en *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*. Volumen 18, Poder y prestigio en las sociedades prehistóricas peninsulares: El contexto social del consumo de alimentos y bebidas. pp. 41-54.

- Canul J, Piñeiro A, Arceo J, Alayón J, Ayala A, Aguilar C, Sánchez F, Castelan O, Lachica M, Quintana P, Ku J. 2017. Diseño y construcción de cámaras de respiración de bajo costo para mediciones de metano ruminal en rumiantes. *Revista Mexican de Ciencias Pecuarias* 8 (2): 185-191.
- Calderón, J., Nahed, J., Sánchez, B., Herrera, O., Aguilar, R., Parra, M., 2012. Structure and function of the productive chain of bovine meat in ejido livestock production of Tecpatán, Chiapas, Mexico. *Avances en Investigación Agropecuaria* 6:41-61. ISSN 0188-7890.
- Calvente M. 2007. El concepto moderno de sustentabilidad. *Universidad Abierta Interamericana*. 1:1–7.
- Carbonell, R. E. y M. I. Pastó, (2005) “La alimentación de nuestros ancestros” en Salas-Salvadó, J.; García-Lorda, P. y J. M. Sánchez-Ripollés, (eds./coords.) *La alimentación y la nutrición a través de la historia*. Barcelona, Editorial Glosa.
- Cárdenas G. 2002. Cobertura arbórea y diversidad de aves en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. Tesis Magister. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica (CR).
- Casanova, L. F., J. P. Aldana, and S. J. Solorio. 2011. Agroforestry systems as an alternative for carbon sequestration in the Mexican tropics. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1): 5-118.
- Casasola F, Ibrahim M, Sépulveda C, Ríos N, Tobay D. 2009. Implementación de sistemas ambientales en Esparza, Costa Rica. Una herramienta para la adaptación al cambio climático en finca ganaderas. En: Ibrahim M, Sepúlveda C. Editors. *Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central*. Centro Agronómico Tropical CATIE. Turrialba Costa Rica. 1:169-188
- Castañeda H, Madrigal M, Daza D, Gonzales A, Torres C. 2017. Composición florística y reservas de carbono en bosque ribereños en paisajes

- agropecuarios de la zona seca de Tolima, Colombia, *Revista Biología Tropical*. 65:4 1245-1260 p.
- CAST, 1999. *Animal Agriculture and Global Food Supply*. Council for Agricultural Science and Technology. Printed in the United States of America. Task Force Report No. 135. 92 p
- Cavallotti V. 2014. Ganadería bovina de carne y leche. Problemática y Alternativas. *El Cotidiano*. 188(1):95-101
- [CICES] Clasificación Común Internacional de los Servicios Ecosistémicos". 2017.[Internet]. [Citado el 27 de noviembre de 2017]. Disponible en:
<https://cices.eu/>
- Chagoya J. L. e Iglesias G. L. Gutiérrez. Esquema de pago por servicios ambientales de la Comisión Nacional Forestal, México. Buenas prácticas agrícolas para la adaptación al cambio climático.
- Chapela, G., 1982. La costa de Chiapas. *Revista de Geografía Agrícola*. No. 2: 123-130.
- Clark, H., Pinares-Patiño, C.S., de Klein, C.A.M. 2005. Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. In: McGilloway, D.A. (Ed.). *Grassland: A Global Resource*. Wageningen Academic, Wageningen, The Netherlands, pp. 279-293.
- Crespo G. 2008. Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 42(4):329-335
- [CONABIO] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2013. [Internet]. *Capital Natural de México*. [Citado el 13 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx>
- Cook, S.; Silici, L.; Adolph, B. and Walker, S. 2015. Sustainable intensification revisited. IIED Issue Paper. IIED, London.

- Cunningham S. FitzGibbon F., Herad T. 2002 The future of pollinators for Australian agricultura. Australian Journal of Agricultural Rserch 53: 893: 900
- Bautista-Cruz A, y Etchevers B. 2014. Una Revisión sobre los Conceptos de la Calidad del Suelo: Sus Indicadores e Índices. Editorial Académica Española. ISBN 978-3-8473- 6509-9.
- Beer J, Harvey C, Ibrahim M, Harmand J, Somarraba, E, Jiménez F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. Agroforestería de las Americas. CATIE Costa Rica. 10:37-38.
- Brokaw L. 1985. treefalls, regrowth, and community structure in tropical forests. In: S.T.A. Pickett y P.S. White (eds.) The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic, New York (NY) 53-69 p.
- Bolívar D, 1998. Contribución de *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forraje de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Tesis M.Turrialba, Costa Rica. 1:97
- Daily G. 1997. Nature´s Services Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington. Island Press.
- Delgado, Ch., M. Rosegrant, H. Steinfeld, S. Ehui y C. Courboys. 1999. Livestock to 2020, The next food revolution. Food Agriculture and the Environment, Discusion paper 28. IFPRI, FAO, ILRI. Washington, D. C. USA. 72 p.
- Despósito, C.D., Ledesma, T. 2015. Pautas preliminares y teóricas para el aprovechamiento silvopastoril en bosques nativos de dos quebrachos de Salta. En: Peri, P.L. (Comp.) Actas del 3º Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles - VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales. Iguazú, Misiones, Argentina. 7-9 Mayo 2015. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Misiones, Argentina. P. 340-344.
- DeRamus, H.A., Clement, T.C., Giampola, D.D., Dickison, P.C. 2003. Methane emissions of beef cattle on forages: Efficiency of grazing management systems. J. Environ. Qual. 32: 269-277.

- Devedra C, Ibrahim M. 2004. Silvopastoral systems as an strategies for diversification and Productivity enhancement from Livestock in the tropics. En Mannelje L.Ramirez M. Ibrahim C. Sandoval N, Ojeda N, Ku J. Editors. The importance of Silvopastoral Systems in Rural Livelihoods to Provide Ecosystems in Rural Livelihoods to Provide Ecosystem Services. Proc. of the Second International Symposium Of Silvopastoral Systems. Mérida, Yucatán .México (MX). 1: 10-24
- Dixon R, Brown S, Houghton A, Solomon, Texler M, Wisniewki J. 1994. Carbon Pools and flux of global forest ecosystems Science 263: 185-190
- Droege S. 2009. The Very Handy Manual: How to Catch and Identify Bees and Manage a Collection. USA. 71 pp. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://bees.tennessee.edu/publications/HandyBeeManual.pdf> [Revisado el 25 de enero de 2018].
- Droege, S, Tepedino VJ, Lebuhn, G, Link W, Minckley R L, Chen Q, Conrad C. 2009. Spatial patterns of bee capture in North American bowl trapping surveys. Insect Conservation and Diversity, 3: 15-23
- Doran JW y Parkin TB. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J. W., and A. Jones J. (editores). Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication Number 49. Soil Science Society of America, INC. Madison. Wisconsin (USA). 25-37p.
- Dosi, G. 1982. Technological Paradigms and technological Trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical changes. Science Policy Research Unit. University of Sussex, Brighton U.K. 1:147- 162
- Eckard., R.J., Grainger, C., de Klein, C.A.M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review Livestock Science 130: 47-56.

Esquivel-Mimenza, H., M. Ibrahim, and C. A. Harvey. 2011. Dispersed trees in pasturelands of cattle farms in a tropical dry ecosystem. *Trop. Subtrop. Agroecosystem* 14: 933-941.

Estrada A, Coates-Estrada. 1997. Anthropogenic landscape changes and avian diversity at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and conservation* 6:19-43

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2008. [Internet]. Ayudando a desarrollar una ganadería sustentable en América Latina y el Caribe: lecciones a partir de casos exitosos. Roma. [Citado el 8 de Noviembre de 2017] Disponible en:

http://www.rlc.fao.org/es/ganaderia/pdf/gan_cas.pdf

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2008. [Internet] El estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Roma. [Citado el 14 de noviembre de 2017]. Disponible en:

<http://www.fao.org/3/a-i0100s.pdf>

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. El estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Roma.

[FAO] 2017. Agroforestería para la restauración del paisaje. Explorando el potencial de la agroforestería para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los paisajes degradados. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. 20 p

[FAO] 1961. Land Use. FAOSTAD. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL> (Consultado el 29 de Enero de 2019).

[FAO] 2007. Land Use. FAOSTAD. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL> (Consultado el 29 de Enero de 2019).

[FAO] 1990. Land Use. FAOSTAD. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL> (Consultado el 29 de Enero de 2019).

[FAO] 2016. Land Use. FAOSTAD. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL> (Consultado el 29 de enero de 2019).

[FAO], 2009. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2009, la ganadería, a examen. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. Subdivisión de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación Electrónica. División de Comunicación. Roma. <http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s.pdf> (Consultado el 20 de enero de 2019), para la Agricultura y la Alimentación

[FAO]. 1993. El consumo total de carne para 1983 y 1993 (Promedios móviles de tres años). Las proyecciones al 2020 a partir del modelo global del IFPRI. denominado IMPACT: Datos anuales de la FAO.

Florez, J.A., Muschler, R., Harvey, C., Finegan, B., Roubik, D.W. 2002. Biodiversidad funcional en cafetales: el rol de la diversidad vegetal en la conservación de abejas. *Agroforestería en las Américas* 9(35-36): 29-36.

[FND] Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. 2014. [Internet]. Información del Sector Rural en área pecuario. México (MX). [Citado el 8 de septiembre de 2014] Disponible en:

[http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Bovino%20\(may%202014\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Bovino%20(may%202014).pdf)

Garay J. 2010. Marco Legal Ambiental de los servicios ambientales en las áreas naturales protegidas. Lima. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado-Ministerio del Ambiente de Perú

- García, A., Perea, J., Acero, R., Valerio, D., Rodríguez, V., Gómez, G., 2007. Marketing channel for ecological milk in seven autonomous Spanish communities. *Arch. Zootec.* 56: 693-698.
- Gamarra, C, Díaz Lezcano M, Vera de Ortíz M, Galeano M, & Cabrera Cardús, A. 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(46). <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J. 2012. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Gillespie T. 2001. Application of extinction and conservation Theories for forest birds in Nicaragua. *Conservation Biology* 15:699-709
- Gillham, B. 2005. *Research Interviewing: the Range of Techniques*. McGraw Hill Education, Berkshire, England.
- Grimm, J.W., Wozniak, P., 1990. *Basic Social Statistics and Quantitative Research Methods: A Computer-Assisted Introduction*. The Wadsworth and Brooks/Cole, USA.
- Guariguata MR y, Ostertag R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. 148:185–206.
- Guevara-Hernández F., Pinto R. R., Rodríguez L. A., Gómez C. H., Ortiz R., Ibrahim M. y Cruz G. (2011). Local perceptions of degradation in rangelands from a livestock farming community in Chiapas, Mexico. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 45 (3): 311-319.
- Grande y Maldonado. 2011. Los sistemas silvopastoriles del estado de Tabasco. En *Alternativas para una reconversión ganadera sustentable*.
- Greenberg R, Bichier P, Sterling J. 1997. Acacia, cattle and migratory birds in south eastern Mexico. *Biological Conservation* 235-247 p

- Greenwalt T, D.McGrath. 2009. Protecting the City's Water: Designing a Payment for Ecosystem Services Program. *Natural resources and Environment*. 24:1-15
- Gómez-Pompa A. 1992. Una visión sobre el manejo del trópico húmedo de México (p. 7-18). In: *Reserva de la biósfera Montes Azules, Selva Lacandona: Investigación para su conservación*. Ed. Miguel Angel Vázquez Sánchez; Mario A. Ramos Olmos. Publicaciones especiales ECOSFERA No. 1. México. 436 p.
- Harvey C, Guidon C, Haber W, De Rosier H, Murray K. 2000. The importance of forest patches, isolated trees and agricultural windbreaks for local and regional biodiversity: the case of Monteverde, Costa Rica. XXI IUFRO World Congress, 7-12 August 2000, Kuala Lumpur, Malaysia, International Union of Forestry Research Organizations, Subplenary sessions 787-798 p
- Harvey C, 2003. La conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles. Curso Internacional sobre ganadería y Medio Ambiente. CATIE. Turrialba, Costa Rica (CR). 1:21
- Harvey C, Villanueva C, Villacis J, Chacón M, Muñoz D, López M, Ibrahim M, Gómez Rene, Taylor R, Martínez J, Navas A, Sáenz J, Sánchez D, Medina A, Vilchez S, Hernández B, Pérez A, Ruíz F, López F, Lang I, Kunth S, Sinclair F. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Avances de investigación científica*. 10:30-40
- Harvey, C. A., C. Villanueva, and H. Esquivel. 2011. Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management. *For. Ecol. Manage.* 261: 1664-1674.
- Hernández X. 1977. El ecosistema, concepto central en el análisis de la enseñanza, la investigación y la educación agrícola en México. En: *Agroecosistemas de México: Contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola*. El Colegio de Posgraduados. México (MX). 1:15-19

- Hernández J, García J, Muñoz H, García X, Saéñz T, Flores C, Hernández A. 2013. Guía de densidad para manejo de Bosques Naturales de Pinus teocote Schlecht. et Cham. en Hidalgo. Revista Mexicana de ciencias forestales, 4(19):62-77
- Hristov, A.N., Oh, J., Firkins, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H.P.S., Adesogan, A.T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P.J., Henderson, B., Tricarico, J.M. 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I A review of enteric methane mitigation options. Journal of Animal Science 91: 5045-5060.
- Hubbell S. 2001. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography. Princeton University Press, Princeton, New Jersey (USA)
- Huerta C, Martínez M, Montes O, Cruz R, Favila M. 2013. The role of dung beetles in the sustainability of pastures. P.p.441-463 En Yañez-Arancibia A., Dávalos S. Day. J y Reyes E. Editors. Ecological Dimensions for Sustainable Socioeconomic Development. Witt Press Southamton, Boston (USA).
- Houghton R. Woodwell C. 1989. Global Climate Change. Scientific American. 260:36-40
- Ibrahim, M., Villanueva, C., Casasola, F. & Rojas, P. 2006. Sistemas silvopastoriles como herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. (CD-ROM)
- Ibrahim M, Villanueva C, Casasola F. 2006. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. Pastos y forrajes 29:383–419.
- Ibrahim M, Andrade H. 2000. Restauración de la productividad y conservación de la biodiversidad en pasturas degradadas. CATIE. Costa Rica (CR). En; Naranjo L, editors. Reclaiming Paradise: Making Pasture Productive for people and Biodiversity Precedings of first International Workshop on Bird Conservation in Livestock Production Systems. USA.

[IFOAM] 2009. The Principles of Organic Agriculture. The International Federation of Organic Agriculture Movements. Retrieved January 13, 2011, from: http://www.ifoam.org/about_ifoam/principles/index.html Consultado el 25 de septiembre de 2019.

[INEGI]. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2014. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. <http://www.beta.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/> Consultado el 28 de Noviembre de 2018

[INEGI] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2015. [Internet] Anuario estadístico del estado de Chiapas. INEGI. México (MX).[Citado el 12 de julio de 2017].

Disponible en:

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825077150.pdf

[INEGI]. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática 2019. Capas vectoriales del Estado de Chiapas. <https://www.inegi.org.mx/datos/?t=0150> Consultado 29 de septiembre de 2019

[INEGI] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2007. [Internet]. Censo agrícola, ganadero y forestal. [Citado el 13 de septiembre de 2017]. Disponible en:

http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/agro/ca2007/resultados_agricola/default.aspx

[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use change and Forestry [Internet] National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa, Japan (JP). Disponible en:

<http://www.ipcc.ch>.

- Jiménez-Ferrer G. 2000. Potencial de árboles y arbustos forrajeros en la Región Maya- Tsotsil del Norte de Chiapas, México. [Tesis Doctoral]. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Jiménez F, Soto L, Nahed J. 2007. Introducción: Agroforestería pecuaria en Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur. México (MX).1:-7
- Jose, S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76: 1-10.
- Juárez, Calderón, Espinoza, Rodríguez. 2013. Técnicas de Monitoreo y Evaluación de servicios Ecosistémicos para la zona Sierra-Costa de Chiapas. México. 50 p
- Karlen, DL, Mausbach, J, Doran W, Cline RG, Harris RF, Shuman GE. 1997. Soil quality: Concept, rationale, and research needs. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 60:4-10.
- Kattan G. 2002. Fragmentación patrones y mecanismos de extinción de especies. En *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Libro Universitario regional. LUR. Cartago, Costa Rica (CR). 561-590p
- Kearns C, Inouye D, Waser N. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of ecology and systematics*. 29: 2
- Klein AM, Steffan-Dewenter I, Tschardtke T. 2003. Polinización de *Coffea canephora* en relación con el manejo agroforestal local y regional. *J. Appl. Ecol.* 40: 837-845. doi: 10.1046 / j.1365-2664.2003. 00847.x
- Klein AM, Vassiere B, Cane J, Steffan-Dewenter I, Cunningham S, Krem C, Tshardtke T. 2007 importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society* 274: 303-313
- Kremen C, Williams NM, Thorp RW. 2002. Polinización de cultivos de abejas nativas en riesgo de intensificación agrícola. *Proc. Natl Acad. Sci.Estados Unidos (USA)*. 99: 16 812–16 816. doi: 10.1073 / pnas.262413599 [Artículo libre de PMC].

- Lang I, Gormley L, Harvey C, Sinclair F. 2003. Composición de la comunidad de aves en cercas vivas de Río Frío, Costa Rica (CR). *Avances de investigación científica*. 10:87-92
- Lanshof d. Ahuja D. 1990. Relative Contributions of greenhouse gas emissions of Greenhouse gas emissions to global warming. *Nature* 344: 529-531
- Leigh G. 1999. *Tropical forest ecology. A view from Barro Colorado Island*. Oxford University Press, New York(USA)
- Long N., 1984. *Family and Work in Rural Societies: Perspectives on Non-Wage Labour*. London; New York: Tavistock.
- Manly B, 2004 *Clúster Analysis*. En: Chapman, Hall/CRC Editors. *Multivariate Statistical Methods a primer*. Florida USA. 1:215
- Martínez-Ramos M. 1994. Regeneración natural y diversidad de especies arbóreas en selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 54: 179-224
- Martínez M, Cruz R, Montes O, Suárez L. 2011. La función de los escarabajos del estiércol, en los pastizales ganaderos. Secretaría de educación de Veracruz. Xalapa, Veracruz. 71 p.
- [MEA] Millenium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Systhesis*. Whashington. Island Press.
- Mirinidou y Jiménez. 2010. *Sistemas Silvopastoril: Uso de árboles en potreros de Chiapas*. SEMARNAT. Mexico (MX). 1:49
- Milton K. 1997. *Ecologías: Antropología, cultura y Entorno*. *International Social Science Journal*. 49:4
- Mena, Y., Castel, J.M., Toussaint, G., Caravaca, F., Gonzalez, P., Sanchez, S., 2004. FAOCIHEAM dairy system indicators of adaptation to semi-extensive dairy goats systems. In: 8th International Conference on Goats. South Africa, Pretoria.

- Mena, Y., Nahed, J., Ruiz, F.A., Sánchez, B., Ruiz, R.J., Castel, J.M., 2011. Evaluating mountain goat dairy systems for conversion to the organic model, using a multicriteria method. *Animal* 6 (4), 693-703
- Mehta, C.R., Patel, N.R., 2011. IBM SPSS Exact Tests. Armonk, New York.
- Menning A, Lindenmayer B, Fisher J. 2006. Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 1: 80–86.
- Molina, C.H., Molina, C.H., Molina, E.J., Molina, J.P., Navas, A., Ibrahim, M. (comp.) (2001). Advances in the implementation of high tree-density silvopastoral systems. *Silvopastoral systems for restoration of degraded tropical pasture ecosystems*. Turrialba: International Symposium on Silvopastoral Systems, 2 Congress on Agroforestry and Livestock Production in Latin America. 299-302 p.
- Moss AR, Jouany JP, Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann Zootec.* (49):231-253
- Muench, N. P. E., 1982. Las regiones agrícolas de Chiapas. *Revista de Geografía Agrícola*. No. 2: 57-102
- Munda G. 2004. Multicriteria Methods and multicriteria processes for social evaluation of public policy. *REVICEBEC*. 1:31-45
- Murillo, Palacios, Ávila, Guillen, De Luna. 2007. La ganadería Organica, una alternativa de desarrollo pecuaria para algunas regiones de México. *Interciencia Revista de Ciencia y Tecnología de América*. México (MX). 1:385-390
- Murgueitio E, Calle Z. 1999. Diversidad biológica en la ganadería bovina colombiana. En: Sánchez M, Rosales M. Editors. *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. FAO Producción y Sanidad Animal. Roma (R). 1:53-88

- Murgueitio E. Solorio B. 2008. El Sistema Silvopastoril Intensivo, un modelo exitoso para la competitividad ganadera en Colombia y México. En: V Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. Universidad Rómulo Gallegos, Universidad Central de Venezuela, Universidad de Zulia. Venezuela; [Citado 20 julio de 2017]. Publicación electrónica.
- Murgueitio, E.; Calle, Z.; Uribe, F.; Calle, A.; Solorio, B., 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*; 261:1654-1663.
- Mutuo, P.K., Cadisch, G., Albrecht, A., Palm, C.A., Verchot, L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71: 43-54.
- Nahed-Toral, J., S. Cortina-Villar y Q. López-Tirado., 2003. Uso de recursos y posibilidades de mejora de la unidad espacial de la zona borreguera Tzotzil. *Arch. Latinoamericanos en Producción Animal* 11(1): 40-49
- Nahed, T.J., Castel, J., Mena, Y., Caravaca, F., 2006. Appraisal of the sustainability of dairy goat systems in Southern Spain according to their degree of intensification. *Livestock Science*. 101:10-23 <http://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.08.018>. Consultado el 8 de octubre de 2019.
- Nahed J, Calderon P, Aguilar J, Sánchez-Muñoz B, Ruiz-Rojas J, Mena Y, Castel J Ruíz F, Jiménez F, López -Méndez J, Sánchez- Moreno G y Salvatierra I. 2009. Aproximación de los sistemas agrosilvopastoriles de tres microrregiones de Chiapas, México, al modelo de producción orgánica. *Avances de Investigación Agropecuaria*. 13(1):45-58
- Nahed, T.J., Gomez-Castro, H., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernandez, F., Medina-Jonapá, F., Grande-Cano, D., Ibrahim, M., 2010. Research and development of silvopastoral systems in a village in the buffer zone of the El ocote

- biosphere reserve, Chiapas, Mexico. Res. J. Biol. Sci. 5:499-507. ISSN 1815-8846.
- Nahed-Toral J., Sanchez-Muñoz B., Mena Y., Ruiz-Rojas J., Aguilar-Jimenez R., Castel J., De Asis-Ruiz F., Orantes-Zebadua M., Manzur-Cruz A., Cruz-Lopez J., Delgadillo-Puga C. 2013a. Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico. *Journal of Cleaner Production*. 43: 136-145.
- Nahed-Toral, J., A. Valdivieso-Pérez, R. Aguilar-Jiménez, J. Cámara-Córdova, D. Grande-Cano., 2013b. Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *Journal of Cleaner Production*. 57: 266-279.
- Nahed, J., D. Grande, J.R. Aguilar¹ and B. Sánchez., 2016. Possibilities for converting conventional cattle production to the organic model in the Grijalva River Basin, Mexico. *Cogent Food & Agriculture*, 2: 1153767. <http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2016.1153767>
- Nair, R.K.P., 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic, International Center for Research in Agroforestry (ICRAF), Holland.
- Nair, P.K.R., Kang, B.T., & Kass, D.B.L. 1995. Nutrient cycling and soil erosion control in agroforestry system. *American Society of Agronomy*, 60, 117-138.
- Naranjo LG. 1992. Estructuras de la avifauna en un área ganadera en el Valle del Cauca, Colombia. *Caldasia* 55-68 p
- Nates-Parra, G. 2005. Abejas silvestres y polinización. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. No. 75 p. 7-20.
- Niemeyer, K., Lombard, J., 2003. Identifying problems and potential of the conversion to organic farming in South Africa. In: *Contributed Paper Presented at the 41st Annual Conference of the Agricultural Economic Association of South Africa (AEASA)*, October 2-3, 2003, Pretoria, South Africa
- Norberg J. 1999. Linking Nature's services to ecosystems: some general ecological concepts. *Ecological Economics* 29:183-202.

- Odum, Eugene P, Garay W. 1971. Fundamentos de Ecología. Thompson. México (MX).
- Ojeda R, Stadler J, Brandl R. 2003. Diversity of mammals in the tropical-temperate Neotroics; Hotspots on regional Scale. Biodivesity y Conservation. Kluwer Academic Publishers.12 (7):1431-1444
- Ordoñez A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado; San Juan Nuevo, Michoacan. Tesis de Licenciatura. Facultad de ciencias de la UNAM. México D.F.
- Ordoñez A.1999. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso. Instituto Nacional de Ecologia. SEMARNAP. México D.F.
- Ortiz, L.C., 1982. Cattle production in Tabasco and northern Chiapas. Revista de Geografía Agrícola 3:27-102.
- Ovalle., 1995. Ganadería Intensiva en la Costa de Chiapas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Sociales.
- Pagiola S., Pangiola A., Gobbi J., de Haan C., Ibrahim M., Murgueitio E., Ramírez E., Rosales M., Ruíz J. P. 2004. Pago por Servicios de Conservación de la Biodiversidad en Paisajes Agropecuarios. The World Bank Environment Departament. Washington, D.C. U.S.A.
- Palma J. 2005. Evaluación de recursos arbóreos tropicales para la alimentación de ovinos. En: II Foro Latinoamericano de Pasto y Forrajes. I Congreso Internacional de Producción Animal Tropical. Habana Cuba (CU).Publicación electrónica [CD ROM]
- Parra V. 1982. Aspectos Metodológicos en la investigación de Sistemas Pecuarios. En: Memorias del Primer Seminario Nacional Sobre Sistemas de Producción Pecuaria. Universidad Autónoma de Chapingo. México (MX). 1:1-21
- Parra V. M. R. y M.O. L.M. La organización social para la producción (p. 314-405). In: El subdesarrollo agrícola en los altos de Chiapas. Manuel Roberto Parra Vázquez (Coordinador). Colección

- Pimentel D, Wilso C, McCullum C, Huang R, Dwen P, Flack J, Tran Q, Gliff B. 1997. Economic and enviromental benefits of biodiversity. *Biociencia* 747- 757 p.
- Piñeiro A, Canul J, Jiménez G, Alayón J, Chay A, Ayala A, Aguilar C, Ku J. 2018. Efecto de taninos condensados de *Leucaena Leucocephala* sobre la fermentación del rumen, la producción de metano y la población de protozoarios ruminales en novillas alimentadas con forraje de baja calidad. *Asiático-Australas J Anim Sci* 0 (0): 1- 9
- Pomareda C. 2000. Perpectivas de los mercados y oportunidades para la inversión en ganadería. En Pomareda C, Steinfeld H, Editors. *Intensificación de la Gandería en Centroamérica- Beneficios Economicos y Ambientales*. CATIE/FAO/SIDE. San José, Costa Rica (CR). 1:55-76
- Posas, M. L.; S. Salle- Filho y J. M. Da Silveira. 1994. An evolutionary approach to technological innovation in agricultural: Some preliminary Remarks. *Cuadernos de Ciencia y Tecnología*. Brasilia 11(1-3): 9-31
- Rathcke BJ, Jules E. Fragmentación del hábitat e interacciones planta / polinizador. *Curr. Sci.* 1994; 65: 273–278.
- Ricketts T, Daily GC, Ehrlich PR, Michener. 2004. Valor económico de los bosques tropicales a la producción de café. *Proc. Natl Acad. Sci. Estados Unidos (USA)*. 101 : 12 579–12 582. doi: 10.1073 / pnas.0405147101 [Artículo libre de PMC]
- Ríos N, Cárdenas, Andrade H, Ibrahim M, Jiménez F, Sancho E, Ramírez, Reyes B, Woo A. 2007. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico Subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*. 45:66
- Rojas-Downing, M.M., Nejadhashemi, A.P., Harrigan, T., Woznicki, S.A. 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management* 16: 145-163.

- Rojas M. 2009. Informes finales de investigación. Ambiente, conducta y Sostenibilidad. Costa Rica (CR). 1:55
- Rosales, M., Murgueitio, E., Osorio, H., Speedy, A., Sánchez, M. 1999. Conclusiones y evaluación de la conferencia electrónica. En: Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. P. 407-421.
- Romero-Murcia, J.E., 2010. El efecto de cuatro especies arbóreas en sistemas silvopastoriles, sobre características del suelo en Matiguás y Muy Muy, Nicaragua. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Escuela de posgrado CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Ruiz O.1995. Agroecosistema. Término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistémico. En seminario internacional de agroecología. Uach. Estado de México 1:29:31
- Sadeghian S, Rivera J, Murgueitio E. 1999. Características de los suelos en sistemas agropecuarios y forestales para el ordenamiento territorial en el departamento del Quindío Colombia. En: Osorio H. Editors. Memorias primer Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción animal sostenible. [Citado el 15 de julio de 2017]. Publicación electrónica.
- Sánchez M. 1999. Agroforestería para la producción animal en America Latina. Memorias de la Conferencia Electrónica. Estudio Organización de las Naciones Unidas para la para la agricultura y la alimentación (FAO). Producción y Sanidad Animal.
- Sarandón J. 2002. El desarrollo y el uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En Agroecología el camino hacia la cultura sustentable. Argentina.3 Ediciones Científicas de América 1: 394-414.
- Schneider S. 1989. The Greehouse effect: Science and policy. Science, 243: 271-281.

- Schimer D. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbón cycle: Global Change Biology 1:77-91
- Scoones I., 1998. Sustainable Rural Livelihoods: A Framework for Analysis. IDS Working Paper 72. Sussex: IDS, University of Sussex.
- Shibu, J. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. Agrofor. System 76: 1-10
- Smith R. & Mackie D. 1997. Psicología Social Editorial panamericana, Madrid España (ESP). 641p
- [SIAP] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. [Internet]. Estadística de producción ganadera. [Citado el 19 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Silberman J, Enríquez A, Domínguez J, Kunst C, Albanesi A. 2015. La cobertura arbórea en un sistema silvopastoril del chaco y su contribución diferencial al suelo. Ciencia del suelo. Argentina. 33 (1) 19-29 p.
- Somarriba, E., Carreño-Rocabado, G., Amores, F., Caicedo, W., Oblitas Gillés de Pélichy, S., Cerda, R., Ordóñez, J.C. 2017. Trees on Farms for Livelihoods, Conservation of Biodiversity and Carbon Storage: Evidence from Nicaragua on This “Invisible” Resource. In: F. Montagnini (ed.), Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty, Advances in Agroforestry 12. Springer International Publishing. Cham, Switzerland. P. 369-393.
- Soto L, Anzueto, Otero. 2011. El acuhual mejorado un prototipo agroforestal. El Colegio de la Frontera Sur.1:23
- Steffan Dewenter, Potts I, Packer L. 2005. Pollinator diversity and crop pollination serices are at risk.Trends in Ecology and Evolution. 651p
- Steinfeld, H, Gerber, P, Wassenaar, T, Castel, Rosales M, Haan C, 2006. Livestock’s long shadow: environmental issues and options. Roma. FAO.

Steinfeld H., Gerber P. 2010. Livestock production and the global environment: Consume less or produce better?, PNAS 117 (43): 18237-18238.

SIC, 1965. Secretaría de industria y Comercio-Dirección General de estadística, 1965. IV Censos Agrícola- Ganadero y Ejidal, 1960. Resumen General. México. D.F. 564 p

[TEEB] The Economic of Ecosystems & Biodiversity.2017 [Internet]. TEEB para los responsables de la elaboración de políticas nacionales e internacionales. [Citado el 27 de Noviembre de 2017]. Disponible en:

<http://www.teebweb.org/>

Thomas E., Sheridan M., Sangregorio S., Montero E. 2015. Oferta floral de *Trifolium repens* para la apicultura en un sistema agroforestal con álamos bajo riego. En: Peri, P.L. (Comp.) Actas del 3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles - VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales. Iguazú, Misiones, Argentina. 7-9 Mayo 2015. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Misiones, Argentina. P. 14.

Toussaint, G., 2002. Notice of indicators for functioning of dairy systems. Options Méditerranéennes 39:147-157.

United Nations (UN).1992. [Internet]. Report of the United Nation Conference on Environment and development. [Citado el 20 de agosto de 2017].

Disponible en:

<http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>

Ulyatt, M.J., Lasseby, K.R., Shelton, I.D., Walker, C.F., 2002. Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in mid-summer in New Zealand. N.Z. J. Agric. Res. 45: 227-234.

Valdivieso, P.I.A, Nahed T. J., Piñeiro V. A., Guevara H. F., Jiménez F. G., Grande C. D., 2019. Potential for organic conversion and energy efficiency of

conventional livestock production in a humid tropical region of Mexico. *Journal of Cleaner Production* 241:1-17.

Vallejo-Quintero. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia forestal*, vol. 16 núm. 1 bogota Colombia. 83-99pp

Vecvagars, K. 2006. Valuing Damage and Losses in cultural Assets after a Disaster: Concept Paper and Research Options. United Nations, México (MX)

Vela, F., 2001 Un acto metodológico básico de la investigación social: la entrevista cualitativa. En: María Luisa Tarrés (coord.) *Observar, escuchar y comprender. Sobre la tradición cualitativa en la investigación social*. Porrúa y FLACSO. México. 2001. p. 63-95.

Velasco J. 1998. Productividad forrajera, aporte de fosforo foliar y dinámica de los hongos endomicorrizicos y ombrices, en un apredera de *Brachiaria humidicola* sola y en asociación con *Acacia mangium*. Tesis de maestría. *Catie. Turrialba Costa Rica (CR)* 1:45

Villacis J, Harvey Cecilia, Ibrahim M, Villanueva C. 2003. Relaciones entre la cobertura arbórea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Río Frío, Costa Rica. *Avances de la investigación científica*. 10:18-23

Villanueva C, Ibrahim M, Harvey C, Esquivel. 2003. Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Avances de la investigación científica*. 10:9-16

Von B, Von S. 2004. Organic Livestock Production in Europe aims rules and trends with special emphasis on animal health and welfare. *Livest.* 90:3-9

Walker S, Novaro A, Nichols J. 2000. Consideraciones para la estimación de abundancia de poblaciones de mamíferos. *Mastozoología Neotropical*, 7: 73-80 p.

- Walter, D., Pierce, R.A. 2008. Integrating Agroforestry Practices for Wildlife Habitat. AF1012. University of Missouri Center for Agroforestry. Columbia, MO. USA. 16 p.
- Whitmore T. 1992. An introduction to tropical rain forests. Oxford University Press, New York. 226p
- Wilson, E, Rusell, F, Nichols D, Rudran, R, Foster M. (Eds.). 1996. Measuring and Monitoring Biological Diversity, Standar Methods for Mammals. Smithsonian Institution Press. Washington and London.
- Zar J. 1984. Biostatistical analysis. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. New Jersey U.S.A. 2: 718
- Zepeda C, Velasco Z, Nahed T, Hernández G. 2016. Adopción de sistemas silvopastoriles y contexto sociocultural de los productores: apoyos y limitantes. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 7 (4):471-488
- Zeide B. 2004. Optimal stand density: a solution. Can. Jour. For. Res. 34: 846-854
- Zunio M. y Melic A. 2007. Escarabajos diversidad y conservación biológica. Ensayos en homenaje a Gonzalo Halffter. Monografías Tercer Milenio

ANEXOS I Figuras

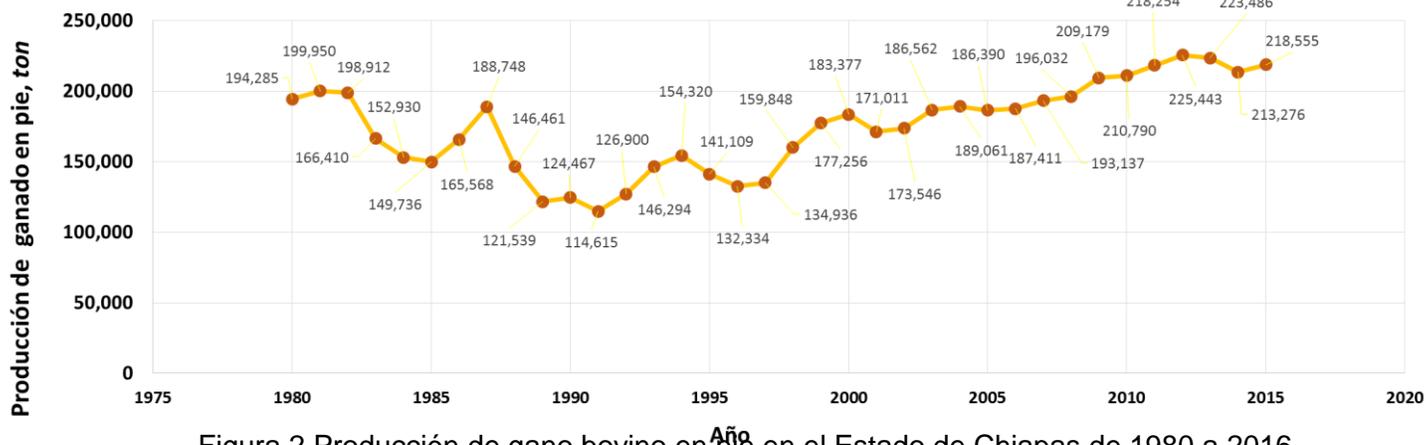


Figura 2. Producción de ganado en pie en el Estado de Chiapas de 1980 a 2016

(FUENTE: elaboración propia con datos del SIAP)

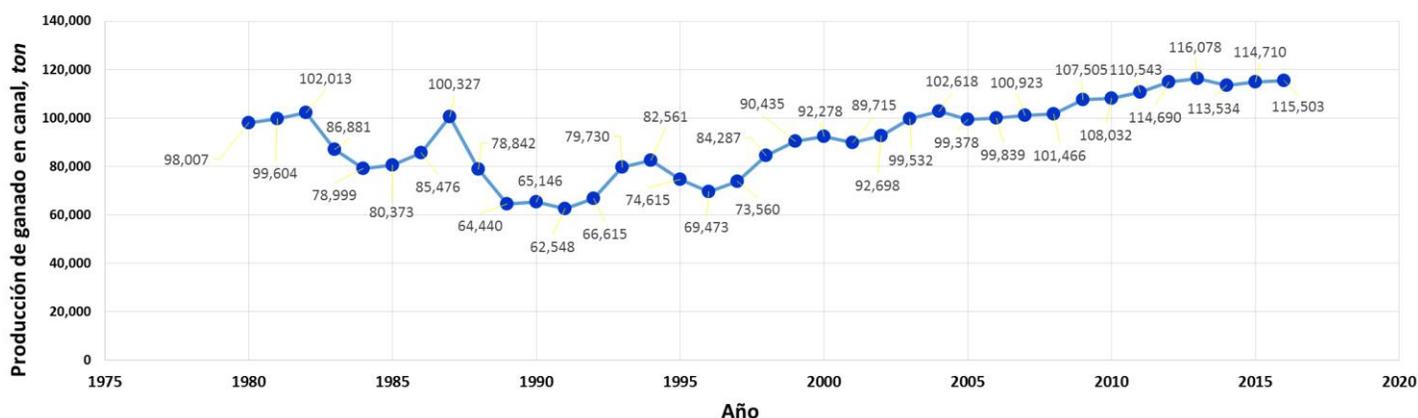


Figura 3. Producción de carne de ganado bovino en canal en el Estado de Chiapas de 1980 a 2016

(FUENTE: elaboración propia con datos del SIAP)

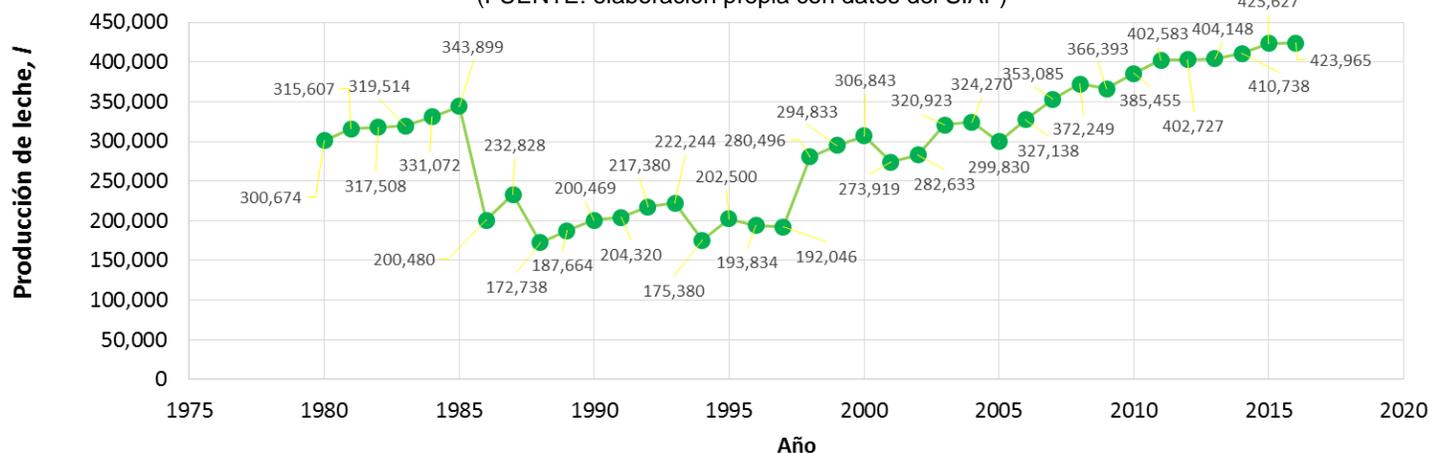


Figura 4. Producción de leche de ganado bovino en el Estado de Chiapas de 1980 a 2016

(FUENTE: elaboración propia con datos del SIAP)

Dinámica del cambio de la vegetación y el uso de suelo (DCVUS) en Pijijiapan, Chiapas, México.

La zona de estudio corresponde al municipio de Pijijiapan, Chiapas, México, haciendo uso de las capas de uso de suelo obtenidas del INEGI (Uso de suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie II y serie V). Los resultados que se obtuvieron en el análisis de la dinámica de cambio de uso de suelo y vegetación del municipio de Pijijiapan Chiapas consistió en el cambio neto, intercambio y cambio total, al intercalar ambas coberturas (serie II-2001 y serie V-2013).

Tabla1. Resumen en el que se presentan el cambio neto intercambio y cambio total de todas las categorías de vegetación y uso de suelo

(FUENTE: elaboración propia con datos del INEGI)

| CATEGORIA (Ha) | 2001 | % | 2013 | % | Ganancia | % | Pérdida | % | Cambio total | % | Intercambio | % | Cambio neto | % |
|-----------------------|---------------|------------|---------------|------------|--------------|------------|--------------|-------------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|
| Pastizal | 139794 | 29.579 | 130888 | 27.695 | 15187.5 | 26.692 | 24094 | 42.3440246 | 39281 | 8.3116 | 30375 | 6.4271 | 8906.25 | 1.884497 |
| Bosque | 289269 | 61.207 | 291544 | 61.689 | 6662.5 | 11.709 | 4387.5 | 7.710896309 | 11050 | 2.3381 | 8775 | 1.8567 | 2275 | 0.481373 |
| Agricultura | 6412.5 | 1.3568 | 3737.5 | 0.7908 | 2087.5 | 3.6687 | 4762.5 | 8.369947276 | 6850 | 1.4494 | 4175 | 0.8834 | 2675 | 0.56601 |
| Cuerpos de agua | 6412.5 | 1.3568 | 3281.3 | 0.6943 | 437.5 | 0.7689 | 118.75 | 0.208699473 | 556.25 | 0.1177 | 237.5 | 0.0503 | 318.75 | 0.067445 |
| Vegetación Costera | 2962.5 | 0.6268 | 19844 | 4.1988 | 3218.75 | 5.6569 | 4275 | 7.513181019 | 7493.8 | 1.5856 | 6437.5 | 1.3621 | 1056.25 | 0.223495 |
| Vegetación Secundaria | 20900 | 4.4223 | 77856 | 16.474 | 27650 | 48.594 | 17119 | 30.08567663 | 44769 | 9.4727 | 34237.5 | 7.2444 | 10531.25 | 2.228335 |
| Sin Vegetación | 67325 | 14.245 | 1156.3 | 0.2447 | 1156.25 | 2.0321 | 2143.8 | 3.767574692 | 3300 | 0.6983 | 2312.5 | 0.4893 | 987.5 | 0.208948 |
| Asentamientos humanos | 2143.8 | 0.4536 | 1200 | 0.2539 | 500 | 0.8787 | 0 | 0 | 500 | 0.1058 | 0 | 0 | 500 | 0.105796 |
| TOTAL | 472606 | 100 | 472606 | 100 | 56900 | 100 | 56900 | 100 | 113800 | 24.079 | 86550 | 18.313 | 27250 | 5.765899 |
| | | | | | | | | | 56900 | 12.04 | 43275 | 9.1567 | 13625 | 2.88295 |

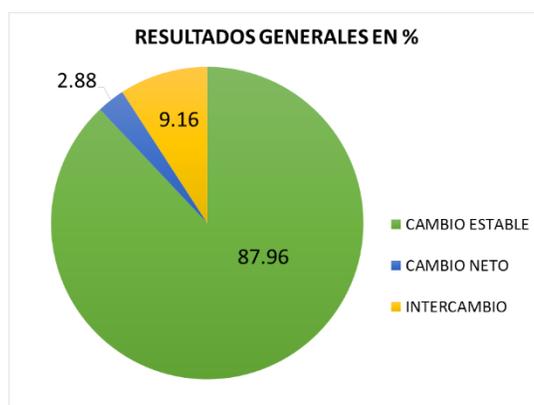


Figura 5. Resultados generales de la dinámica de cambio de vegetación y uso de suelo del municipio de Pijijiapan, Chiapas.

Los resultados nos indican que se mantuvo sin ningún cambio (cambio estable) el 87.96%, presentándose un intercambio del 9.15%, es decir, denota la dinámica de cambio entre las categorías y un cambio neto de 2.88%.

En el mapa de la figura 6 se observa que lo que persiste en su mayoría son las áreas de pastizal, seguidas por vegetación secundaria y vegetación costera, y en menor proporción el bosque.

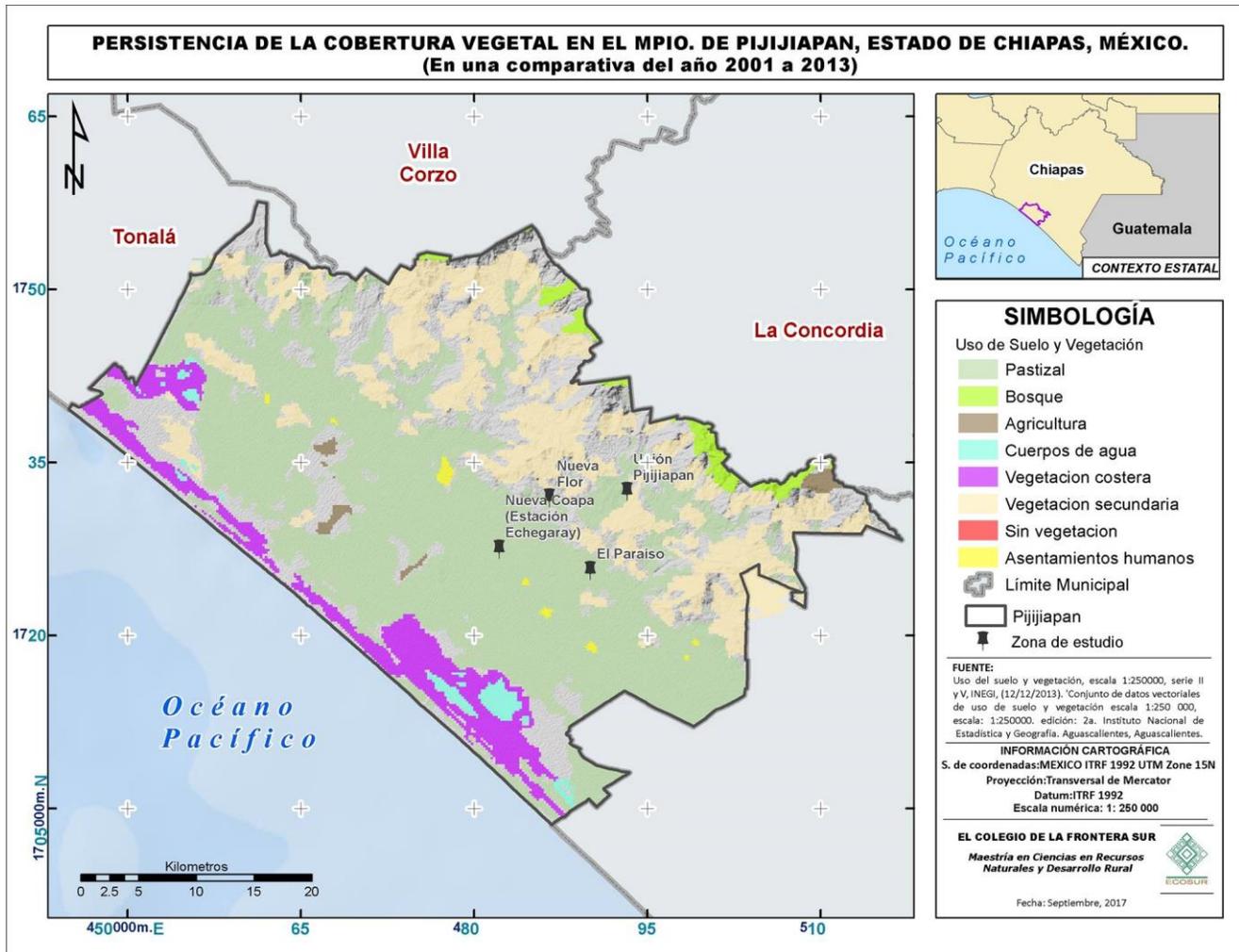


Figura 6. Mapa de categorías que persisten de la cobertura vegetal del municipio de Pijijapan, Chiapas., México.

(FUENTE: elaboración propia con datos del INEGI)

En el análisis de la dinámica de cambio de la categoría Pastizal (ver mapa de la figura 7) se observa que gran parte persiste y ha ganado muy poco terreno en comparación con el intercambio que se presenta por vegetación secundaria lo cual es alentador.

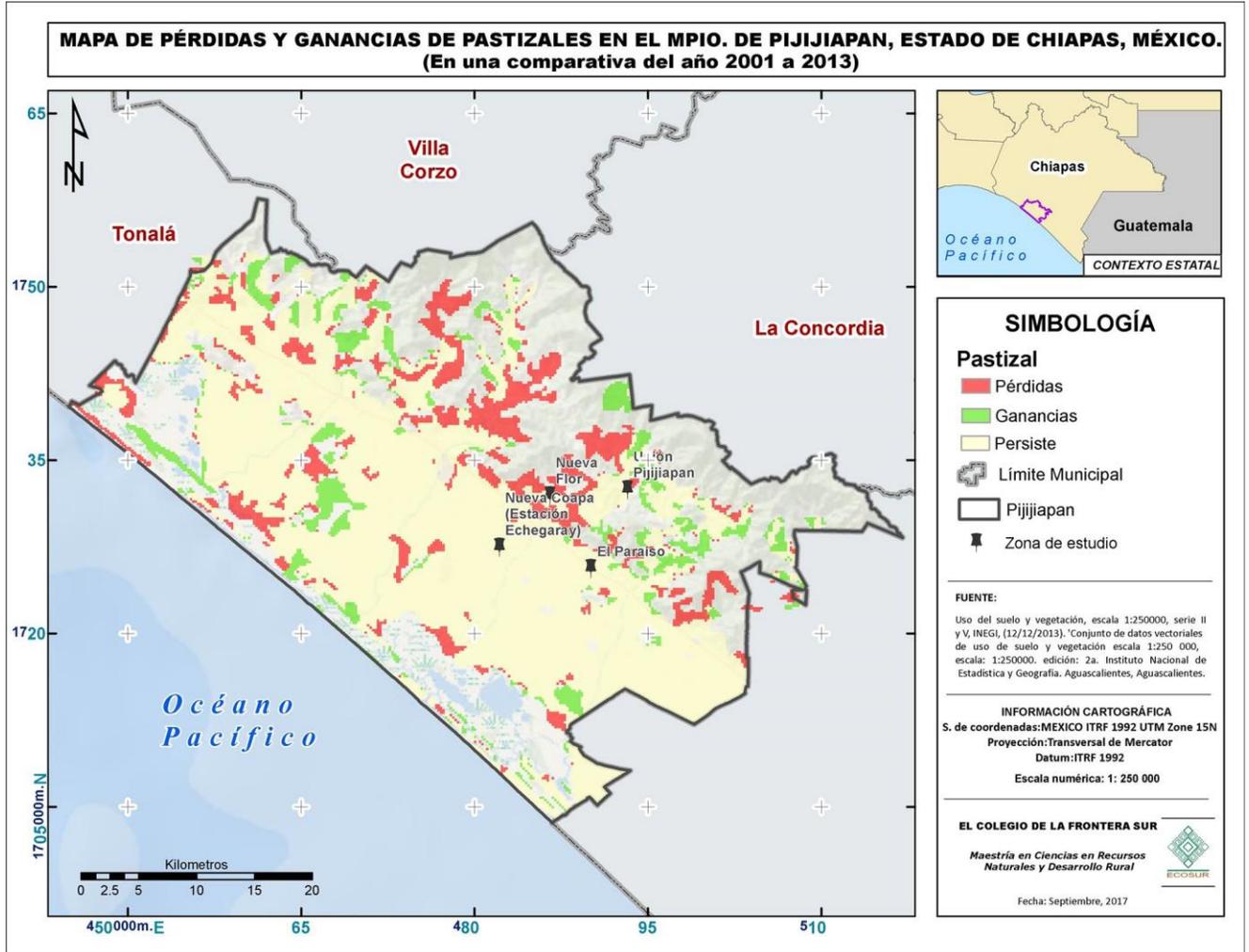


Figura 7. Mapa de la dinámica de cambio de la categoría pastizal del municipio de Pijijapan, Chiapas., México.

(FUENTE: elaboración propia con datos del INEGI)



ANEXOS FORMATO

FORMATO 1. EMPLEADO EN CAMPO PARA MUESTREO DE POLINIZADORES

El Colegio de la Frontera Sur

Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Agricultura Sociedad y Ambiente

Aporte de servicios agroecosistémicos de la ganadería bovina con prácticas agrosilvopastoril y extensiva en la Costa de Chiapas

Lic. en C. Orquidia Guadalupe Rodríguez Moreno

ogrodriguez@ecosur.edu.mx

Clave de muestreo: _____ Fecha: _____ Nubosidad: _____

Tipo Vegetación: _____

Localidad: _____ Mpio. _____

Perturbación: _____

Productor: _____

PLATOS TRAMPA

Duración en campo: De _____ A: _____

Coordenadas: _____

Altitud: _____

Vegetación presente: _____

Organismos colectados en T-amarilla _____, T-blanca _____, T-azul _____, T-rosa _____ T-rojo _____

Total: _____

Observaciones: _____

FORMATO 2. EMPLEADO EN CAMPO PARA MUESTREO COMPUESTOS DE SUELOS



El Colegio de la Frontera Sur

Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Agricultura Sociedad y Ambiente

Aporte de servicios agroecosistémicos de la ganadería bovina con prácticas agrosilvopastoril y extensiva en la Costa de Chiapas

Lic. En C. Orquidia Guadalupe Rodríguez Moreno

ogrodriguez@ecosur.edu.mx

Clave de muestreo: _____ Fecha: _____ Hora: _____

Nubosidad: _____ Tipo Vegetación: _____

Localidad: _____ Mpio. _____

Perturbación: _____

Productor: _____

Los análisis De Fósforo disponible, Materia Orgánica, pH, Nitrógeno total, Potasio disponible, Capacidad de intercambio catiónico, textura y densidad aparente.

PROPIEDADES A ANALIZAR EN CAMPO:

| Indicadores visuales de la calidad del suelo | Calificación visual (CV)* 0= Condición pobre 1= Condición moderada 2= Condición buena | Factor | Valor |
|---|--|---------------|--------------|
| Textura del suelo | | x3 | |
| Estructura y agregados del suelo | | x3 | |
| Porosidad del suelo | | x3 | |
| Compactación del suelo | | x3 | |
| Color del suelo | | x3 | |
| Materia orgánica del suelo | | x3 | |
| Número y color del moteados del suelo | | x3 | |
| Erosión hídrica del suelo | | x3 | |
| ÍNDICE CALIDAD DEL SUELO (SUMA DE VALORES) | | x3 | |
| EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO | | | |
| Pobre | <15 | | |
| Moderada | 15-30 | | |
| Buena | >30 | | |

FORMATO 3. EMPLEADO EN CAMPO PARA MUESTREO DE ESCARABAJOS COPROFAGOS



El Colegio de la Frontera Sur
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Agricultura Sociedad y Ambiente

Aporte de servicios agroecosistémicos de la ganadería bovina con prácticas agrosilvopastoril y extensiva en la Costa de Chiapas

Lic. En C. Orquidia Guadalupe Rodríguez Moreno

ogrodriguez@ecosur.edu.mx

Clave de muestreo: _____ Fecha: _____ Hora: _____

Nubosidad: _____ Tipo Vegetación: _____

Localidad: _____ Mpio. _____

Perturbación: _____

Productor: _____

Registro de coordenadas de ubicación de puntos de muestreo dentro de la parcela de estudio:

| ID | X | Y |
|----|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

FORMATOS 4. EMPLEADO EN CAMPO PARA MUESTREO DE AVES, REPTILES Y MAMIFEROS:



El Colegio de la Frontera Sur
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Agricultura Sociedad y Ambiente

Aporte de servicios agro-ecosistémicos de la producción bovina con prácticas agrosilvopastoril y extensiva en cuatro localidades del Municipio de Pijijiapan, Chiapas

Lic. En C. Orquidia Guadalupe Rodríguez Moreno

ogrodriguez@ecosur.edu.mx

Clave de muestreo: _____ Fecha: _____ Hora: _____

Nubosidad: _____ Tipo Vegetación(geral.): _____

Localidad: _____ Mpio. _____

Perturbación: _____

Productor: _____

PUNTOS O RUTAS DE MUESTREO

Duración en campo: De _____ A: _____

Observaciones: _____

| ID | X | Y | ID | X | Y |
|----|---|---|----|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

FORMATO 6. CUESTIONARIO EMPLEADO EN CAMPO PARA DETECTAR EL SERVICIO CULTURAL:

Belleza escénica, recreación, información (cultural, artística espiritual e histórica), salud mental, ciencia y educación

1. ¿Está consciente de los beneficios a nivel local, paisaje y global que trae consigo las formas de manejar su ganado?
2. ¿Esta consiente de las consecuencias a nivel local, paisaje y global que trae consigo las formas de manejar su ganado?
3. ¿Utiliza su terreno como espacio de enseñanza-aprendizaje?
4. Que sentimientos le embargan cuando camina en su terreno
5. Que sensación se manifiesta cuando realiza sus actividades cotidianas en su parcela
6. Describa que tipo de pensamientos vienen a su mente cuando camina su terreno
7. Del 1 al 10 que tan bello/bonito considera que es su terreno
8. Piensa que es adecuado el manejo que le da a su terreno y ¿Por qué?
9. Considera que además de tener un valor económico su terreno tiene un valor sentimental e histórico por las vivencias que ha te nido en ese espacio
10. ¿Qué tipo de manifestaciones artísticas (esculturales) ha realizado en su terreno

PREGUNTAS EN LA ESCALA DE RENSIS LIKERT

1. ¿Está consciente de los beneficios a nivel local, paisaje y global que trae consigo las formas de manejar su ganado?
A) Totalmente de acuerdo B) De acuerdo. C) Neutral D) Desacuerdo E) Totalmente en desacuerdo
2. ¿Esta consiente de las consecuencias a nivel local, paisaje y global que trae consigo las formas de manejar su ganado?
A) Totalmente de acuerdo B) De acuerdo. C) Neutral D) Desacuerdo E) Totalmente en desacuerdo
3. ¿Su terreno es usado como un espacio de enseñanza-aprendizaje?
A) Totalmente de acuerdo B) De acuerdo. C) Neutral D) Desacuerdo E) Totalmente en desacuerdo
4. Del 1 al 10 que tan bello/bonito considera que es su terreno
A) 1-2 B) 3-4 C) 5-6 D) 7-8 E) 9-10
5. Considera que además de tener un valor económico su terreno tiene un valor sentimental e histórico por las vivencias que ha te nido en ese espacio
A) Totalmente de acuerdo B) De acuerdo. C) Neutral D) Desacuerdo E) Totalmente en desacuerdo

FORMATO 7. EMPLEADO EN CAMPO PARA MUESTREO DE CAPTURA DE CARBONO:



El Colegio de la Frontera Sur
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Agricultura Sociedad y Ambiente

Aporte de servicios agroecosistémicos de la ganadería bovina con prácticas agrosilvopastoril y extensiva en la Costa de Chiapas

Lic. En C. Orquidia Guadalupe Rodríguez Moreno

ogrodriguez@ecosur.edu.mx

Clave de muestreo: _____ Fecha: _____ Hora: _____

Nubosidad: _____ Tipo Vegetación(geral.): _____

Localidad: _____ Mpio. _____

Perturbación: _____

Productor: _____

ANEXO 1

ESCALAS DIAMÉTRICAS EN CENTÍMETROS

Puesto que el diámetro de los árboles es un parámetro importante en los trabajos de aprovechamiento forestal, existen cintas especiales (cinta diamétrica) para medirlo directamente. Además, las fórmulas alométrica para estimar biomasa, frecuentemente incluyen variable el diámetro de los árboles.

Una cinta normal “de costurera” puede ser útil para medir la circunferencia o perímetro del tronco del árbol, como si el tronco fuera un cilindro, el diámetro correspondiente se encuentra dividiendo el perímetro entre 3.14. También es posible fabricar una cinta diamétrica; cada “centímetro” de diámetro en la cinta diamétrica (cinta blanca) corresponde a 3,14 cm de circunferencia (regla metálica)

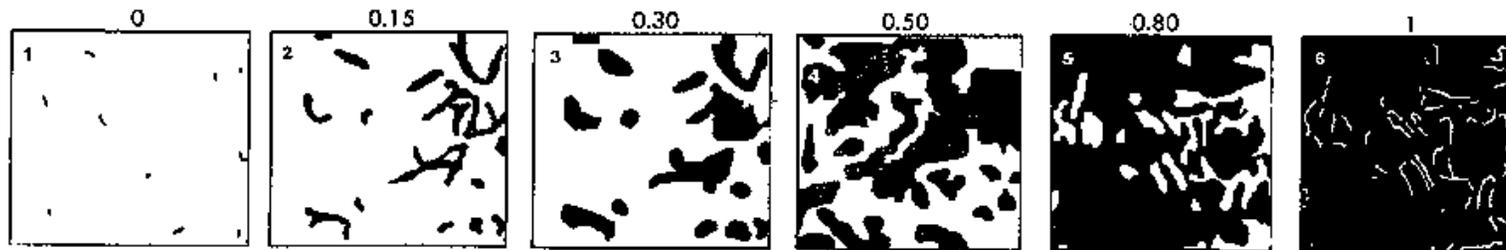
ANEXO 2: FORMATOS DE REGISTRO PARA LOS DATOS DE CAMPO

FORMATO 3. COBERTURA Y ALTURA DE HERBÁCEAS, PROFUNDIDAD DE HOJARASCA Y HUMUS.

SE REGISTRA DENTRO DE CUADROS DE 0.25 M².

Localidad: _____ Municipio: _____
 Productor: _____ Sistema actual: _____
 Superficie: _____ Clave de parcela: _____
 No de hoja: _____ Total de hojas: _____
 Levantó: _____ Fecha: _____

| CUADRO | COBERTURA VISUAL Herbáceas (C)* | ALTURA MÁXIMA (cm) | ALTURA PREDOMINANTE (cm) | CONSISTENCIA DE LOS TALLOS | | PROFUNDIDAD DE HOJARASCA Y HUMUS (cm) |
|--------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|---------------------------------------|
| | | | | Suculenta (S) | leñosa (L) | |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |



FUENTE: Rendón C. Soto P. 2007. Metodología rápida para la estimación y monitoreo de captura de carbono. El Colegio de la Frontera Sur. SCL MX. 1:47

ANEXO 4

CUADRO DE DENSIDADES DE MADERAS PARA ALGUNAS ESPECIES ARBÓREAS DE LA ZONA TZELTAL *.

| NOMBRE EN TSELTAL | NOMBRE CIENTÍFICO | DENSIDAD DE LA MADERA (ρ)** (gr/cm ³) |
|------------------------------|---------------------------------|---|
| Guarumbo | <i>Cecropia peltata</i> | 0.32 |
| Roble | <i>Quercus sp.</i> | 0.65 |
| On'te | <i>Persea liebmanii</i> | 0.46 |
| Coquil ' te, Chalum o Tzelel | <i>Inga spp</i> | 0.60 |
| Cedro | <i>Cedrela odorata</i> | 0.44 |
| Guanacastle | <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | 0.40 |
| Ciprés | <i>Cupressus lusitánica</i> | 0.44 |
| Pino | <i>Pinus oocarpa</i> | 0.55 |
| Un ' | <i>Trophis sp.</i> | 0.54 |
| Yash ' te | <i>Ceiba pentandra</i> | 0.26 |
| Chacaj | <i>Bursera simaruba</i> | 0.32 |
| Pomarrosa | <i>Eugenia spp.</i> | 0.6 |
| Quewexmax | <i>Rollinia spp.</i> | 0.35 |
| Tan chit | <i>Casearia spp.</i> | 0.61 |
| On ' te verde | <i>Ocotea spp.</i> | 0.65 |
| Caoba | <i>Swietenia macrophyla</i> | 0.48 |

*para las especies de árboles tropicales que no aparecen en este cuadro se utiliza el valor de $\rho=0.48 \text{ gr / cm}^3$ o cuando se conocen algunas especies y su densidad, se hace un promedio con las densidades conocidas.

**tomado de Brown (1997)

ANEXO 5

CUADRO DE ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE ESPECIES NO MADERABLES CON PRESENCIA FRECUENTE*

La estructura y composición de algunas plantas puede ser muy diferente a la de un árbol típico, en estos casos se recomienda utilizar una alternativa a la ecuación 1. En este Anexo se presentan algunas ecuaciones para especies de interés**, dado que se encuentran frecuentemente en parcelas con clima tropical o subtropical.

| ESPECIE | ECUACIÓN ALOMÉTRICA*** | FUENTE |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Palmas (<i>Bactris</i> spp.) | $Y=10+6.4H$ | Frangi y Lugo (1985) |
| Plátano (<i>Musa</i> sp.) | $Y=0.0303D^{2.1345}$ | Hairiah et. al. (2005) |
| Naranja (<i>Citrus sinensis</i>) | $Y=0.279AB+0.000514(AB)^2 -6.64$ | IPCC (2003) |
| Café (<i>Coffea arabica</i>) | $Y=0.2811D^{2.0635}$ | Hairia et. al. (2001) |

* Citado por Aguirre (2006)

** Debido a la importancia potencial del sistema milpa como línea base, en un trabajo futuro se pretende encontrar una ecuación que permita calcular la biomasa de plantas de maíz como función del diámetro.

*** Y=biomasa (kg / árbol); D=diámetro (cm) a 1.3 metros de altura; H: altura total (m); AB=área basal (cm²)

FUENTE: Rendón C. Soto P. 2007. Metodología rápida para la estimación y monitoreo de captura de carbono. El Colegio de la Frontera Sur. SCL MX. 1:47

ANEXO 6

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL FACTOR DE COBERTURA DE HERBÁCEAS.

Para elaborar la tabla de valores que relaciona el peso seco de las herbáceas con su cobertura y altura, se utilizaron algunas fotografías, datos de campo y fórmulas alométricas construidas con los valores de campo. Así definimos el factor de cobertura (f_e) con la fórmula

$$f_e = c \times h \quad (1)$$

C= Cobertura dentro de un cuadro, obtenidos por comparación con figuras de referencia obtenidas de fotografías (Anexo 3),

h= Altura promedio de las plantas, se obtiene a partir de mediciones directas de campo.

En el siguiente paso se encontró una relación entre el factor de cobertura [1] y el peso seco. Mediante dos relaciones; una para tallos leñosos [2] y otra para tallos carnosos [3],

$$f_e = 0.37x_e + 4.3 \quad (2)$$

$$f_e = 0.27x_e + 1.4 \quad (3)$$

Dónde:

X_e = Peso (gr) para herbáceas con tallos leñosos.

X_e = peso (gr) para herbáceas de tallos carnosos.

Estas dos ecuaciones son parecidas y toman el mismo valor aproximadamente en $X_e = X_e = 100$, este es el punto donde se cruzan ambas rectas como se ve en la gráfica (Fig. 1). La diferencia en las inclinaciones en las dos rectas puede interpretarse como debido al contenido de agua, el cual es mayor en las herbáceas suculentas. Después de los 100 gramos de peso, se invierte la relación peso-factor de cobertura, probablemente debido a la cantidad de hoja verde presente en las herbáceas suculentas en más capas conforme aumenta la altura.

Figura 1. Comparación gráfica del peso seco encontrado en herbáceas leñosas y suculentas, las dos líneas se cruzan en 100 gr. De peso (eje horizontal).

ANEXO 7

Cuadro de equivalencia del factor de cobertura (F) y del peso seco (X), encontrado en una parcela de acahual subtropical (tallos leñosos), obtenido mediante la ecuación (2) con valores extrapolados para $X > 128$ gramos.

| f_e | $X_e(\text{gr})$ | $f_e(\text{cont.})$ | $X_e(\text{cont.})$ | $f_e(\text{cont.})$ | $X_e(\text{cont.})$ | $f_e(\text{cont.})$ | $X_e(\text{cont.})$ |
|-------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0.0 | 0.0 | 51.5 | 127.7 | 100.7 | 260.6 | 147.0 | 388.3 |
| 6.3 | 5.3 | 55.5 | 138.3 | 102.7 | 266.0 | 150.0 | 393.6 |
| 8.2 | 10.6 | 57.4 | 143.6 | 104.6 | 271.3 | 151.9 | 398.9 |
| 10.2 | 16.0 | 59.4 | 148.9 | 106.6 | 276.6 | 153.9 | 404.3 |
| 12.2 | 21.3 | 61.4 | 154.3 | 108.6 | 281.9 | 155.8 | 409.6 |
| 14.1 | 26.6 | 63.3 | 159.6 | 110.6 | 287.2 | 157.8 | 414.9 |
| 16.1 | 31.9 | 65.3 | 164.9 | 112.5 | 292.6 | 159.8 | 420.2 |
| 18.1 | 37.2 | 67.3 | 170.2 | 114.5 | 297.9 | 161.7 | 425.5 |
| 20.0 | 42.6 | 69.2 | 175.5 | 116.5 | 303.2 | 163.7 | 430.9 |
| 22.0 | 47.9 | 71.2 | 180.9 | 118.4 | 308.5 | 165.7 | 436.2 |
| 24.0 | 53.2 | 73.2 | 186.2 | 120.4 | 313.8 | 167.6 | 441.5 |
| 25.9 | 58.5 | 75.1 | 191.5 | 122.4 | 319.1 | 169.6 | 446.8 |
| 27.9 | 63.8 | 77.1 | 196.8 | 124.4 | 324.5 | 171.6 | 452.1 |
| 29.9 | 69.1 | 79.1 | 202.1 | 126.3 | 329.8 | 173.6 | 457.4 |
| 31.9 | 74.5 | 81.1 | 207.4 | 128.3 | 335.1 | 175.5 | 462.8 |
| 33.8 | 78.8 | 83.0 | 212.8 | 130.3 | 340.4 | 177.5 | 468.1 |
| 35.8 | 85.1 | 85.0 | 218.1 | 132.2 | 345.7 | 179.5 | 473.4 |
| 37.8 | 90.4 | 87.0 | 223.4 | 134.2 | 351.1 | 181.4 | 478.7 |
| 39.7 | 95.7 | 88.9 | 228.7 | 136.2 | 356.4 | 183.4 | 484.0 |
| 41.7 | 101.1 | 90.9 | 234.0 | 138.1 | 361.7 | 185.4 | 489.4 |
| 43.7 | 106.4 | 92.9 | 239.4 | 140.1 | 367.0 | 187.3 | 494.7 |
| 45.6 | 111.7 | 94.8 | 244.7 | 142.1 | 372.3 | 189.3 | 500.0 |
| 47.6 | 117.0 | 96.8 | 250.0 | 144.0 | 377.7 | | |
| 49.6 | 122.3 | 98.8 | 255.3 | 146.0 | 383.0 | | |

* El valor en cero se considera independiente de la ecuación (2)

FUENTE: Rendón C. Soto P. 2007. Metodología rápida para la estimación y monitoreo de captura de carbono. El Colegio de la Frontera Sur. SCL MX. 1:47

EQUIVALENCIA FACTOR DE COBERTURA (F) Y EL PESO SECO (X), ENCONTRADO EN UNA PARCELA DE ACAHUAL SUBTROPICAL (TALLOS SUCULENTOS Ó CARNOSOS), MEDIANTE LA ECUACIÓN (3) CON VALORES EXTRAPOLADOS PARA X>333 GRAMOS.

| f _e | X _e (gr) | f _e (cont.) | X _e (cont.) | f _e (cont.) | X _e (cont.) | f _e (cont.) | X _e (cont.) |
|----------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.0* | 0.0 | 52.2 | 138.8 | 78.6 | 239.4 | 108.8 | 351.1 |
| 15.5 | 4.8 | 53.6 | 143.6 | 79.5 | 242.7 | 110.2 | 356.4 |
| 16.8 | 9.6 | 54.9 | 148.4 | 80.4 | 246.0 | 111.7 | 361.7 |
| 18.1 | 14.4 | 55.3 | 152.9 | 81.3 | 249.3 | 113.1 | 367.0 |
| 19.4 | 19.1 | 56.2 | 156.3 | 82.2 | 252.7 | 114.5 | 372.3 |
| 20.8 | 23.9 | 57.1 | 159.6 | 83.1 | 256.0 | 116.0 | 377.7 |
| 22.1 | 28.7 | 58.0 | 162.9 | 84.0 | 259.3 | 117.4 | 383.0 |
| 23.4 | 33.5 | 58.9 | 166.2 | 84.9 | 262.6 | 118.8 | 388.3 |
| 24.7 | 38.3 | 59.8 | 169.5 | 85.8 | 266.0 | 120.3 | 393.6 |
| 26.0 | 43.1 | 60.7 | 172.8 | 86.7 | 269.3 | 121.7 | 398.9 |
| 27.3 | 47.9 | 61.6 | 176.2 | 87.6 | 272.6 | 123.1 | 404.3 |
| 28.6 | 52.7 | 62.5 | 179.5 | 88.5 | 275.9 | 124.6 | 409.6 |
| 29.9 | 57.4 | 63.4 | 182.8 | 89.4 | 279.3 | 126.0 | 414.9 |
| 31.3 | 62.2 | 64.3 | 186.2 | 90.3 | 282.6 | 127.5 | 420.2 |
| 32.6 | 67.0 | 65.2 | 189.5 | 91.2 | 285.9 | 128.9 | 425.5 |
| 33.9 | 71.8 | 66.1 | 192.8 | 92.1 | 289.2 | 130.3 | 430.8 |
| 35.2 | 76.6 | 67.0 | 196.1 | 93.0 | 292.6 | 131.8 | 436.2 |
| 36.9 | 81.4 | 67.9 | 199.5 | 93.9 | 295.9 | 133.2 | 441.5 |
| 38.2 | 86.2 | 68.3 | 202.8 | 94.8 | 299.2 | 134.6 | 446.8 |
| 39.6 | 91.0 | 69.7 | 206.1 | 95.7 | 302.5 | 136.1 | 452.1 |
| 40.4 | 95.7 | 70.5 | 209.4 | 96.6 | 305.9 | 137.5 | 457.4 |
| 41.7 | 100.5 | 71.4 | 212.4 | 97.3 | 308.5 | 138.9 | 462.8 |
| 43.1 | 105.3 | 72.3 | 216.1 | 98.7 | 313.8 | 140.4 | 468.1 |
| 44.4 | 110.1 | 73.2 | 219.4 | 100.2 | 319.1 | 141.8 | 473.4 |
| 45.7 | 114.8 | 74.1 | 222.7 | 101.6 | 324.5 | 143.3 | 478.7 |
| 47.0 | 119.7 | 75.0 | 226.1 | 103.0 | 329.8 | 144.7 | 484.0 |
| 48.3 | 124.5 | 75.9 | 229.4 | 104.5 | 335.1 | 146.1 | 489.4 |
| 49.6 | 129.3 | 76.8 | 232.7 | 105.9 | 340.4 | 147.6 | 494.7 |
| 50.9 | 134.0 | 77.7 | 236.0 | 107.4 | 345.7 | 149.0 | 500.0 |

* El valor en cero se considera independiente de la ecuación (3)

FUENTE: Rendón C. Soto P. 2007. Metodología rápida para la estimación y monitoreo de captura de carbono. El Colegio de la Frontera Sur. SCL MX. 1:47

ANEXO 8

MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA ESTIMAR LA COBERTURA DE HERBÁCEAS

Se puede estimar el peso seco de distintas maneras. Para ejemplificar cada método se toman algunos puntos de la gráfica (Fig. 1), si elegimos los puntos A, B y C sobre la línea en negrita, a cada uno le corresponde un factor de cobertura distinto tal como se aprecia en el eje vertical (valores 5, 32 y 40 respectivamente)

Se aprecia visualmente que estos puntos tienen poca (fig. A), regular (fig. B) o mucha (fig. C) cobertura, se establecen los rangos respectivos para estos valores (10-30), (30-75) y (76-100) gramos, aunque no es muy preciso dar una idea aproximada del peso seco.

2) Mediante la tabla de valores correspondiente (Anexo 7) se puede estimar un valor aproximado del peso seco, conociendo el factor de cobertura a través de medición directa ($A=2.3$, $B=29.3$, 37.3), para estos casos se obtiene; $A\sim 5.3$ gr, $B\sim 74.5$ gr y $C\sim 95.7$ gr.

3) sustituyendo el factor de cobertura en la fórmula; $x_e = (f_e - 4.3)/0.37$ se obtiene un valor del peso seco muy parecido al anterior, resulta $A\sim 1.9$ gr, $B\sim 74.9$ gr y $C\sim 96.5$ gr. Éste método es de utilidad cuando el factor de cobertura rebasa los valores presentes en el Anexo 7.

ANEXO 9

CUADRO DE EQUIVALENCIA EN PESOS ECO DE LA HOJARASCA Y HUMUS EN CUADROS DE 0.25 METROS CUADRADOS.

| PROFUNDIDAD PROMEDIO (cm) | BIOMASA POR CUADRO (gr)* |
|---------------------------|--------------------------|
| 1.0-4.0 | 200 |
| 4.1-5.5 | 360 |
| 5.6-7.5 | 560 |

* Los valores encontrados en este cuadro son promedios encontrados al medir conjuntamente la capa de hojarasca y el humus

ANEXO 10

Cuadro 1. DENSIDADES DE RAMAS CAIDAS SEGÚN SU NIVEL DE DESCOMPOSICIÓN*

| NIVEL DE DESCOMPOSICIÓN | ρ (gr/cm ³) |
|-------------------------|------------------------------|
| Ramas frescas (f) | 0.35 |
| Ramas intermedias (i) | 0.32 |
| Ramas podridas (p) | 0.24 |

* Se observa que la densidad disminuye al aumentar el