



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

## DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN SUELOS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE

DIVERSIDAD FLORÍSTICA Y CARACTERIZACIÓN DE SUELO EN  
SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL TRÓPICO SECO DE MÉXICO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE

PRESENTA

ANA LAURA CORNELIO RODRÍGUEZ

BAJO LA SUPERVISIÓN DE:

DR. ALEJANDRO LARA BUENO



Chapingo, estado de México, junio 2026

**DIVERSIDAD FLORÍSTICA Y CARACTERIZACIÓN DE SUELO EN  
SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL TRÓPICO SECO DE  
MÉXICO**

Tesis realizada por **ANA LAURA CORNELIO RODRÍGUEZ**, bajo la dirección del  
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO  
SOSTENIBLE**

DIRECTOR:



DR. ALEJANDRO LARA BUENO

ASESOR:



M.C. JUAN ANGEL TINOCO RUEDA

ASESOR:



DR. DAVID CRISTÓBAL ACEVEDO

ASESOR:



DR. MIGUEL URIBE GÓMEZ

## ÍNDICE

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....                                | 1  |
| 1.1 OBJETIVOS .....                                         | 4  |
| 1.1.1 Objetivo general .....                                | 4  |
| 1.1.2 Objetivos específicos.....                            | 4  |
| 1.1.3 Hipótesis.....                                        | 4  |
| 1.1.4 Estructura de la tesis .....                          | 5  |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA .....                             | 6  |
| 2.1 Uso de suelo en México .....                            | 6  |
| 2.2 Importancia de la ganadería en México.....              | 6  |
| 2.3 Sistemas de ganadería en México .....                   | 9  |
| 2.3.1 Ganadería convencional.....                           | 10 |
| 2.4 Impactos ambientales de la ganadería.....               | 11 |
| 2.5 Bosques tropicales secos y problemática ambiental ..... | 11 |
| 2.6 Ganadería del trópico seco.....                         | 12 |
| 2.7 Sistemas Agroforestales.....                            | 12 |
| 2.7.1 Definición de Agroforestería.....                     | 12 |
| 2.7.2 Características de los sistemas agroforestales .....  | 13 |
| 2.7.3 Clasificación de los sistemas agroforestales .....    | 14 |
| 2.7.4 Funciones y beneficios de la Agroforestería.....      | 16 |
| 2.7.5 Ventajas y desventajas de la agroforestería.....      | 17 |

|        |                                                                                                                                           |    |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7.6  | La agroforestería en el trópico seco .....                                                                                                | 19 |
| 2.8    | Sistemas silvopastoriles .....                                                                                                            | 20 |
| 2.8.1  | Clasificación de los sistemas silvopastoriles .....                                                                                       | 20 |
| 2.8.2  | Funciones ecológicas y productivas .....                                                                                                  | 21 |
| 2.8.3  | Sistemas silvopastoriles en el trópico seco de México .....                                                                               | 23 |
| 2.9    | Ganadería regenerativa.....                                                                                                               | 24 |
| 2.9.1  | Definición.....                                                                                                                           | 24 |
| 2.10   | Suelo y vegetación en sistemas agroforestales.....                                                                                        | 26 |
| 2.10.1 | Importancia del suelo en sistemas silvopastoriles .....                                                                                   | 26 |
| 2.10.2 | Propiedades del suelo .....                                                                                                               | 27 |
| 2.10.3 | Relación del suelo y la vegetación .....                                                                                                  | 29 |
| 2.11   | Diversidad florística en sistemas silvopastoriles.....                                                                                    | 30 |
| 2.11.1 | Composición florística .....                                                                                                              | 30 |
| 2.11.2 | Índices de diversidad para evaluar la vegetación .....                                                                                    | 31 |
| 2.11.3 | Parámetros para medir la vegetación.....                                                                                                  | 34 |
| 2.12   | Literatura citada.....                                                                                                                    | 36 |
| 3.     | ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD DEL ESTRATO LEÑOSO<br>EN SISTEMAS DE GANADERÍA CONVENCIONAL Y REGENERATIVA DEL<br>TRÓPICO SECO ..... | 43 |
| 3.1    | Resumen .....                                                                                                                             | 43 |
| 3.2    | Abstract .....                                                                                                                            | 44 |
| 3.3    | Introducción .....                                                                                                                        | 45 |
| 3.4    | Materiales y métodos.....                                                                                                                 | 47 |

|       |                                                                                                                       |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.1 | Área de estudio .....                                                                                                 | 47 |
| 3.4.2 | Sistemas evaluados .....                                                                                              | 48 |
| 3.4.3 | Diseño y selección de los sitios de muestreo .....                                                                    | 49 |
| 3.4.4 | Muestreo de las especies arbóreas.....                                                                                | 50 |
| 3.4.5 | Muestreo de especies arbustivas .....                                                                                 | 51 |
| 3.5   | Caracterización de la estructura vegetal leñosa .....                                                                 | 51 |
| 3.5.1 | Estrato leñoso.....                                                                                                   | 51 |
| 3.5.2 | Importancia de los índices.....                                                                                       | 51 |
| 3.5.3 | Análisis de datos .....                                                                                               | 53 |
| 3.6   | Resultados.....                                                                                                       | 54 |
| 3.6.1 | Estrato arbóreo.....                                                                                                  | 54 |
| 3.6.2 | Estrato arbustivo.....                                                                                                | 62 |
| 3.7   | Discusión .....                                                                                                       | 64 |
| 3.8   | Conclusiones .....                                                                                                    | 72 |
| 3.9   | Literatura citada.....                                                                                                | 74 |
| 4.    | ATRIBUTOS FÍSICO – QUÍMICOS DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA<br>VEGETACIÓN EN SISTEMAS GANADEROS DEL TRÓPICO SECO ..... | 79 |
| 4.1   | Resumen .....                                                                                                         | 79 |
| 4.2   | Abstract .....                                                                                                        | 80 |
| 4.3   | Introducción .....                                                                                                    | 81 |
| 4.4   | Materiales y métodos.....                                                                                             | 83 |
| 4.4.1 | Área de estudio .....                                                                                                 | 83 |
| 4.4.2 | Sistemas evaluados .....                                                                                              | 84 |

|       |                                                |     |
|-------|------------------------------------------------|-----|
| 4.4.3 | Diseño de muestreo y selección de puntos ..... | 87  |
| 4.4.4 | Toma de muestras de suelo .....                | 87  |
| 4.4.5 | Variables de suelo .....                       | 88  |
| 4.4.6 | Análisis de datos .....                        | 89  |
| 4.5   | Resultados.....                                | 90  |
| 4.5.1 | Variables edáficas .....                       | 90  |
| 4.5.2 | Análisis de componentes principales.....       | 93  |
| 4.5.3 | Análisis de correspondencia canónica .....     | 96  |
| 4.6   | Discusión .....                                | 103 |
| 4.7   | Conclusiones .....                             | 110 |
| 4.8   | Literatura citada.....                         | 112 |
| 5.    | CONCLUSIONES GENERALES .....                   | 117 |
| 6.    | ANEXOS.....                                    | 119 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Especies arbóreas registradas en los sistemas de manejo de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR). .....                                                                        | 54 |
| Cuadro 2. Media $\pm$ desviación estándar de las variables de diversidad, riqueza y composición de la vegetación arbórea en los sistemas de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR). ..... | 57 |
| Cuadro 3. Valor promedio del índice de similitud de Jaccard del estrato arbóreo en los sistemas de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR). .....                                          | 58 |
| Cuadro 4. Medias $\pm$ desviación estándar de las variables de estructura del estrato arbóreo en los sistemas de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR). .....                            | 59 |
| Cuadro 5. Especies con mayor índice de importancia (IVI) en el sistema convencional y regenerativo del estrato arbóreo. ....                                                                         | 61 |
| Cuadro 6. Especies arbustivas registradas en los sistemas de manejo de ganadería convencional (SGC) y ganadería regenerativa (SGR). .....                                                            | 62 |
| Cuadro 7. Medias $\pm$ desviación estándar de las variables de diversidad y riqueza de la vegetación arbustiva de los sistemas de ganadería convencional (SGC) y con manejo regenerativo (SGR). .... | 63 |
| Cuadro 8. Índice de similitud de Jaccard promedio del estrato arbustivo en los sistemas de ganadería convencional y regenerativa. ....                                                               | 64 |
| Cuadro 9. Especies arbóreas registradas en los sistemas de manejo de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR). ....                                                                         | 85 |
| Cuadro 10. Especies arbustivas registradas en los sistemas de manejo de ganadería convencional (SGC) y ganadería regenerativa (SGR). .....                                                           | 86 |

|                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Cuadro 11. Medias $\pm$ desviación estándar de las variables edáficas en áreas de ganadería con manejo convencional (SGC) y ganadería con manejo regenerativo (SGR)..... | 90  |
| Cuadro 12. Cargas factoriales de las variables edáficas en los tres componentes principales del sistema de ganadería con manejo convencional (SGC).....                  | 93  |
| Cuadro 13. Cargas factoriales de las variables edáficas en los tres componentes principales del sistema de ganadería con manejo regenerativo (SGR).....                  | 95  |
| Cuadro 14. Valores propios y varianza explicada del ACC en el estrato arbóreo. ....                                                                                      | 96  |
| Cuadro 15. Valores propios y varianza explicada del ACC en el estrato arbustivo del sistema de ganadería con manejo convencional (SGC) y manejo regenerativo (SGR).....  | 100 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Número de cabezas de ganado por entidad federativa en el 2024 (SIACON, 2025).....                                  | 7  |
| Figura 2. Producción de carne nacional en miles de toneladas por entidad federativa (SIACON, 2025). ....                     | 7  |
| Figura 3. Producción de leche nacional en miles de litros por entidad federativa (SIACON, 2025).....                         | 8  |
| Figura 4. Valor económico de la producción de carne en miles de pesos por entidad federativa (SIACON, 2025). ....            | 9  |
| Figura 5. Clasificación de los sistemas y prácticas agroforestales (Nair, 1994).15                                           |    |
| Figura 6. Principios básicos de la agricultura regenerativa que encaminan a sistemas sostenibles (López, 2022).....          | 25 |
| Figura 7. Procesos en los que la presencia de árboles mejora la fertilidad del suelo (Young, 1997).....                      | 27 |
| Figura 8. Localización del área de estudio en el municipio de Tierra Blanca, Veracruz. ....                                  | 48 |
| Figura 9. Diseño y puntos de muestreo de los sistemas de manejo de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR). ....   | 50 |
| Figura 10. Localización del área de estudio en el municipio de Tierra Blanca, Veracruz. ....                                 | 84 |
| Figura 11. Diseño y puntos de muestreo de los sistemas de ganadería con manejo convencional (SGC) y regenerativo (SGR). .... | 88 |

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 12. Biplot del análisis de correspondencia canónica del sistema de ganadería con manejo convencional (SGC) en el estrato arbóreo. ....   | 97  |
| Figura 13. Biplot del análisis de correspondencia canónica del sistema de ganadería con manejo regenerativo (SGR) en el estrato arbóreo. ....   | 99  |
| Figura 14. Biplot del análisis de correspondencia canónica del sistema de ganadería con manejo convencional (SGC) en el estrato arbustivo. .... | 101 |
| Figura 15. Biplot del análisis de correspondencia canónica para el estrato arbustivo en el sistema de ganadería con manejo regenerativo. ....   | 102 |

## DEDICATORIAS

La culminación de este proyecto de Maestría la dedico a mi **Ana Laura Cornelio Rodríguez** por enseñarme a mí misma que cada día podemos transformarnos y aprender cosas nuevas.

Le dedico este trabajo a **Dios** por darme la fuerza y permitirme renunciar a todo lo que antes creía que era para mí. Por guiarme y abrirme camino, arriesgarme en situaciones de las que no estaba segura, pero gracias a eso cambió totalmente el panorama de mi vida y el propósito de lo que busco para mí.

Y con este mismo entusiasmo y felicidad en el cual termino este proyecto, dedicaré lo que me quedé de vida en aplicar, compartir y transmitir todo el conocimiento que adquirí, por el bien común, esperando aportar un granito de arena a la sociedad y al medio ambiente y, sobre todo, espero aprender aún más allá afuera con las verdaderas experiencias de la vida.

Cada vez que lea nuevamente esta tesis, me recordaré a mí misma el compromiso que tengo ahora con la sociedad, con Dios y con mi propósito de vida, de ser un profesional dedicado a difundir y transmitir los sistemas agroforestales y que esto mismo me lleve a cumplir mis metas personales.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a la **Universidad Autónoma Chapingo** por brindarme el espacio de realizar mis estudios de posgrado, ya que en ella no solo crecí profesionalmente, sino que también me brindó la oportunidad de nuevas experiencias y conocer grandes personas.

A la **Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación** (SECIHTI), por brindarme el apoyo económico para que pudiera realizar mis estudios de posgrado.

Al **Dr. Alejandro Lara Bueno** por brindarme un espacio como su asesora, por abrirme las puertas de su casa para desarrollar este proyecto, por enseñarme cosas las cuales desconocía y gracias por sembrar en mí una semilla de inquietud para decidirme hacer este proyecto.

A la **Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible** por darme el espacio y formarme profesional y académicamente.

A mi asesor **Juan Ángel Tinoco Rueda** por su acompañamiento, consejos y apoyo para este proyecto.

A mis asesores el **Dr. David Cristóbal Acevedo** por brindarme el apoyo pese a los cambios que hubo durante este proyecto y por el apoyo de las instalaciones del laboratorio de física de suelos, el cual tiene a su cargo y al **Dr. Miguel Uribe Gómez** por sus enseñanzas como profesor y apoyo durante la realización de este proyecto.

A mi profesor el **Dr. Joel Pineda P.**, por permitirme el espacio dentro del laboratorio de fisiología vegetal, el cual tienen a su cargo, para realizar los análisis de suelo correspondiente al proyecto de investigación. Y al técnico del laboratorio

**María Hayde Tellez Sánchez** por brindarme su tiempo y apoyo durante el periodo que estuve realizando mis análisis, así como su entusiasmo y su calidad como ser humano.

A mi profesor el **Dr. Saúl Ugalde Lezama** por sus enseñanzas y asesoría en las cuestiones estadísticas de mi proyecto de investigación, además de su gran apoyo como persona y ser humano.

Un agradecimiento especial al **Ing. José Francisco Preciado Guzmán** y próximo Maestro en Ciencias, por haberme convencido de postularme a la maestría en la Universidad Autónoma Chapingo, ya que, gracias a eso, me permití aventurarme a cosas distintas y esto redirigió mi vida. Le agradezco además su amistad y su apoyo en las diferentes etapas de este proceso, deseándole de igual manera lo mejor en su proyecto de vida personal y profesional.

Un agradecimiento especial al **Ing. José Luis Lara Ruiz** y al **Sr. Pedro** el trabajador de planta del rancho donde realicé mi proyecto, por haberme brindado su apoyo, disposición, entusiasmo y energía durante las mediciones en campo y colecta de muestras ya que no fue un trabajo fácil, pese a las condiciones, y me llevo muy buenas enseñanzas de ambos.

Un agradecimiento especial a mi familia, sobre todo a mis padres **María F. Rodríguez Aguilar** y **Samuel Cornelio Guzmán**, por apoyarme en todas mis decisiones incondicionalmente, a mis hermanos, **Liliana Cornelio R.** y **Guillermo Cornelio R.** por su apoyo en este proceso y ser parte de mi vida, así como mis dos hermosas sobrinas **Valeria Elizabeth Contreras C.** y **Vanessa Lizeth Contreras C.**, por ser un gran sostén para mí, por siempre darme su apoyo, palabras de aliento y su cariño incondicional pese a la distancia.

A mi amiga **María Guadalupe Arzate Rueda** por apoyarme, escucharme y brindarme su amistad y ser parte de este proceso conmigo. Le deseo de todo corazón éxito en su vida profesional y personal.

A mi compañera **Krystal Yedid Álvarez Quiñones**, ya que en ella encontré una amistad durante el posgrado y vivimos juntas todo un proceso de transformación y aprendizaje, le deseo todo el éxito en su vida profesional y personal. Asimismo, a mis compañeras **Ana Karen, Lisset y Nandi** les deseo lo mejor en su proyecto de vida. Esperando encontrarlas como colegas en un futuro y algún día poder trabajar juntas.

A mi amiga **Yessica Garnica Moreno** por su amistad incondicional y que, pese a la distancia, le agradezco su cariño, su apoyo, y decirle que gracias por escucharme y estar al pendiente de mí, sobre todo en días complicados. Le deseo lo mejor en su vida siempre y espero seguir manteniendo su amistad.

A mi amiga **Joselin Escobedo Rodríguez**, que, pese a la distancia, me ha mostrado su cariño, palabras de apoyo y siempre me ha escuchado, la conocí en un momento decisivo en mi vida y espero poder seguir manteniendo su amistad, le deseo todo el éxito en su vida personal y profesional.

A mi psicóloga, **Sacnite Avalos Cortes**, por su calidez y acompañamiento. Aunque termine la terapia hace tiempo, su apoyo fue clave para tomar la decisión de estudiar una maestría y comenzar el proceso que hoy culmina con este logro. Gracias por su dedicación y compromiso con su profesión.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de manera directa o indirecta estuvieron al pendiente de mi proceso, me desearon lo mejor, me ayudaron y contribuyeron a mi formación, aunque algunas de ellas ya no están en mi vida, les deseo lo mejor.

## DATOS BIOGRÁFICOS

### Datos personales

Nombre: Ana Laura Cornelio Rodríguez

Fecha de nacimiento: 01 de septiembre de 1995

Lugar de nacimiento: Morelia, Michoacán, México

CURP: CORA950901MMNRDN03

Profesión: Ingeniera en Innovación Agrícola Sustentable

Cédula profesional: 11953538



### Desarrollo académico

**Bachillerato:** Químico – Biológico de la carrera de Técnico en Laboratorista Químico. Colegio de estudios Científicos y Tecnológicos del estado de Michoacán Plantel 12 Morelia. Morelia, Michoacán C.P. 58337

**Licenciatura:** Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, Morelia, Michoacán, México.

**Posgrado:** Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.

# DIVERSIDAD FLORÍSTICA Y CARACTERIZACIÓN DE SUELO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL TRÓPICO SECO DE MÉXICO

Ing. Ana Laura Cornelio Rodríguez<sup>1</sup>, Dr. Alejandro Lara Bueno<sup>2</sup>, M.C. Juan Ángel Tinoco  
Rueda<sup>1</sup>, Dr. David Cristóbal Acevedo<sup>1</sup>, Dr. Miguel Uribe Gomez<sup>1</sup>

## RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles se consolidan como prácticas de ganadería regenerativa, debido a su contribución a la conservación de los recursos naturales y al desarrollo de sistemas ganaderos sostenibles en el trópico. El objetivo de este estudio fue evaluar la estructura, composición y diversidad del estrato leñoso en relación con las propiedades fisicoquímicas del suelo, en sistemas ganaderos con manejo convencional (SGC) y regenerativo (SGR). Las tecnologías silvopastoriles presentes incluyeron árboles dispersos en potreros y cercas vivas. Para ello, se registraron las especies arbóreas y arbustivas, se midieron variables dasométricas como altura, diámetro a la altura de pecho, área basal, área de copa, altura de fuste limpio y densidad. Se estimaron índices de diversidad, riqueza, similitud y valor de importancia. Se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo. Se realizaron análisis multivariados de componentes principales y correspondencia canónica para relacionar las variables edáficas con la distribución de las especies leñosas en ambos sistemas ganaderos. Los resultados mostraron una mayor diversidad, riqueza y densidad arbórea en el SGR, caracterizado por individuos más jóvenes; mientras que el SGC presentó árboles de mayor tamaño y cobertura de copa. Las especies dominantes en el SGR fueron *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium* y *Tabebuia rosea*; en contraste, en el SGC predominaron *Guazuma ulmifolia*, *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata*. En las propiedades del suelo se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los contenidos de arcilla, calcio y manganeso en el SGC, y arena y boro en el SGR. Los análisis multivariados evidenciaron que la textura del suelo, especialmente la arcilla, así como la disponibilidad de fósforo son factores determinantes en la distribución de especies vegetales. Los sistemas silvopastoriles con manejo regenerativo favorecen la diversidad de especies y las propiedades del suelo cumplen funciones importantes en la dinámica de estos sistemas.

**Palabras clave:** ganadería regenerativa, ganadería convencional, especies leñosas, índices de diversidad, *Guazuma ulmifolia*.

---

<sup>1</sup>Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Ing. Ana Laura Cornelio Rodríguez

Director: Dr. Alejandro Lara Bueno

# FLORISTIC DIVERSITY AND SOIL CHARACTERIZATION IN SILVOPASTORAL SYSTEMS IN THE DRY TROPICS OF MÉXICO

Ing. Ana Laura Cornelio Rodríguez<sup>3</sup>, Dr. Alejandro Lara Bueno<sup>4</sup>, M.C. Juan Ángel Tinoco Rueda<sup>1</sup>, Dr. David Cristóbal Acevedo<sup>1</sup>, Dr. Miguel Uribe Gomez<sup>1</sup>

## GENERAL ABSTRACT

Silvopastoral systems are consolidating as regenerative livestock farming practices due to their contribution to the conservation of natural resources and the development of sustainable livestock systems in the tropics. The objective of this study was to evaluate the structure, composition, and diversity of the woody stratum in relation to the physicochemical properties of the soil in livestock systems under conventional (CLS) and regenerative management (RLS). The silvopastoral technologies present included dispersed trees in pastures and live fences. To this end, tree and shrub species were recorded, and dasometric variables such as height, diameter at breast height, basal area, crown area, clear bole height, and density were measured. Diversity, richness, similarity, and importance value indices were estimated. Soil physical and chemical properties were also determined. Multivariate analyses, including principal component analysis and canonical correspondence analysis, were performed to relate edaphic variables to the distribution of woody species in both livestock systems. The results showed greater tree diversity, richness, and density in the RLS, characterized by younger individuals, whereas the CLS presented larger trees with greater crown cover. The dominant species in the RLS were *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, and *Tabebuia rosea*; in contrast, *Guazuma ulmifolia*, *Cordia alliodora*, and *Cedrela odorata* predominated in the CLS. Significant differences ( $p \leq 0.05$ ) were found in clay, calcium, and manganese contents in the CLS, and sand and boron in the RLS. Multivariate analyses revealed that soil texture, particularly clay content, as well as phosphorus availability, are determining factors in the distribution of plant species. Regenerative silvopastoral systems promote species diversity, and soil properties play an important role in the dynamics of these systems.

**Keywords:** Regenerative livestock farming, Conventional livestock farming, woody species, diversity indices, *Guazuma ulmifolia*.

---

<sup>1</sup>Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Ing. Ana Laura Cornelio Rodríguez

Director: Dr. Alejandro Lara Bueno

## **1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

En México, a partir de la mitad del siglo XX, la actividad ganadera ha crecido de manera acelerada para satisfacer las necesidades de la demanda de carne bovina, con fuertes repercusiones al ambiente, debido a la disminución de área forestal para ser utilizada como áreas de pastoreo. En gran parte de América Latina, este proceso ha favorecido la reducción de bosques templados y selvas tropicales, promoviendo la pérdida de biodiversidad y la degradación del suelo (Palma, 2014). Sobre todo, en las regiones tropicales, los recursos naturales se ven amenazados por las actividades agrícolas y pecuarias, especialmente por sistemas de producción extensivo, los cuales se basan en la producción de pastos como fuente de alimentación para el ganado. Como consecuencia, grandes superficies de bosque tropical seco son deforestadas y degradadas para el establecimiento de áreas de pastoreo. Además, la expansión de sistemas ganaderos en regiones tropicales provoca la fragmentación del paisaje y altera la estructura y el funcionamiento de los bosques, lo que también disminuye la capacidad del suelo para almacenar agua y favorece la pérdida de nutrientes (De la Peña-Domene et al., 2022; Fuentes-Hernández et al., 2019).

Aunado a esto, la ganadería extensiva enfrenta problemática asociada a la variabilidad en la precipitación y temperatura, lo que afecta directamente al rendimiento y disponibilidad del forraje, debido a una marcada estacionalidad de las lluvias y prolongada época de sequía (De la Cruz, 2024; Saenz-Pedroza, Ramírez-Díaz, Manjarrez y Zepeda-Gómez, 2022).

Ante esta situación los sistemas ganaderos del trópico requieren alternativas que permitan incrementar la productividad sin continuar comprometiendo los recursos naturales, detener la pérdida de fertilidad del suelo y adaptarse a condiciones de cambio climático mediante estrategias. Una de estas alternativas es implementar sistemas silvopastoriles en la producción pecuaria (Palma, 2006).

Los sistemas silvopastoriles son una modalidad prometedora de los sistemas agroforestales, ya que dentro de estos sistemas se asocian árboles o arbustos, pastos y animales en interacción con el suelo (Alonso, 2011). La combinación del componente arbóreo dentro de los sistemas permite el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y contribuye a la captura y almacenamiento de carbono, tanto en la biomasa vegetal como en el suelo (De la Cruz, 2024).

El aprovechar la diversidad arbórea y arbustiva nativa, en sistemas silvopastoriles es una opción para el uso sostenible de la tierra con múltiples beneficios ambientales, además de las diversas funciones que ofrecen las especies leñosas como la producción de madera, forraje, leña, alimento, sirven como corredores biológicos, proporcionan sombra al ganado, disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoran significativamente las propiedades físico - químicas de los suelos (Alayon-Gamboa, Jiménez-Ferrer, Nahed-Toral y Villanueva-López, 2018); Contreras-Santos, Martínez-Atencia, López-Rebolledo y Garrido-Pineda, 2021).

Actualmente, los sistemas silvopastoriles se consideran un enfoque de la ganadería regenerativa, debido a que sus interacciones permiten mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la biodiversidad y la captura de carbono (Bravo-Peña, Toro-Letelier, Alvial, Hargreaves y Alfaro, 2024). Y contribuyen a recuperar los suelos degradados en regiones ganaderas tropicales de América (Crespo, 2008).

En este contexto, la existencia de árboles dentro de los sistemas genera interacciones complejas entre las relaciones suelo – planta, debido a que estos influyen en las funciones del suelo, de tal manera que el suelo también afecta las funciones de los árboles (Sánchez, 2021). Diversos estudios han señalado que la riqueza y diversidad de las especies leñosas, influye en la fertilidad de suelo y el ciclo de nutrientes; sin embargo, aún existen pocos estudios que permitan comprender la relación entre la riqueza y diversidad de las especies leñosas en diversos sistemas agroforestales tropicales con la fertilidad del suelo, bajo diferentes condiciones de manejo (Alcudia-Aguilar et al., 2024).

Caamal-Catzin, Rosales-Martínez, Bautista-Ortega, Soto-Barajas y Fraire-Cordero (2025) señalan que son necesarios más estudios sobre el impacto de los sistemas silvopastoriles en las propiedades del suelo, debido a que existen diversos factores que influyen en su dinámica, como el manejo agronómico, tipo de suelo, el clima y la interacción con el ganado. La comprensión de estos factores permitirá orientar estrategias de manejo sostenible de los recursos naturales de acuerdo con las características de cada región. En concordancia con esta perspectiva, Silva-Olaya et al. (2021) reconocen los múltiples beneficios de los sistemas que integran plantas leñosas y pastos; sin embargo, señalan la limitada disponibilidad de estudios que evalúen el impacto de uso de suelo en indicadores físicos, químicos y biológicos, así como sus interacciones, bajo diferentes condiciones locales.

En particular, las regiones de bosque tropical seco o selva baja caducifolia son ecosistemas altamente alterados por la expansión de los sistemas ganaderos. En estas zonas, es necesario promover alternativas que fomenten la utilización de especies leñosas nativas. Para ello, es fundamental caracterizar los sistemas silvopastoriles y conocer la interacción entre sus componentes, considerando las condiciones edafoclimáticas y las características de las especies que existen o que se establecerán (Ángel-Hernández et al., 2024).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es evaluar la estructura, composición y diversidad del estrato leñoso y su relación con los atributos físico – químicos del suelo, en sistemas de ganadería convencional y regenerativa, con el fin de generar las bases para proponer el diseño y manejo de sistemas de ganadería regenerativa en el municipio de Tierra Blanca, Veracruz.

Para el desarrollo de este estudio se consideraron dos sistemas de manejo: el sistema de ganadería convencional (SGC) y el sistema de ganadería regenerativa (SGR), con dos tecnologías silvopastoriles: árboles dispersos en potreros y cercos vivos, asociados a especies forrajeras y maderables características de la selva baja caducifolia.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo general**

Evaluar la estructura, composición y diversidad del estrato leñoso y su relación con los atributos físico – químicos del suelo, en sistemas de ganadería con manejo convencional y regenerativo, con el fin de generar las bases para proponer el diseño y manejo de sistemas de ganadería regenerativa.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar la estructura, composición florística y diversidad de la vegetación arbórea y arbustiva en sistemas de ganadería con manejo convencional y regenerativo, mediante variables dasométricas, estimadores de riqueza, abundancia, diversidad, disimilitud y el índice de valor de importancia.
- Determinar las propiedades físico - químicas del suelo en sistemas de ganadería con manejo convencional y regenerativo, para identificar la relación de los atributos del suelo con las formas de vida vegetal arbóreas y arbustivas.

### **1.1.3 Hipótesis**

Hipótesis nula ( $H_0$ ) = La diversidad vegetal leñosa y los atributos físico – químicos del suelo no difieren entre los sistemas de ganadería con manejo convencional y regenerativo.

Hipótesis alterna ( $H_1$ ) = La diversidad vegetal leñosa y los atributos físicos – químico del suelo difieren entre los sistemas de ganadería con manejo convencional y regenerativo.

#### 1.1.4 Estructura de la tesis

La presente tesis se encuentra estructurada en seis capítulos o apartados. El primer capítulo corresponde a la “Introducción general”, presenta el contexto de la investigación, destacando la importancia de la ganadería como actividad económica y de subsistencia, así como los desafíos que enfrenta y su impacto en la fragmentación ecosistemas, particularmente de los bosques tropicales secos. Asimismo, se aborda el papel de los sistemas silvopastoriles como una alternativa con enfoque regenerativo para la producción ganadera en el trópico seco. En este capítulo también se exponen el objetivo general, los objetivos específicos y la hipótesis general de la investigación.

El segundo capítulo corresponde a la revisión de literatura, donde se presenta la conceptualización y los antecedentes necesarios para la comprensión y sustento teórico del estudio.

Los capítulos tres y cuatro contienen los artículos científicos derivados de los objetivos específicos planteados para alcanzar el objetivo general de la investigación. Estos llevan por título **“Estructura, composición y diversidad del estrato leñoso en sistemas de ganadería convencional y regenerativa del trópico seco”** y **“Atributos físico – químicos del suelo y su relación con la vegetación en sistemas ganaderos del trópico seco”**. Ambos artículos se encuentran estructurados de acuerdo con el manual de tesis correspondiente.

Finalmente, en el capítulo cinco presenta las conclusiones generales de la investigación, resaltando los principales hallazgos de cada artículo y la aceptación o rechazo de la hipótesis planteada. Por su parte, el capítulo seis corresponde a anexos, donde se incluyen dos cuadros con las especies arbóreas y arbustivas registradas, así como sus respectivos códigos para facilitar su consulta e interpretación.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Uso de suelo en México**

El territorio mexicano abarca aproximadamente 196.3 millones de ha, de las cuales, el 52.78 % (103.59 millones de ha) se destinan a actividades agropecuarias y forestales. De la superficie reportada por los productores de las unidades de producción corresponden 88,166,735.6 ha y de éstas el 64.98 % se destinada a la producción agropecuaria y forestal reportada como agostadero, pastos naturales, enmontadas y con bosque o selva (INEGI, 2023).

### **2.2 Importancia de la ganadería en México**

La ganadería constituye una de las actividades de mayor relevancia en México, debido a su contribución en la producción de alimentos de origen animal, principalmente carne y leche. De acuerdo con los registros del SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de consulta) para el año 2024, último periodo con información disponible, se reportó un inventario nacional de 8,921,082 cabezas de ganado. Entre las entidades federativas con mayor número de cabezas de ganado es Veracruz con 1,162,282 seguido de Jalisco con 979,662 y Chiapas, con 495,959 cabezas (Figura 1) (SIAP, 2025).

En cuanto a la producción de carne, las 15 entidades federativas con mayor participación se muestran en la Figura 2. Veracruz ocupa el primer lugar a nivel nacional, con una producción de 2,917,60.976 toneladas, equivalente al 13 % de la producción nacional de este producto. Le siguen los estados de Jalisco, con una participación del 11.83 % y San Luis Potosí con el 6. 10 %. En conjunto, las 15 entidades federativas con mayor producción concentran el 79 % de producción nacional de carne, mientras que las 17 entidades restantes aportan únicamente el 21 % de la producción total, destacando la relevancia de los sistemas ganaderos en el estado de Veracruz (SIAP, 2025).

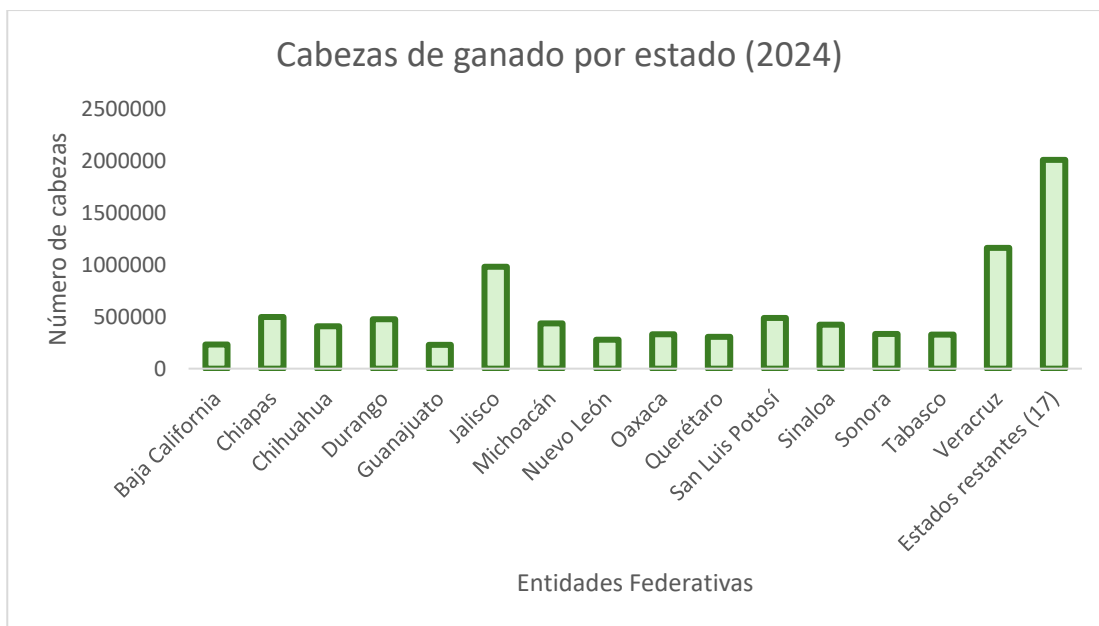


Figura 1. Número de cabezas de ganado por entidad federativa en el 2024 (SIACON, 2025).

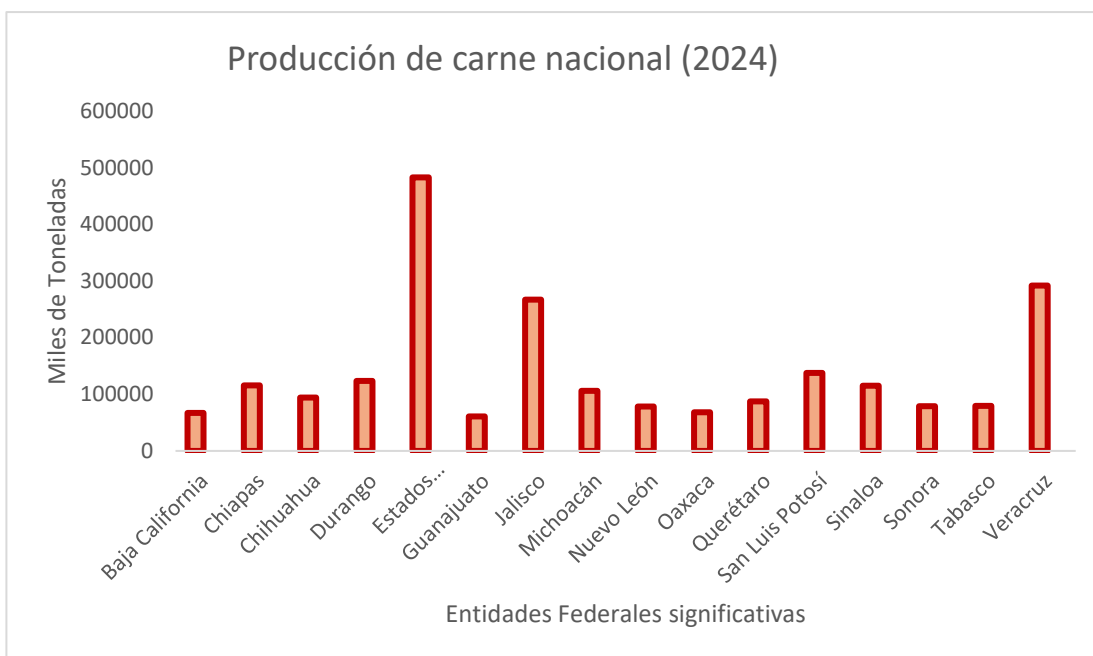


Figura 2. Producción de carne nacional en miles de toneladas por entidad federativa (SIACON, 2025).

Por otro lado, la producción de leche presenta una distribución distinta en las entidades federativas. Durante el 2024 se registró una producción nacional de 13,553,069.38 miles de litros de leche, de los cuales Jalisco aportó el 21 %, posicionándose como el principal productor nacional, seguido de Coahuila con contribución del 11.6 %. El estado de Veracruz ocupa el sexto lugar nacional, con una producción de 820,691.20 de miles de litros (Figura 3), manteniéndose entre las entidades con mayor producción de alimentos de origen animal (SIAP, 2025).



Figura 3. Producción de leche nacional en miles de litros por entidad federativa (SIACON, 2025).

Respecto al valor económico de la producción de carne, durante el 2024 se registró un valor nacional de 182,732,494.87 miles de pesos. Del total nacional el estado de Jalisco aportó el 13 % del valor de la producción, mientras que, Veracruz contribuyó con el 12 %, equivalente a 22,033,788.91 miles de pesos. En la Figura 4 se muestran las 10 entidades federativas con mayor contribución al valor económico de la producción de carne, expresada en términos porcentuales respecto al total nacional (SIAP, 2025).



Figura 4. Valor económico de la producción de carne en miles de pesos por entidad federativa (SIACON, 2025).

En conjunto, estos indicadores resaltan la importancia de la actividad ganadera dentro del sector agropecuario nacional, no solo por la contribución del abastecimiento de productos de origen animal, sino también por el impacto económico derivado al establecimiento de estos sistemas, así como la generación de empleo y sustento para la población en el medio rural (SIAP, 2025).

### 2.3 Sistemas de ganadería en México

México cuenta con una gran disponibilidad de recursos naturales debido a la diversidad de climas que hay en el país, permite que se desarrollen diferentes sistemas de producción en cuanto a la actividad ganadera (Parra-Cortés & Magaña-Magaña, 2019).

El tipo de ganadería que se desarrolla en México va desde sistemas tradicionales hasta sistemas altamente tecnificados (Vilaboa & Díaz, 2009). Las regiones tropicales de México presentan una amplia variedad de recursos para desarrollar

sistemas de ganadería de doble propósito destinados a la producción de carne y leche, debido a los bajos costos y a la generación de ingresos a corto plazo, lo que facilita la gestión y manejo de estos sistemas (Rojas-Sandoval, Albarrán-Portillo, Mondragón-Ancelmo, Martínez-García & García-Martínez, 2024).

Diversos autores coinciden que los sistemas de producción bovina en México se definen en cuatro tipos, diferenciados por el nivel de tecnificación, el tipo de alimentación, las razas y la finalidad zootécnica, conocidos como el especializado, semi – especializado, doble propósito y el tradicional (Vilaboa & Díaz, 2009).

### **2.3.1 Ganadería convencional**

De acuerdo con Fuentealba y González (2016), los sistemas ganaderos en México pueden agruparse en: intensivo, extensivo y el campesino, los cuales se diferencian por el nivel de tecnificación, el uso de insumos externos y el objetivo final de producción:

- Los sistemas intensivos se caracterizan por depender de insumos externos, como alimentos balanceados y productos químicos como antibióticos y estimuladores de crecimiento, lo que permite acelerar la productividad. Asimismo, suelen incorporar mejoramiento genético en las razas y prácticas de manejo más especializadas.
- Por otro lado, los sistemas extensivos, utilizan el pastoreo de forraje natural como la fuente principal de alimento para el ganado, con escasa suplementación y baja tecnificación, obteniendo bajos niveles de producción. Su establecimiento se ha asociado a procesos como de deforestación, particularmente en zonas tropicales.
- En contraste, los sistemas campesinos suelen ser a pequeña escala y depende de la mano de obra familiar y la producción se destina al autoconsumo y subsistencia. En estos sistemas predominan las razas criollas adaptadas a las condiciones locales, aunque su producción es

parte importante en la producción ganadera a nivel nacional, enfrentan problemáticas como el sobrepastoreo, la deforestación y limitaciones en comercialización.

## **2.4 Impactos ambientales de la ganadería**

La ganadería genera un fuerte impacto económico, social y político en muchos países, desempeña un papel vital en la provisión de alimentos y es el sustento de millones de personas, sin embargo, produce un impacto al ambiente. Esta actividad ha sido señalada como la principal fuente de degradación del suelo y contribuye al cambio climático por la emisión de gases de efecto invernadero. Además de que altera paisajes enteros y reduce el hábitat provocando pérdida de la biodiversidad debido a su alta demanda de grandes extensiones de tierra para la producción de pastos (De la Cruz, 2024; Pérez, 2008).

## **2.5 Bosques tropicales secos y problemática ambiental**

Los bosques tropicales mejor conocidos como selvas tropicales se encuentran principalmente en la zona intertropical conformada entre los trópicos de cáncer y el trópico de capricornio. Se distinguen dos tipos de bosques: los tropicales húmedos y los tropicales secos. Las características en cada uno varían por la cantidad y estacionalidad de la precipitación. En México, predominan los bosques tropicales secos, los cuales representan aproximadamente el 60 % del territorio nacional (Guerra, 2020). Estos ecosistemas se desarrollan en clima cálidos, con temperaturas medias anuales superiores a 17°C y las precipitaciones entre 700 a 1800 mm, aunque se ha reportado que pueden abarcar precipitaciones entre 250 a 2000 mm, debido a que el volumen de lluvia puede verse influenciado por factores como la topografía, altitud, los vientos y el tipo de suelo (Saenz-Pedroza et al., 2022).

En México los bosques tropicales secos son conocidos como selva baja caducifolia y ocupan el 11.7 % del territorio nacional. Se distribuyen a lo largo de la costa del Pacífico de México, empezando desde el sur de Sonora y suroeste

de Chihuahua hasta Chiapas, y continúa extendiéndose hasta Centroamérica (CONABIO, 2022). Estos sistemas presentan una alta riqueza y diversidad florística comparado con otras selvas secas del mundo (Castillo-Campos, Dávila-Aranda & Zavala-Hurtado, 2007).

En el estado de Veracruz, la selva baja caducifolia ocupa una superficie de 266,828.16 ha, distribuidas en 70 de los 212 municipios que conforman el estado; entre los principales destaca Actopan, Pánuco, Emiliano Zapata, Coatepec, Tierra Blanca, Tlaltetela, Huatusco, Córdoba y Totutla (SEMARNAT & CONAFOR, 2014). Gran parte de esta vegetación se encuentra fragmentada en pequeños parches compuestos de vegetación original, vegetación secundaria y cultivos (Aquino-Zapata, Carral-Domínguez, Delfín-Alfonso & Carvajal-Hernández, 2025).

## **2.6 Ganadería del trópico seco**

La ganadería que se desarrolla en las regiones tropicales secas se basa principalmente en el uso de pastos como fuente principal de alimento para los animales. Sin embargo, estos presentan limitaciones relacionadas con la baja calidad nutricional del forraje y dependencia de insumos y tecnologías externas (Palma, 2006).

## **2.7 Sistemas Agroforestales**

### **2.7.1 Definición de Agroforestería**

De acuerdo con Nair (1993), la Agroforestería debe cumplir con dos características comunes para considerarla una definición estrictamente científica:

- Deben interactuar de manera secuencial o espacial, en la misma unidad de tierra, el cultivo deliberado de leñosas perennes con cultivos agrícolas y/o animales.
- La interacción entre los componentes leñosos y no leñosos debe ser significativa (positiva y/o negativa), ecológica y/o económica.

De manera similar, una de las definiciones de agroforestería de mayor uso por el ICRAF, menciona que *“son aquellos sistemas y prácticas de uso de la tierra, donde plantas leñosas se siembran deliberadamente con cultivos agrícolas y/o animales en manera espacial o secuencial en una misma superficie”*. Asimismo, deberán existir interacciones entre los componentes leñosos y no leñosos de tipo ecológico y económico (Torquebiau, 1993).

Leigh (2022), menciona que la agroforestería puede definirse como un sistema dinámico de gestión de recursos naturales, basado en la ecología, que al integrar árboles en los sistemas y en el paisaje agrícola, se diversifica y sostiene la producción con el fin de obtener mayores beneficios socioeconómicos y ambientales para los propietarios de la tierra en diferentes niveles.

Este tipo de sistemas presentan un grado de complejidad, debido a la diversidad entre sus componentes, su variación en el tiempo y se obtienen de ellos múltiples productos en diferentes escalas (Silva-Pando & Rozados, 2002).

### **2.7.2 Características de los sistemas agroforestales**

De acuerdo con la revisión de Silva-Pando y Rozados (2002), ellos mencionan las principales características que deben tener estos sistemas:

- El uso deliberado de árboles con cultivos o animales, sobre una misma unidad de superficie, debe ser continuo y mejorado, ya que, de no ser así puede fracasar.
- Estos sistemas permiten adaptarse a cualquier forma de ordenamiento espacial o temporal.
- Las interacciones que se produzcan dentro de los sistemas agroforestales son más complejas. Estas deberán ser significativas (positivas o negativas) entre los componentes leñosos y no leñosos y ser de tipo ecológico como económico.

- Comparado a un monocultivo, ya sea agrícola o forestal, estos sistemas tienen la capacidad de hacer un uso eficiente de los recursos como el agua, nutrientes, luz y el espacio, por la integración de árboles en ellos.
- En el tiempo estos sistemas son estables.
- Para ser efectivo, un sistema agroforestal debe ser estable y sostenible a largo plazo.
- De acuerdo con la diversidad de componentes en el sistema se obtendrán dos o más productos.
- Los sistemas agroforestales presentan ciclos con duración mayores a un año.
- El objetivo de un sistema agroforestal será incrementar la producción y la productividad.
- Deberá ser un sistema aceptado por productores, agricultores y forestales, y susceptible a ser adoptado.

### **2.7.3 Clasificación de los sistemas agroforestales**

Según Nair (1994), la clasificación de los sistemas se basa principalmente en el arreglo temporal y espacial de sus componentes, su importancia, los objetivos de la producción y el contexto económico-social. A partir de ello se distinguen las siguientes bases principales:

- Base estructural: considera la distribución de los componentes, incluyendo el arreglo espacial del componente leñoso, la estratificación vertical y el arreglo temporal de todos los componentes.
- Base funcional: se refiere a la función principal del sistema, determinada en gran medida por el componente leñoso, ya sea de servicio o de protección.

- Base socioeconómica: abarca el nivel de insumos, la escala de manejo y las metas de producción del sistema.
- Base ecológica: contempla las condiciones ambientales y la adaptabilidad ecológica de los sistemas, en distintos contextos, como zonas áridas, semiáridas, tierras altas tropicales y tierras bajas tropicales.

Aunque la clasificación agroforestal puede ser compleja, se puede simplificar a los aspectos estructurales y funcionales, utilizando los factores socioeconómicos y ecológicos para estratificar o agrupar los sistemas agroforestales. La Figura 5, muestra un resumen de la información de estos criterios de clasificación.



Figura 5. Clasificación de los sistemas y prácticas agroforestales (Nair, 1994).

#### **2.7.4 Funciones y beneficios de la Agroforestería**

Los sistemas agroforestales donde se integran especies múltiples tienen potencial de ser más productivos en comparación con sistemas de monocultivo, ya que los árboles pueden capturar y almacenar mayor cantidad de carbono orgánico en el suelo debido a las interacciones subterráneas con las raíces y los nutrientes, además de que mejoran la absorción de agua en el suelo (López, 2022).

##### **Fertilidad del suelo**

El uso de árboles fijadores de nitrógeno dentro de los sistemas agroforestales en regiones tropicales es una práctica común; sin embargo, las especies no fijadoras también contribuyen al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas en los suelos. A través de sus raíces, los árboles pueden capturar nutrientes en horizontes más profundos en el suelo y mediante la hojarasca y otras partes vegetales, los nutrientes retornan al suelo y se eficientiza el reciclaje de nutrientes (Casanova-Lugo et al., 2016).

##### **Biodiversidad**

Estos sistemas crean hábitats diversos para aves, insectos polinizadores y otros microorganismos beneficiosos que mejoran la salud de los ecosistemas (Antonio-Medina, Morales-Rivera, Ramírez-Bribiesca & Paredes-Díaz, 2025). Asimismo, Casanova-Lugo et al. (2016), recopilaron evidencia de distintos arreglos espaciales en sistemas agroforestales, con diferentes niveles de diversidad y riqueza en las especies, destacando la importancia de estos sistemas como refugio de numerosas especies de fauna en regiones tropicales. Funcionando como hábitats adecuados para la vida silvestre, al proporcionar sitios de descanso y alimentación para la fauna y contribuyen con la conservación de la biodiversidad de especies arbóreas.

## Captura de carbono y gases de efecto invernadero

Los sistemas agroforestales son una estrategia para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Contreras-Santos, Martínez-Atencia, Raghavan, López-Rebolledo & Garrido-Pineda, 2021), causada por la deforestación y la agricultura migratoria. Estos sistemas tienen la capacidad de fijar CO<sub>2</sub> como carbono orgánico del suelo, en comparación con las tierras de cultivo o pastizales naturales, debido a la integración de árboles cuyas raíces exploran capas más profundas del suelo mineral. Los aportes de carbono derivado de las raíces constituyen una de las principales fuentes de acumulación de carbono orgánico en horizontes profundos del suelo. Asimismo, la incorporación de diversas especies arbóreas favorece el secuestro del carbono en la biomasa leñosa como en el suelo, aunque la cantidad de carbono fijado varía de acuerdo con la riqueza, el tipo de especies, la densidad y distribución espacial del componente arbóreo dentro de los sistemas agroforestales (Alonso, 2011; Crespo, 2008; López, 2022).

### **2.7.5 Ventajas y desventajas de la agroforestería**

Las interacciones entre los componentes arbóreos, arbustivos, cultivos y animales, dentro de los sistemas silvopastoriles generan múltiples beneficios derivados de las relaciones positivas, lo que contribuye a eficientizar el rendimiento del sistema. Leigh (2022) menciona que los sistemas silvopastoriles tienen la capacidad de generar alimentos y materias primas, y generar oportunidades socioeconómicas para los productores. Asimismo, la incorporación de árboles en la tierra de cultivos favorece el incremento de la fertilidad, promueve asociaciones simbióticas entre plantas y hongos, mejora la capacidad de retención de agua en el suelo y reduce el uso de fertilizantes sintéticos, lo que permite obtener alimentos más limpios y fungen como corredores de vida silvestre, como aves migratorias e insectos polinizadores.

En términos ecológicos, sociales y económicos, se pueden obtener ventajas de los sistemas agroforestales de acuerdo con Román, Mora y González (2016):

- Son una alternativa para reducir la deforestación en zonas tropicales, conservar los suelos y aumentar la fertilidad. Al haber densidades altas de especies leñosas estas incrementan la capacidad de almacenar carbono en el suelo, además de que los arreglos de cercas vivas conectan área fragmentadas y contribuyen como corredores biológicos, siendo un hábitat para la fauna silvestre.
- Estos sistemas promueven el autoconsumo en la unidad familiar, y genera una oportunidad de empleo permanente al tener una producción constante durante el año.
- Al tener diversas especies dentro de los sistemas, estas proveen de diferentes productos como leña, madera, forraje, frutos, postes vivos y productos agropecuarios, etc., incrementando las fuentes de ingreso a los productores.

Aunque los sistemas silvopastoriles tienen numerosas ventajas, también es importante considerar algunos aspectos antes de su establecimiento. Román et al. (2016) señalan que la incorporación de árboles en asociación con cultivos puede generar competencia por nutrientes, espacio, luz y posibles efectos de alelopatía; por lo que es fundamental conocer a las especies y desarrollar un plan de manejo adecuado al componente leñoso. Por otro lado, también se requiere de mano de obra especializada y una inversión inicial considerable, ya que algunos productos derivados del componente arbóreo generan ingresos a mediano y largo plazo. Además, la comercialización y el mercado puede verse limitada por la diversidad de los cultivos. De igual manera, Leigh (2022) menciona que la escasez de políticas de apoyo representa otra limitante, debido a que la integración de la silvicultura con la agricultura no cumple con los requisitos para acceder a subsidios, lo que incrementa la vulnerabilidad de los productores y puede restringirse el acceso al mercado de los productos derivados de estos sistemas.

### **2.7.6 La agroforestería en el trópico seco**

Se distinguen dos tipos de bosques, los húmedos y los secos. Los bosques húmedos se caracterizan por tener una vegetación verde a lo largo del año. Los bosques secos por su parte se localizan en zonas donde la precipitación media anual es de 250 y hasta 2000 mm, la temperatura media anual mínima de 17 °C, y presentan una estación seca que va entre 3 y 8 meses (Guerra, 2020).

La vegetación que se encuentra en estos bosques pertenece a la selva baja caducifolia, y se caracteriza por tener un estrato arbóreo de altura corta entre 4 a 10 m y en algunos casos pueden llegar a los 15 m de altura. Este tipo de selva baja se desarrolla en condiciones climáticas donde predominan climas cálidos subhúmedos, semisecos o sub secos, con una precipitación media anual de 600 a 1200 milímetros, se encuentra principalmente sobre laderas, hasta una altura máxima de 2800 msnm (SEMARNAT & CONAFOR, 2014).

De la Peña-Domene et al. (2022), encontraron evidencia de la implementación de sistemas silvopastoriles en algunos países de Latinoamérica, principalmente en sistemas de producción con cría de ganado bovino. Asimismo, señalan que, en México, ya existen registros de estos sistemas en estados como Chiapas, Michoacán, Tabasco y Veracruz. A partir de ello, se han identificado un conjunto de componentes que conforman un esquema de desarrollo sostenible en zonas tropicales, los cuales pueden integrarse en el diseño de sistemas de ganadería sostenible. Estos componentes incluyen: (I) sistemas de rotación intensiva para la crianza de ganado bovino que incorpora pastos y árboles forrajeros; (II) parcelas con diferentes combinaciones de árboles nativos en plantaciones de restauración; (III) bancos de proteína, que son utilizados comúnmente para la alimentación de los animales en la época de estiaje; y (IV) árboles utilizados para sombra, los cuales reducen el estrés térmico en los animales y se mejoran los resultados productivos.

## **2.8 Sistemas silvopastoriles**

De acuerdo con Musálem (2002) en estos sistemas se combina la presencia de árboles ya sean forestales o frutales con animales, pudiendo haber o no cultivos en la misma superficie, en diferentes contextos, ya sea a gran escala o sistemas más pequeños de subsistencia. La incorporación de árboles en las tierras de pastoreo permite mejorar la productividad, ya que son fuente adicional de alimento para los animales y al mismo tiempo se mejora el rendimiento de los pastos. Estos sistemas mejoran en gran medida la economía a corto y largo plazo ya que se obtiene diversidad de productos.

Los sistemas silvopastoriles integran de manera funcional componentes arbóreos, arbustivos pastizales y animales en interacción con el suelo. Debido a diferentes beneficios ecológicos, económicos, productivos y sociales, estos representan una de las alternativas más relevantes dentro de los sistemas agroforestales (Alonso, 2011).

### **2.8.1 Clasificación de los sistemas silvopastoriles**

Se distinguen diversas combinaciones entre árboles maderables y de uso múltiple que se pueden encontrar dentro de los sistemas silvopastoriles, destacándose los siguientes (Musálem, 2002; Román et al., 2016):

*Árboles dispersos en potreros:* por lo general los árboles utilizados en estos sistemas, pertenecen a la vegetación original, entre ellos árboles maderables, frutales nativos y naturalizados. De esta manera, el alimento para los animales es diverso al obtener hojas, frutos y otras partes del árbol, y no únicamente pasto.

*Pastoreo en plantaciones forestales o frutales:* Se utilizan zonas de bosque tropical caducifolio y subcaducifolio para el establecimiento de sistemas silvopastoriles donde las especies maderables son clave. Por otro lado, el pastoreo en plantaciones forestales con árboles frutales puede combinarse con cultivos durante los primeros años, dando paso a la incorporación de animales

conforme las plantaciones van creciendo; sin embargo, se tiene que realizar un manejo adecuado para evitar que los animales dañen los árboles.

**Cercos vivos:** constituyen un tipo de sistema silvopastoriles, es una práctica para utilizar a los árboles como postes vivos con la finalidad de marcar los límites de un terreno. Estas cercas pueden incluir individuos de una sola especie o multiestratos, aportando forraje, leña o madera, además que contribuyen a mejorar la biodiversidad, proteger la parcela y, al ser especies de usos múltiples, son conservadas por los productores. Existen otras más (bancos forrajeros, pasturas en callejones, barreras vivas, cortinas rompevientos, arboles en linderos).

### **2.8.2 Funciones ecológicas y productivas**

Antonio-Medina et al. (2025) recapituló una serie de investigaciones, en la que destacaron beneficios importantes de los sistemas silvopastoriles, en términos productivos, ambientales y sociales:

- En términos de productividad, contribuyen a mejorar la calidad nutricional del forraje. En este sentido, el incluir especies arbóreas y herbáceas incrementa la eficiencia digestiva y se reduce el estrés térmico en los animales, mejorando su calidad de vida y en un aumento en la productividad de carne y leche en sistemas bajo pastoreo más eficiente.
- En términos ambientales, se ha reportado que los sistemas silvopastoriles reducen la erosión del suelo, mejoran su estructura y favorece la retención de agua, principalmente por acción de las raíces de los árboles. Además, incluir especies leguminosas mejora el ciclo del nitrógeno, incrementando la fertilidad del suelo, sin la necesidad de usar productos externos. También se destacan por crear un hábitat que sirve de refugio para diversas especies de insectos, aves y otros microorganismos benéficos.
- Finalmente, en el aspecto social, los sistemas silvopastoriles favorecen la autonomía productiva de los productores, diversifica las fuentes de

ingreso, se promueve la integración del conocimiento local y se mejoran las condiciones del ambiente de trabajo.

### Servicios ecosistémicos

Existe evidencia de que los sistemas silvopastoriles desempeñan un papel importante en la provisión de servicios ecosistémicos, particularmente en la mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas ganaderos y en la mejora de la calidad del suelo. Contreras-Santos et al. (2021) evidenciaron, en regiones tropicales del bosque seco de Colombia, que estos sistemas contribuyen a incrementar el carbono orgánico del suelo en comparación con praderas cultivadas únicamente con gramíneas. Asimismo, se reportó el aumento con el contenido de materia orgánica y nutrientes como el fósforo y el calcio. Adicionalmente contribuyeron a reducir emisiones de metano y óxido nitroso. Por lo que en conjunto estos resultados evidencian que los sistemas silvopastoriles son una alternativa de manejo sostenible en la ganadería.

Diversos estudios recopilados por Alonso (2011), coinciden que la presencia de árboles y arbustos en los sistemas silvopastoriles incrementan el reciclaje de nutrientes por la incorporación de hojarasca y otros residuos vegetales y, además, se promueven otras funciones de protección al suelo y se disminuyen los efectos directos del sol, el agua y el viento.

### Biodiversidad

Las cercas vivas son tecnologías del sistema silvopastoril que proporcionan sombra y forraje para el ganado, así como vainas y frutos. Este tipo de sistemas proporcionan hábitat hasta para 160 especies de aves, murciélagos, escarabajos y mariposas, y pueden ser catalogados como “corredores de biodiversidad” en áreas de pastoreo. En este contexto, el suelo que se desarrolla debajo de las cercas vivas es poroso, lo que funciona como sumidero de agua de lluvia para el subsuelo (Sánchez, 2021).

### **2.8.3 Sistemas silvopastoriles en el trópico seco de México**

La ganadería bovina que se practica en las regiones tropicales secas de México se asocia a eliminar la vegetación arbórea para el establecimiento de pastos. No obstante, en algunos casos se ha podido mantener la presencia de especies leñosas, particularmente de leguminosas. Éstas, además de fijar nitrógeno, contribuyen al mejoramiento de los suelos y cumplen con más de una función al ser especies multipropósito, sirven como cercos, leña, productos medicinales y alimento. Estas zonas se caracterizan por tener marcada estacionalidad en la producción de pastos, donde la sequía limita la producción de forraje, lo que hace necesario el aprovechamiento de recursos vegetales como árboles y arbustos (Fuentealba & González, 2016).

En las últimas décadas, investigadores y productores han mostrado un creciente interés en el desarrollo de sistemas agroforestales con enfoque pecuario en regiones neotropicales, particularmente con sistemas silvopastoriles, debido a las múltiples combinaciones espaciales y temporales que se pueden establecer entre sus componentes. Estos sistemas se fundamentan en los atributos del componente leñoso, así como en las interacciones entre árboles, cultivos, animales y personas, con el objetivo de mejorar la productividad de los sistemas ganaderos del trópico y favorecer la conservación de los recursos. En México y Latinoamérica, los sistemas más relevantes son aquellos asociados con árboles maderables y/o frutales dispersos en praderas de pastoreo, así como los que utilizan cercos vivos para delimitar los predios (Guevara-Hernández, Arias-Yero, Pinto-Ruíz, Delgado-Ruíz & Venegas-Venegas, 2021).

Por otro lado, se ha reportado en el sureste de México que el uso de prácticas silvopastoriles como cercos vivos y árboles dispersos en potreros, favorecen la acumulación de carbono en la biomasa viva y el suelo. El uso de especies locales dentro de los sistemas proporciona forraje, leña, entre otros productos de los cuales los productores pueden disponer y servicios como sombra, mejora en la fertilidad del suelo, se restauran los ecosistemas y se presentan como una opción

viable en regiones tropicales por su accesibilidad y bajo costo (Alayon-Gamboa et al., 2018).

## **2.9 Ganadería regenerativa**

### **2.9.1 Definición**

Existe gran controversia para conceptualizar a la ganadería regenerativa, debido a que existen diversos enfoques alrededor de esta definición, así como la forma en cómo se interpretan sus beneficios. En la revisión de este término, se identificaron dos corrientes: una de carácter más amplio, que atribuye a impactos en diferentes dimensiones ecológicas, sociales y económicas y otra más delimitada, que la define de una manera más concreta y operativa. En este sentido, se busca un punto medio entre diversas propuestas conceptuales, con el fin de lograr una definición más equilibrada. Bravo-Peña et al. (2024) propuso la siguiente definición:

*Esta definición menciona que “la ganadería regenerativa es un enfoque de manejo del ganado y tierras de pastoreo, que busca imitar los patrones naturales de alimentación y desplazamiento de los ungulados, con el propósito de regenerar los suelos. Este sistema se basa en prácticas de bajo estrés animal, que incluye la rotación planificada del ganado entre diferentes áreas de pastoreo, con altas densidades de animales por periodos breves, seguidos de tiempos de descanso para la recuperación de la vegetación. Los tiempos de rotación, descanso y la carga animal varían según el contexto y se ajustan de acuerdo con el monitoreo constante, que evite el sobrepastoreo, evaluar la salud del suelo, asegurar una adecuada alimentación en el ganado y los animales expresen su comportamiento natural”.*

#### **Principios y fundamentos**

La agricultura regenerativa, tiene el objetivo de mejorar el rendimiento de los cultivos y la producción de alimentos. En este contexto, busca restaurar y revitalizar los ecosistemas agrícolas, al mismo tiempo que aborda

simultáneamente la salud humana, del suelo y del clima. Los principios básicos que este sistema propone son la mitigación al cambio climático, la restauración del suelo, la sostenibilidad económica y la protección de los recursos hídricos. En la Figura 6, se aprecian los principios básicos de la agricultura regenerativa que encaminan a sistemas más sostenibles (López, 2022).

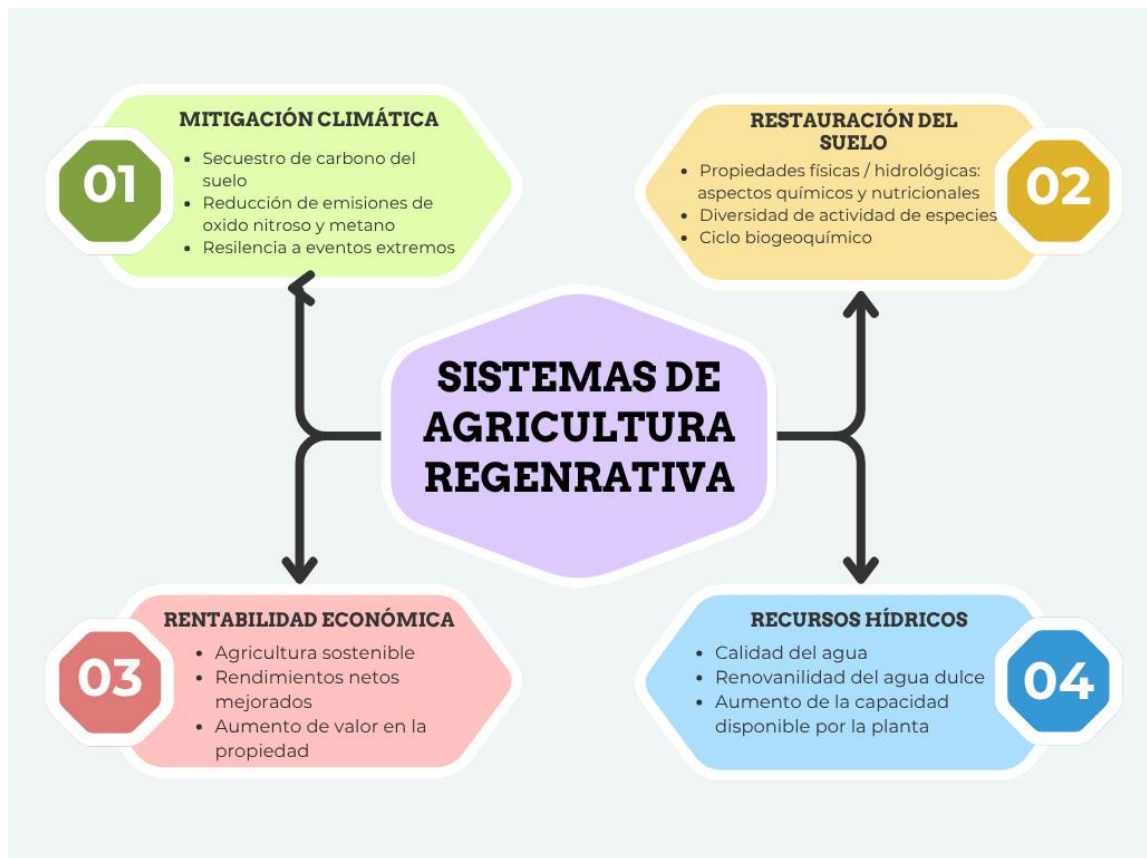


Figura 6. Principios básicos de la agricultura regenerativa que encaminan a sistemas sostenibles (López, 2022).

#### Efectos sobre el suelo

Montes (2025), realizó una revisión sistemática de diversos artículos acerca de las prácticas y efectos de la ganadería regenerativa, particularmente en regiones tropicales, encontrando que técnicas como el pastoreo Visión y el pastoreo de ultra alta densidad junto con sistemas silvopastoriles, producen efectos positivos en el suelo, sobre todo en indicadores clave como la materia orgánica, la

infiltración de agua, mejora la diversidad biológica funcional y el secuestro del carbono.

### Prácticas de manejo

Las prácticas de manejo que se utilizan en la ganadería regenerativa, con un enfoque de restauración de los sistemas son: el pastoreo rotacional, este se distinguen por distribuir un terreno en varias secciones con el fin de realizar una rotación organizada del ganado; la diversificación de forrajes, es la utilización de pastos y plantas leguminosas, para una alimentación más diversa en el ganado; la reducción de agroquímicos, se propone limitar o reducir el uso de productos sintéticos y optar por prácticas más naturales y finalmente los sistemas silvopastoriles son considerados sistemas productivos al integrar árboles, arbustos y pasturas, trae consigo múltiples beneficios al suelo, la biodiversidad, captura de carbono y crean un ambiente propicio a los animales al proporcionar sombra y variedad de alimento (Quintana-Caballero, Navarro-Rueda & Álvarez-Bohórquez, 2025).

## **2.10 Suelo y vegetación en sistemas agroforestales**

### **2.10.1 Importancia del suelo en sistemas silvopastoriles**

Tener un suelo fértil favorece el desarrollo radicular y la disposición de agua y nutrientes para las plantas. No obstante, su mantenimiento se ve afectado por el uso agrícola prolongado, especialmente en regiones tropicales donde los suelos suelen presentar baja fertilidad. A esto se suma que muchos pequeños productores enfrentan limitaciones económicas para mejorar la productividad de sus actividades agropecuarias. En este contexto, es necesario recurrir a alternativas más accesibles que permitan comprender y mejorar los procesos de fertilidad del suelo. La incorporación de árboles representa una opción viable, ya que la agroforestería incluye árboles en los sistemas de producción agrícola para aumentar la fertilidad, mejorar la productividad y la sostenibilidad (Schroth & Sinclair, 2003).

En este sentido, la fertilidad del suelo no debe limitarse únicamente al contenido de nutrientes disponibles, sin descuidar las propiedades físicas y biológicas. La interacción de los suelos y las comunidades vegetales permite que la fertilidad se mantenga en los ecosistemas naturales, mediante la sucesión vegetal a largo plazo. En contraste, el establecimiento de monocultivos provoca la extracción de carbono y nutrientes del sistema suelo – planta. Frente a esto, diversas experiencias en la silvicultura han demostrado que los árboles pueden contribuir a la restauración de la fertilidad del suelo durante los cultivos. En la Figura 7, se resumen algunos de los principales procesos mediante los cuales los árboles mantienen la fertilidad (Young, 1997).



Figura 7. Procesos en los que la presencia de árboles mejora la fertilidad del suelo (Young, 1997).

### 2.10.2 Propiedades del suelo

El suelo puede definirse como la capa superficial de la corteza terrestre expuesta a la intemperie, en él, se incorporan organismos vivos y productos de desecho; está formado principalmente por material base conformado por cimienta inorgánico o esqueleto mineral. Este esqueleto mineral proviene del

desprendimiento de pequeños fragmentos de roca sólida causado por efectos del intemperismo, ya sea mecánico o químico. El suelo es un factor importante para el desarrollo radical de las plantas y su desempeño en el crecimiento de éstas; sus características se ven influenciadas por las condiciones ambientales, así como por las prácticas de manejo que en él se realizan (Daubenmire, 1987).

La fertilidad de un suelo se refiere a la capacidad que tiene para sustentar el desarrollo de plantas útiles, que incluye cultivos, árboles y pastos, donde también influyen determinadas condiciones climáticas y otras propiedades del suelo en su productividad (Young, 1989).

#### **2.10.2.1 Propiedades químicas del suelo**

La presencia de árboles dentro de los sistemas agroforestales influye diversas propiedades químicas en el suelo, entre ellas la reducción de la acidez. Aunque los árboles no disminuyen directamente la acidez del suelo, el proceso de descomposición de la hojarasca proveniente de las leñosas libera bases que contribuyen a contrarrestar la acidificación causada por la fertilización. De manera similar, la agroforestería puede intervenir en procesos relacionados con la salinidad y sodicidad del suelo, ya que los iones de calcio y magnesio, extraídos por las raíces desde capas profundas, pueden ser reincorporados al suelo mediante la descomposición de la hojarasca y reemplaza los iones de sodio (Young, 1997).

Kohli, Singh, Batish y Jose (2008) mencionan que los árboles mejoran las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, mediante los siguientes procesos: la liberación de nutrientes a través de la hojarasca; el uso de árboles fijadores de nitrógeno contribuye al aporte de este nutriente en el suelo; incremento de la actividad biológica, y, por ende, de las asociaciones simbióticas entre hongos y plantas, favoreciendo la disponibilidad de fósforo en el suelo; captura y distribución de nutrientes mediante las raíces de los árboles; así como la reducción de la erosión y pérdida de nutrientes por lixiviación.

#### **2.10.2.2 Propiedades físicas del suelo**

Las prácticas agrícolas y pecuarias intensivas afectan progresivamente las propiedades físicas en los suelos, disminuyendo la productividad. Entre los principales efectos se encuentra la compactación, aumento de la densidad aparente, reducción de la porosidad y disminución gradual del contenido de materia orgánica, lo que impacta negativamente en el rendimiento de pastos y cultivos. Frente a esta problemática, se recurre al uso excesivo de fertilizantes e insumos externos, favoreciendo modelos de manejo poco sostenibles a largo plazo (Murray, Orozco, Hernández, Lemus & Najera, 2014). En este contexto, la agroforestería representa una alternativa debido a que, la presencia de los árboles contribuye al mejoramiento de la estructura del suelo por el aporte de hojarasca, exudados y biomasa radicular, favoreciendo la relación entre la materia orgánica y la densidad aparente. Por lo que, el análisis de las propiedades físicas en los suelos de sistemas agroforestales permite evaluar cambios en su estructura y funcionamiento, aportando conocimiento para el desarrollo de sistemas agrícolas y ganaderos más sostenibles (Murray et al., 2014).

Los sistemas silvopastoriles han sido ampliamente reconocidos por su contribución en la mejora de la salud de suelo. Ocampo, Osorio, Martínez y Cabrera (2023), realizaron un estudio en bosque seco tropical, en Colombia, reportaron que la incorporación de arbustos y leñosas de uso forrajero en sistemas silvopastoriles favorece el incremento de diversos indicadores químicos del suelo, tales como el contenido de materia orgánica, el nitrógeno total, magnesio, boro y la capacidad de intercambio catiónico. Asimismo, mejora la disponibilidad de nutrientes y condiciones químicas más equilibradas en comparación con sistemas de pasturas con gramíneas y cultivo de maíz.

#### **2.10.3 Relación del suelo y la vegetación**

Hernández, Sánchez y Simón (2008), evaluaron sistemas silvopastoriles con 10 años de establecimiento comparado a sistemas con monocultivo, encontrando

que los sistemas con presencia de árboles presentaron concentraciones más altas en el contenido de materia orgánica por lo que son una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo.

## **2.11 Diversidad florística en sistemas silvopastoriles**

Las comunidades vegetales agrupan diferentes especies, las cuales interactúan entre sí, su estudio implica caracterizar cómo están conformadas, su riqueza, diversidad y estructura (Louman, Quirós & Nilsson, 2001).

### **2.11.1 Composición florística**

Por lo anterior, el estudio de la vegetación en especies dominantes puede ser de acuerdo con su fisiografía o composición florística. En la fisionomía se abordan las diferencias de las especies con valores superiores en los parámetros ecológicos (abundancia, densidad y presencia), mientras que, en la composición florística de especies, se establecen conjuntos de especies que desencadenan las maneras de asociarse en patrones o comunidades (Rangel-Ch & Velázquez, 1997).

Existen factores que influyen en la composición florística de los bosques. Entre ellos destacan los factores ambientales como el clima, suelo, topografía y la posición geográfica. Por otro lado, también intervienen los factores biológicos, los cuales están ligados a la dinámica del bosque y ecología de las especies. Estos incluyen el tamaño y frecuencia de los claros, el temperamento de las especies y las fuentes de semilla (Louman et al., 2001).

#### **2.11.1.1 Estructura de la vegetación**

La estructura de una comunidad vegetal refiere a sus características físicas o biológica. La estructura física describe la organización de las especies de acuerdo con su tamaño y forma de vida. En este sentido, la estructura primaria está dominada por árboles de gran tamaño, mientras que la estructura secundaria incluye arbustos, árboles y hierbas secundarias. Además, se consideran las relaciones que se establecen entre las especies y los cambios

temporales que ocurren en las comunidades. En cuanto a la estructura biológica, está comprende la composición y la abundancia de las especies (Krebs, 1985).

#### *Estructura horizontal*

Se refiere a la distribución de las especies arbóreas en un bosque por clase diamétrica. Ésta se ve afectada por las características de suelo y clima, así como por las características de las especies, y si existe algún tipo de disturbio sobre la dinámica del bosque (Louman et al., 2001).

#### *Estructura vertical*

La estructura vertical de un bosque está determinada por la distribución de los organismos en diferentes estratos, incluyendo plantas y animales, en función de su distribución en el perfil del ecosistema. La estructura se ve afectada por las características de las especies que la conforman y condiciones microambientales. De acuerdo con esto, las especies se ubican de acuerdo con el nivel que mejor satisfaga sus necesidades (Louman et al., 2001).

### **2.11.2 Índices de diversidad para evaluar la vegetación**

Las medidas de diversidad consideran dos factores: la riqueza de especies, que se refiere al número de especies y a la uniformidad, también conocida como equitatividad, esto indica en qué medida las especies son abundantes por igual. Las medidas de diversidad de especies se pueden categorizar en tres: índice de riqueza de especies, se refieren al número de especies en una unidad de muestreo definida; índice de abundancia de especies, estos describen la distribución de su abundancia; y los índices correspondientes al último grupo están basados en la abundancia proporcional de especies, los cuales incluyen el índice de Shannon y Simpson, los cuales expresan la riqueza y la uniformidad de manera sencilla (Magurram, 1989).

### *Índice de Shannon-Wiener*

Es uno de los índices más usados y se estima con el logaritmo natural (Ln) o con el logaritmo base 10 (Lg<sub>10</sub>). Este índice utiliza la siguiente fórmula (Mostacedo & Fredericksen, 2000):

$$H' = -\sum [P_i \ln P_i]$$

Donde:

H = índice de Shannon-Wiener

P<sub>i</sub> = Abundancia relativa

Ln = Logaritmo natural

Es un índice que combina dos componentes de la diversidad: uno es el número de individuos y el segundo es la igualdad o desigualdad de la distribución de individuos en las diferentes especies. Un mayor número de especies provoca el aumento en la diversidad de éstas, al igual que si hubiera una distribución uniforme o equitativa entre ellas, sugiere un aumento en la diversidad de las especies medidas (Krebs, 1985).

### *Índice de Simpson*

Es un método utilizado para determinar la diversidad de una comunidad vegetal. Para su cálculo, se utiliza la siguiente fórmula (Mostacedo & Fredericksen, 2000):

$$S = \sum_{i=1} \left[ \frac{n(n-1)}{N(N-1)} \right]$$

Donde:

S = índice de Simpson

n<sub>i</sub> = número de individuos en la *iésima* especie

N = número total de individuos

Este índice fluctúa en valores de 0 a 1, e indica la probabilidad de que dos individuos tomados al azar pertenezcan a la misma especie. Está diseñado para comunidades finitas, donde todos los individuos han sido contados  $n = N$ , donde  $n$  es el número total de individuos en una muestra y  $N$  es el número total de individuos de toda la población (Miranda, 1999).

### *Riqueza*

Se refiere al número de especies o poblaciones que se encuentran en una comunidad determinada. Es el resultado del conteo del número de especies presentes en esa comunidad, sin embargo, este número está influido por el tamaño de las muestras. La creación de índices basados en las relaciones de  $S$  (número de especies) y " $n$ " depende del número de individuos colectados (Miranda, 1999).

### *Abundancia relativa*

Se refiere a la proporción que representa cada especie dentro del total de una comunidad. Este parámetro es un atributo clave para la caracterización de las comunidades (Krebs, 1985).

### *Densidad*

Se refiere al número de especies por un área determinada (Magurran, 1989).

### *Índice de Similitud*

Es un índice basado únicamente en la presencia de especies. Donde dos comunidades " $a$ " y " $b$ " y el número de especies de cada una, tienen conjuntamente un " $c$ " número de especies. Está representada por la siguiente fórmula (Krebs, 1985):

$$\text{índice de similitud} = \frac{2c}{a+b}$$

Este índice varía entre 0 a 1 y se utiliza para mediar el grado de similitud en la distribución, desde la disimilitud total hasta la semejanza completa.

#### *Índice de valor de importancia (IVI)*

Este valor muestra la importancia ecológica relativa de cada especie en una comunidad. Para obtener este valor es necesario transformar los datos de dominancia, frecuencia y abundancia en valores relativos (Mostacedo & Fredericksen, 2000). Se calcula de la siguiente manera (Villavicencio-Enríquez & Valdéz-Hernández, 2003):

$$IVI = \text{densidad relativa} + \text{dominancia relativa} + \text{frecuencia relativa}$$

Donde la densidad relativa se obtiene mediante:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{densidad por especie}}{\text{densidad de todas las especies}} * 100$$

La dominancia relativa se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{dominancia por especie}}{\text{dominancia de todas las especies}} * 100$$

Y la frecuencia relativa se obtuvo de:

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{frecuencia por especie}}{\text{frecuencia de todas las especies}} * 100$$

#### **2.11.3 Parámetros para medir la vegetación**

Mostacedo y Fredericksen (2000), presentan algunos de los parámetros más importantes para medir las comunidades vegetales, y se describen a continuación:

- **Altura:** es uno de los indicadores principales; sin embargo, el interés en ésta es bajo diferentes contextos y puede ser medida de forma cualitativa o cuantitativa. Existen diversos instrumentos para determinar la altura de

un árbol como el hipsómetro Christen, el clisímetro, la pistola Haga y el clinómetro Suunto.

- **Diámetro:** este parámetro se mide a una altura de 1.3 m de la superficie del suelo (DAP= diámetro a la altura de pecho), utilizando una cinta diamétrica. Es uno de los parámetros más utilizados en ecología vegetal. Determina la longitud de la recta que pasa por el centro del círculo y termina en los puntos en que toca la circunferencia.
- **Densidad:** corresponde al número de individuos en un área determinada.
- **Frecuencia:** describe la ocurrencia de un atributo en las unidades muestrales y se expresa en porcentaje.
- **Cobertura:** se utiliza para determinar la dominancia de las especies.
- **Área basal:** es la superficie de una sección transversal del tallo o tronco de un árbol a una determinada altura del suelo. Su cálculo es mediante la siguiente fórmula:  $\text{área basal} = \pi(D^2 / 4)$ , donde “ $\pi$ ” representa 3.1416 y “D” es el diámetro a la altura al pecho.

## 2.12 Literatura citada

- Alayon-Gamboa, J. A., Jiménez-Ferrer, G., Nahed-Toral, J., & Villanueva-López, G. (2018). *Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México*. *Agro Productividad*, 9(9), 10-15. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/809/673>
- Alcudia-Aguilar, A., Villanueva-López, G., Alayón-Gamboa, J. A., Nahed-Toral, J., Aryal, D. R., Casanova-Lugo, F., Ayala-Montejo, D., Martínez-Zurimendi, P., Jiménez-Ferrer, G., De la Cruz-López, C. A., & Medrano-Pérez, O. R. (2024). *Plant species richness in agroforestry systems correlates to soil fertility in the humid tropic of Mexico*. *Agroforestry Systems*, 98(4), 891-909. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00961-4>
- Alonso, J. (2011). *Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 107-115. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022245001.pdf>
- Ángel-Hernández, A., García-Munguía, C. A., Aguilar-Urquiza, E., García-Munguía, A. M., Lemus-Flores, C., & Morales-Flores, S. (2024). *Sistemas silvopastoriles y las condiciones para su establecimiento*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 11(2), 158-171. <https://doi.org/10.60158/rma.v11i2.425>
- Antonio-Medina, A., Morales-Rivera, A., Ramírez-Bribiesca, J. E., & Paredes-Díaz, D. (2025). *Caracterización de sistemas silvopastoriles como estrategias de gestión sostenible*. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 33(3), 123-135. <https://doi.org/10.53588/alpa.330301>
- Aquino-Zapata, A. M., Carral-Domínguez, J. R., Delfín-Alfonso, C. A., & Carvajal-Hernández, C. I. (2025). *Riqueza y estructura de vegetación leñosa en selva baja caducifolia con diferentes grados de perturbación en el sureste de México*. *Botanical Sciences*, 104(1), 242-256. <https://doi.org/10.17129/botsci.3765>
- Bravo-Peña, F., Toro-Letelier, J. J., Alvial Cabrera, N., Hargreaves Méndez, M., & Alfaro Rojas, C. (2024). *Ganadería regenerativa Definición, caracterización y recomendaciones de políticas*. En CEPAL (LC/TS.2024/134). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/490116fd-3d06-47cf-9f98-213e717d2d82/content>

- Caamal-Catzin, J. I., Rosales-Martínez, V., Bautista-Ortega, J., Soto-Barajas, M. C., & Fraire-Cordero, S. (2025). *Calidad física y química del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México*. TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas, 28, 1-8. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2025.745>
- Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Parsons, D., Caamal-Maldonado, A., Piñeiro-Vázquez, A. T., & Díaz-Echeverría, V. (2016). *Servicios ambientales de los sistemas agroforestales tropicales*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente (En Línea) /Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 22(3), 269-284. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.029>
- Castillo-Campos, G., Dávila-Aranda, P., & Zavala-Hurtado, J. A. (2007). *La selva baja caducifolia en una corriente de lava volcánica en el centro de veracruz: lista florística de la flora vascular*. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 80. <https://www.redalyc.org/pdf/577/57780008.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [(CONABIO)]. (2022, 27 enero). *Selvas secas*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/>. Recuperado 5 de febrero de 2026, de <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaSeca>
- Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Raghavan, B., López-Rebolledo, L., & Garrido-Pineda, J. (2021). *Sistemas silvopastoriles: mitigación de gases de efecto invernadero, bosque seco tropical - Colombia*. Agronomía Mesoamericana, 32(3), 901-919. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.43313>
- 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. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193015490001.pdf>
- Daubenmire, R. F. (1987). *Ecología vegetal- Tratado de Autoecología de plantas* (3.a ed.). LIMUSA.
- De La Cruz, López, C. A. (2024). *El cambio climático y la ganadería en México*. Elementos, 135, 135-139. <https://www.ecosur.mx/wp-content/uploads/2024/08/El-cambio-climatico-y-la-ganaderia-en-Mexico.pdf>
- De la Peña-Domene, M., Ayestarán-Hernández, L. M., Márquez-Torres, J. F., Martínez-Monroy, F., Rivas-Alonso, E., Carrasco-Carballido, P. V., Pérez-Cruz, M. N., Landa, F. A. C., & Martínez-Garza, C. (2022a). *Sistemas silvopastoriles enriquecidos: una propuesta para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas*,

- Fuentealba, B., & González Esquivel, C. (2016). Sistemas silvopastoriles tradicionales en México. En *Etnoagroforestería en México* (1.a ed., pp. 239-262). A. I. Moreno Calles, A. Casas, V. M. Toledo & M. Vallejo Ramos. <https://doi.org/10.22201/enesmorelia.9786070286414e.2016>
- Fuentes-Hernández, A., Mendoza-Orozco, M., Ríos-Casanova, L., Soler-Aburto, A., Muñoz-Iniestra, D., & Godínez-Álvarez, H. (2019). *Impacto de la agricultura y ganadería sobre el bosque tropical seco de Zirándaro, Guerrero: una evaluación con indicadores ecológicos*. Botanical Sciences, 97(2), 148-154. <https://doi.org/10.17129/botsci.2043>
- Guerra, Martínez, F. (2020). *Los bosques tropicales secos del futuro*. Elementos, 27(120), 25-29. [https://paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/6471/Publica\\_2023\\_0930074400.pdf](https://paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/6471/Publica_2023_0930074400.pdf)
- Guevara-Hernández, F., Arias-Yero, I., Pinto-Ruíz, R., Delgado-Ruíz, F., & Venegas-Venegas, J. A. (2021). Marco conceptual para la adopción como eje central de la innovación tecnológica. En *Adopción de Sistemas Silvopastoriles en el trópico mexicano: elementos teórico - prácticos* (1.a ed., pp. 2-15). Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México.
- Hernández, Chávez, M., Sánchez Cárdenas, S., & Simón Guelmes, L. (2008). *Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica*. Zootecnia Tropical, 26(3), 319-321. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-72692008000300035](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000300035)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). El Censo Agropecuario 2022. Resultados definitivos. En INEGI. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022\\_rdnal.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdnal.pdf)
- Kohli, R. K., Singh, H. P., Batish, D. R., & Jose, S. (2008). Ecological interactions in agroforestry: An overview. En D. R. Batish, R. K. Kohli, S. Jose, & H. P. Singh (Eds.), *Ecological basis of agroforestry* (pp. 3–14). CRC Press Taylor & Francis Group.
- Krebs, C. J. (1985). *Ecología - Estudio de la distribución y la abundancia* (2.a ed.). Harla, S.A. de C.V.
- Leigh, Xaviera, (2022). *Agroforestry*. Excelic Press Estados Unidos de America.

- Louman, B., Quirós, D., & Nilsson, M. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Latina* (Serie técnica. Manual técnico/CATIE No. 46). CATIE.
- López, Bellido, L. (2022). *Agricultura y secuestro de carbono. Potencial de mitigación del cambio climático* (1.a ed.). Editorial Acirbia, S.A.
- Miranda, Rangel, A. (1999). *Biodiversidad Factores que la afectan en la Biósfera e Índices de diversidad* (1.a ed.). Universidad Autónoma Chapingo.
- Magurran, A. E. (1989). *Diversidad ecológica y su medición*. (1.a ed.). Ediciones Veda.
- Murray, R. M., Orozco, M. G., Hernández, A., Lemus, C., & Nájera, O. (2014). *El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo*. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 18(1), 23-31.  
<https://doaj.org/article/f2b1812e5df241f78d083a0338dd53d5>
- Musálem, M. Á. (2002). *Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(2), 91-100.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62980201>
- Montes, Valencia, J. A. (2025). *Revisión de Prácticas y Métricas Clave para la Eficiencia Ecológica y Productiva en Sistemas Ganaderos Regenerativos Sostenibles*. *Ciencia y Reflexión: Revista Científica Multidisciplinaria*, 4(2), 2201-2217. <https://doi.org/10.70747/cr.v4i2.373>
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000a). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal* (BOLFOR).  
<https://es.scribd.com/doc/118738059/Manual-de-Metodos-Basicos-de-Muestreo-y-Analisis-en-Ecologia-Vegetal>
- Nair, P. K. R. (1994). Clasificación de sistemas agroforestales. En L. Krishnamurthy (Ed.), *Lecturas básicas: Curso internacional de entrenamiento en agroforestería para el desarrollo sostenible*. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo.
- Nair, P. K. R. (1993). *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Ocampo, L. E., Osorio, W., Martínez, J., & Cabrera, K. R. (2023). *Indicadores químicos de la salud del suelo en sistemas silvopastoriles, bosque de restauración y cultivo de maíz en un bosque seco tropical*. *Tropical*

- Grasslands - Forrajes Tropicales, 11(3), 220-232.  
[https://doi.org/10.17138/tgft\(11\)220-232](https://doi.org/10.17138/tgft(11)220-232)
- Palma, J. M. (2006). *Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano*. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 14(3), 95-104.  
[https://www.researchgate.net/profile/Jose-Palma-6/publication/27799906\\_Silvopastoral\\_system\\_in\\_the\\_dry\\_tropics\\_of\\_Mexico/links/57b5c0a708aeaab2a104ea4a/Silvopastoral-system-in-the-dry-tropics-of-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jose-Palma-6/publication/27799906_Silvopastoral_system_in_the_dry_tropics_of_Mexico/links/57b5c0a708aeaab2a104ea4a/Silvopastoral-system-in-the-dry-tropics-of-Mexico.pdf)
- Palma, García, J. M. (2014). *Escenarios de sistemas de producción de carne de bovino en México*. Avances En Investigación Agropecuaria, 18(1), 53-62.  
<https://www.redalyc.org/journal/837/83735726004/html/>
- Parra-Cortés, R. I., & Magaña-Magaña, M. Á. (2019). *Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina basados en razas criollas introducidas en México*. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 6(18), 535-547. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2160>
- Pérez, Espejo, R. (2008). *El lado oscuro de la ganadería*. Problemas del Desarrollo, 39(154), 217-227.  
<https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2008.154.7734>
- Quintana-Caballero, Y. D., Navarro-Rueda, J. L., & Álvarez-Bohórquez, H. A. (2025, octubre). *Ganadería con enfoque regenerativo*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/396329075\\_Ganaderia\\_con\\_enfoque\\_regenerativo\\_Livestock\\_farming\\_with\\_a\\_regenerative\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/396329075_Ganaderia_con_enfoque_regenerativo_Livestock_farming_with_a_regenerative_approach)
- Rangel-Ch, J. O., & Velázquez, A. (1997). *Métodos de estudio de la vegetación*. En J. O. Rangel-Ch., P. D. Lowy Cerón, & M. Aguilar Puentes (Eds.), *Colombia diversidad biótica II: tipos de vegetación en Colombia* (pp. 59-88). Universidad Nacional de Colombia.  
[https://www.researchgate.net/publication/339510090\\_METODOS\\_DE\\_ESTUDIO\\_DE\\_LA\\_VEGETACION](https://www.researchgate.net/publication/339510090_METODOS_DE_ESTUDIO_DE_LA_VEGETACION)
- Rojas-Sandoval, L. A., Albarran-Portillo, B., Mondragón -Ancelmo, J., Martínez-García, C. G., & García-Martínez, A. (2024). *La ganadería doble propósito en trópico seco: diversidad de unidades de producción y orientación productiva*. Tropical And Subtropical Agroecosystems, 27(2).  
<https://doi.org/10.56369/tsaes.5459>
- Román, Miranda, M. L., Mora Santacruz, A., & González Cueva, G. A. (2016). *Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable, en el trópico seco de México*. Avances En Investigación Agropecuaria, 20(2), 53-72.  
<https://www.redalyc.org/journal/837/83754343006/83754343006.pdf>

- Saenz-Pedroza, I., Ramírez-Díaz, C. J., Manjarrez, J., & Cepeda-Gómez, C. (2022, 13 enero). *Bosque tropical seco: entre lluvias, secas y humanos*. Herbario CICY. [https://www.cicy.mx/Sitios/Desde\\_Herbario/](https://www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/)
- Sánchez, San Martín, P. A. (2021). *Suelos del trópico: características y manejo* (2.a ed.). Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] & Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2014). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos - Veracruz Ignacio de la Llave* (1.a ed.). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2025, 12 agosto). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON NG) [Software]*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/documentos/siacon-ng-161430>
- Silva-Olaya, A. M., Olaya-Montes, A., Polanía-Hincapié, K. L., Cherubin, M. R., Duran-Bautista, E. H., & Ortiz-Morea, F. A. (2021). *Los Sistemas Silvopastoriles mejoran la salud del suelo en la región Amazónica*. Sustainability, 14(1). <https://doi.org/10.3390/su14010320>
- Silva-Pando, F. J., & Rozados Lorenzo, M. J. (2002). *Agroforestería, prácticas agroforestales, uso múltiple: una definición un concepto*. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 14, 9-22. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.12.003>
- Schroth, G., & Sinclair, F. L. (2003). *Trees, crops and soil fertility: Concepts and research methods*. CABI Publishing.
- Torquebiuau, E. (1993). Conceptos de agroforestería: una introducción. En L. Krishnamurthy (Ed), *Lecturas básicas del curso internacional de Entrenamiento en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible* (Vol. 1). Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenibles de la Universidad Autónoma Chapingo.
- Vilaboa, Arroniz, J., & Díaz, Rivera, P. (2009). *Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México*. Zootecnia Tropical, 27(4), 427-436. <http://hdl.handle.net/1807/64405>
- Villavicencio-Enríquez, L., & Valdéz-Hernández, J. I. (2003). *Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en san miguel, Veracruz, México*. Agrociencia, 37(4), 413-423. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30237410.pdf>
- Young, A. (1989). *Agroforestry for Soil Conservation*. (1.a ed.). CAB International.

Young, A. (1997). *Agroforestry for soil management*. (2nd. Ed.). CAB International.

### 3. ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD DEL ESTRATO LEÑOSO EN SISTEMAS DE GANADERÍA CONVENCIONAL Y REGENERATIVA DEL TRÓPICO SECO

#### 3.1 Resumen

Los sistemas silvopastoriles son una alternativa dentro de la ganadería regenerativa: aumentan la productividad, reducen la degradación del suelo y favorecen la restauración ecológica. El objetivo de este estudio fue caracterizar la estructura, composición florística y diversidad de la vegetación leñosa en sistemas de ganadería con manejo convencional (SGC) y regenerativo (SGR) en condiciones de trópico seco. En el área de estudio se establecieron 28 cuadrantes de 2500 m<sup>2</sup> en SGC y SCR, respectivamente; se registraron las especies arbóreas (DAP  $\geq$  5cm) y arbustivas presentes y se evaluaron variables dasométricas, se estimaron índices de valor de importancia (IVI), diversidad (Shannon), riqueza (Jackknife 1) y similitud (Jaccard). En el estrato arbóreo se registraron 32 especies de 18 familias botánicas y un total de 1961 individuos. Las familias botánicas con mayor riqueza fueron: Fabacea (21.87 %) y Malvaceae (9.87 %). El SGR presentó los mayores índices de riqueza observada ( $8.00 \pm 2.67$ ), diversidad ( $H' = 2.80 \pm 0.20$ ) y densidad (232.57 individuos ha<sup>-1</sup>), mientras que el SGC mostró individuos de mayor tamaño (DAP:  $37.63 \pm 5.38$  cm; área de copa:  $113.39 \pm 129.36$  m<sup>2</sup>). La especie dominante fue *Guazuma ulmifolia* con el mayor IVI en ambos sistemas (SGC=51.19 %; SGR = 68.74 %). El estrato arbustivo, registró 12 especies, 7 familias y 9 073 individuos; el índice de diversidad presentó diferencia estadística a favor del SGC ( $H' = 2.17 \pm 0.10$ ). Los resultados indican que los sistemas silvopastoriles con manejo regenerativo favorecen la mayor diversidad, abundancia y regeneración en la vegetación leñosa, mientras que el sistema de ganadería convencional presenta una estructura arbórea más desarrollada.

**Palabras clave:** estructura arbórea, sistemas silvopastoriles, índices de diversidad.

---

Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Ing. Ana Laura Cornelio Rodríguez

Director: Dr. Alejandro Lara Bueno

### 3.2 Abstract

Silvopastoral systems are an alternative within regenerative livestock farming, as they increase productivity, reduce soil degradation, and promote ecological restoration. The aim of this study was to characterize the structure, floristic composition, and diversity of woody vegetation in livestock systems under conventional management (CMS) and regenerative management (RMS) under tropical dry forest conditions. In the study area, 28 plots of 2,500 m<sup>2</sup> were established in CMS and RMS, respectively. Tree species (DBH  $\geq$  5 cm) and shrub species were recorded, dasometric variables were evaluated, and importance value indices (IVI), diversity (Shannon), richness (Jackknife 1), and similarity (Jaccard) indices were estimated. In the tree stratum, 32 species belonging to 18 botanical families and a total of 1,961 individuals were recorded. The botanical families with the highest richness were Fabaceae (21.87%) and Malvaceae (9.87%). RMS showed the highest observed richness ( $8.00 \pm 2.67$ ), diversity ( $H' = 2.80 \pm 0.20$ ), and density ( $232.57 \text{ individuals ha}^{-1}$ ), whereas CMS presented larger individuals (DBH:  $37.63 \pm 5.38 \text{ cm}$ ; crown area:  $113.39 \pm 129.36 \text{ m}^2$ ). The dominant species was *Guazuma ulmifolia*, which exhibited the highest IVI in both systems (CMS = 51.19%; RMS = 68.74%). In the shrub stratum, 12 species, 7 families, and 9,073 individuals were recorded; the diversity index showed a statistically significant difference in favor of CMS ( $H' = 2.17 \pm 0.10$ ). The results indicate that silvopastoral systems under regenerative management promote greater diversity, abundance, and regeneration of woody vegetation, whereas conventional livestock systems exhibit a more developed tree structure.

**Keywords:** tree structure, silvopastoral systems, diversity indices.

### **3.3 Introducción**

La ganadería en México es una de las principales actividades productivas, favorecida por una amplia diversidad de climas, especialmente en regiones tropicales, donde predominan sistemas de pastoreo extensivo con disponibilidad de recursos como suelo, agua y vegetación arbórea, arbustiva y herbácea (Parra-Cortés & Magaña-Magaña, 2019; Livas, 2014; Rojas-Sandoval et al., 2024). En este sentido los sistemas de producción de ganado en México son diversos y abarcan esquemas altamente tecnificados hasta los de traspatio o tradicionales, diferenciándose por el nivel de tecnología utilizado, las razas empleadas, el tipo de alimentación y la finalidad zootécnica, lo que permite clasificarlos en sistemas especializados, semi – especializados, doble propósito y tradicionales (Vilaboa & Díaz, 2009).

En las últimas décadas, la producción de carne de res y leche a nivel nacional y mundial, han mostrado tendencias crecientes, impulsadas por el aumento de la población y consumo. Se estima que para los años 2050 y 2100, la población de México alcanzará los 151.15 y 141.51 millones de habitantes, lo que implicará un incremento en la demanda de productos ganaderos en los próximos años. Para ello, será necesario incorporar más recursos naturales en los procesos productivos o cambios tecnológicos, considerando además los retos que el cambio climático impondrá en los sistemas productivos (Basurto, Galindo & Ríos, 2023).

La capacidad de los ecosistemas para producir alimentos y mantener los recursos forestales ha sido sometida a una fuerte presión, particularmente en regiones tropicales, debido a la expansión ganadera que ha provocado deforestación de grandes superficies y la fragmentación de diferentes paisajes, lo que ha alterado su estructura, funcionamiento y provisión de servicios ecosistémicos (De la Peña-Domene et al., 2022; Fuentes-Hernández et al., 2019;). Las variaciones en precipitación y temperaturas por efectos del cambio climático afectan directamente la disponibilidad y calidad del forraje, así como la salud y productividad del ganado; otros factores como la disponibilidad de agua,

la biodiversidad dentro de los sistemas, además de la salud animal como humana (De la Cruz, 2024; Alayon-Gamboa et al., 2018).

Ante estos escenarios, los sistemas agroforestales, y en particular los sistemas silvopastoriles, se han propuesto como una alternativa para la reconversión de la ganadería convencional. Estos sistemas involucran especies arbustivas y arbóreas que interactúan con pastos y animales en una misma unidad productiva, favoreciendo la productividad de la tierra a largo plazo, disminuyendo los efectos provocados por el estrés climático en los animales y ofreciendo diferentes servicios ambientales (Zapata, Bautista & Astier, 2009). Estos sistemas agroforestales se han consolidado como un enfoque dentro de la ganadería regenerativa, al promover sinergias ecológicas que contribuyen a mejorar la fertilidad del suelo, incrementar la biodiversidad y la captura de carbono. La ganadería regenerativa ha cobrado relevancia como un modelo alternativo para la producción orientado a mantener la productividad mientras reduce la degradación ambiental y favorece la restauración de los ecosistemas (Bravo-Peña et al., 2024).

En estos sistemas, el componente arbóreo desempeña un papel fundamental, ya que las especies nativas ofrecen múltiples beneficios como la producción de madera, leña, alimento, medicina tradicional y también brindan servicios como sombra, mejoran la fertilidad de los suelos y sirven como corredores biológicos. Estas características posicionan a este tipo de sistemas como una estrategia clave para mitigar los impactos del cambio climático y mejorar la producción ganadera (Alayon-Gamboa et al., 2018).

A pesar de la importancia de los sistemas agro y silvopastoriles aun hace falta generar más información sobre la diversidad, estructura y distribución de las especies leñosas en estos sistemas, particularmente en diferentes contextos de manejo, para comprender su papel en la conservación de la biodiversidad y en la sostenibilidad productiva (Ramírez et al., 2011). Conocer la composición botánica de los sistemas ganaderos se vuelve fundamental, ya que es un indicador clave que influye en la productividad de los sistemas silvopastoriles, y su dinámica en

el tiempo, lo cual está sumamente ligada con prácticas de manejo como la selección adecuada de las especies, el control de sombra mediante la poda, y el manejo de la carga animal (Alonso, 2011).

La caracterización de los sistemas silvopastoriles permite obtener información relevante en la toma de decisiones y es una herramienta eficiente para la gestión sostenible de las unidades productivas cuando integran una multifuncionalidad entre árboles, forraje y ganado (Bautista-Tolentino et al., 2011; Antonio-Medina et al., 2025).

En este contexto, el objetivo del presente estudio es caracterizar la estructura, composición florística y diversidad de la vegetación arbórea y arbustivas en sistemas de manejo de ganadería convencional y regenerativo, mediante variables dasométricas, y estimadores de riqueza, abundancia, diversidad y disimilitud.

### **3.4 Materiales y métodos**

#### **3.4.1 Área de estudio**

El área de estudio se encuentra en el municipio de Tierra Blanca en el Estado de Veracruz, ubicado geográficamente entre los paralelos 18° 26' 51" latitud norte y en el meridiano 95° 21' 37" longitud oeste, a una altitud de 58 msnm (INEGI, 2022). Los climas que predominan en este municipio es el cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw2) (91.17 %) y el cálido subhúmedo con lluvias en verano con humedad media (Aw1) (8.58 %). La temperatura media anual es de 24 – 26 °C y una precipitación de 1400 a 2100 mm. Los suelos que predominan son vertisoles (91.71 %) y Phaeozem (6. 75 %). Predomina un relieve de llanura (97 %) con topografía plana y pendientes suaves (< 2 %) (INEGI, 2010). El tipo de vegetación que corresponde es el Bosque Tropical Perennifolio (BTP) y Bosque Tropical Caducifolio (BTC) (Ramírez & Ramírez, 2009) y vegetación secundaria (Vázquez, 2025).

**Sitio experimental.** Sitio experimental. La investigación se llevó a cabo en un predio cercano a la cabecera municipal de Tierra Blanca, Veracruz, ubicado sobre la carretera Federal 145 La Tinaja – Tierra Blanca, entre las localidades de “El Amate”, “La Serenilla” y “Paso Nuevo”, su ubicación geográfica corresponde a las coordenadas 18° 33′ 8.21” latitud norte y 96° 22′ 50.92” longitud oeste, con una altitud de 50.3 msnm. El predio tiene una superficie de 25 ha, se encuentra en una zona de transición climática entre los climas cálido subhúmedo (Aw2) y cálido subhúmedo (Aw1) (Figura 8).

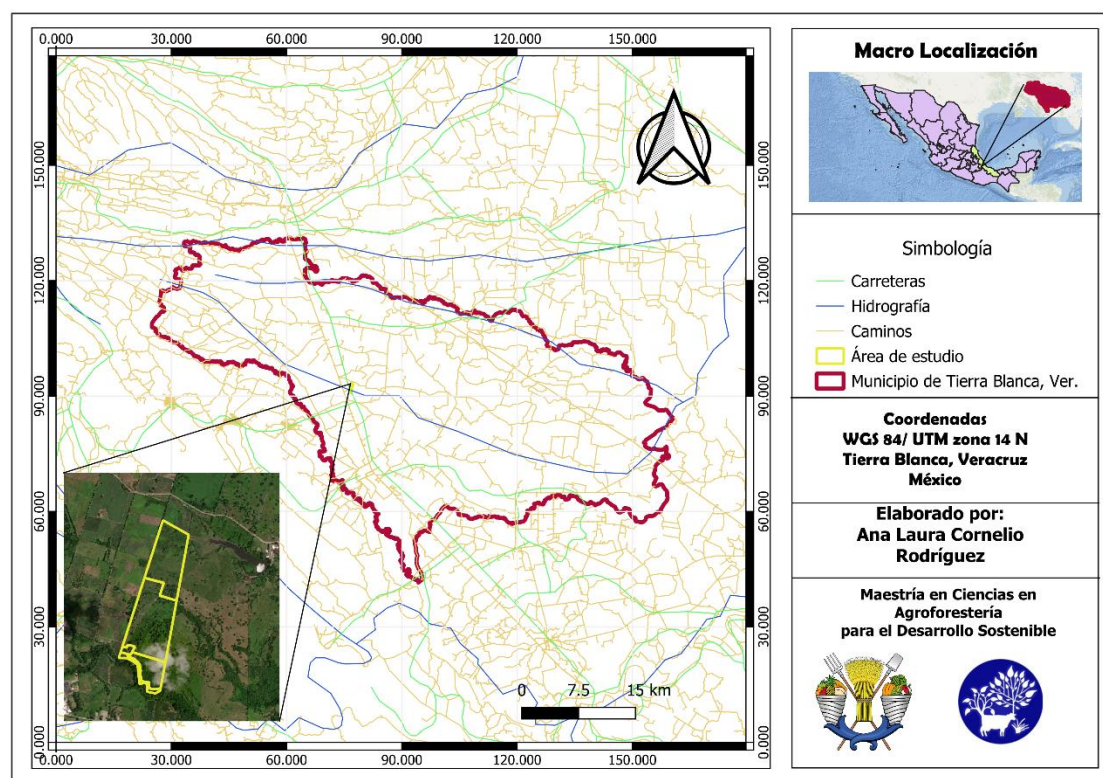


Figura 8. Localización del área de estudio en el municipio de Tierra Blanca, Veracruz.

### 3.4.2 Sistemas evaluados

Se seleccionaron dos sistemas productivos: el sistema de ganadería con manejo convencional (SGC), con una superficie de 8.6 ha y el sistema de ganadería con manejo regenerativo (SGR), con una superficie de 8.02 ha.

Ambos sistemas se diferencian por el manejo implementado en los últimos años. El SGC se caracteriza por mantener baja cobertura arbórea por más de 20 años, el uso de herbicidas para reducir la competencia con gramíneas y control mecánico de arvenses. En el SGR desde hace ocho años se realizan actividades enfocadas en la regeneración natural de los árboles mediado por la selección de especies de mayor importancia para el productor y el ganado.

En los SGC y SGR se tienen tecnologías silvopastoriles de árboles dispersos en potreros y cercos vivos, con árboles forrajeros, maderables y frutales correspondiente a la vegetación original y secundaria de la selva baja caducifolia.

En la superficie total de ambos sistemas, el ganado se mantiene a libre pastoreo, con un aproximado de 18 cabezas, representadas principalmente por las razas cebuina y pardo suizo. El sistema de producción es de doble propósito, orientado a la obtención de leche y pie de cría.

### **3.4.3 Diseño y selección de los sitios de muestreo**

Las áreas delimitadas se dividieron mediante un muestreo sistemático, en cuadrantes de 50 x 50 m (2500 m<sup>2</sup>). Se consideraron únicamente los cuadrantes que conservaron al menos el 75 % de su superficie, obteniéndose un total de 28 cuadrantes por sistema de manejo. Los puntos de muestreo se establecieron en el centro de cada cuadrante utilizando la herramienta centroides de polígonos en el software QGIS (Figura 9). Los archivos generados fueron exportados a formatos KML y PDF, y se integraron en una aplicación móvil Avenza Maps, lo que permitió su localización precisa en el trabajo de campo.

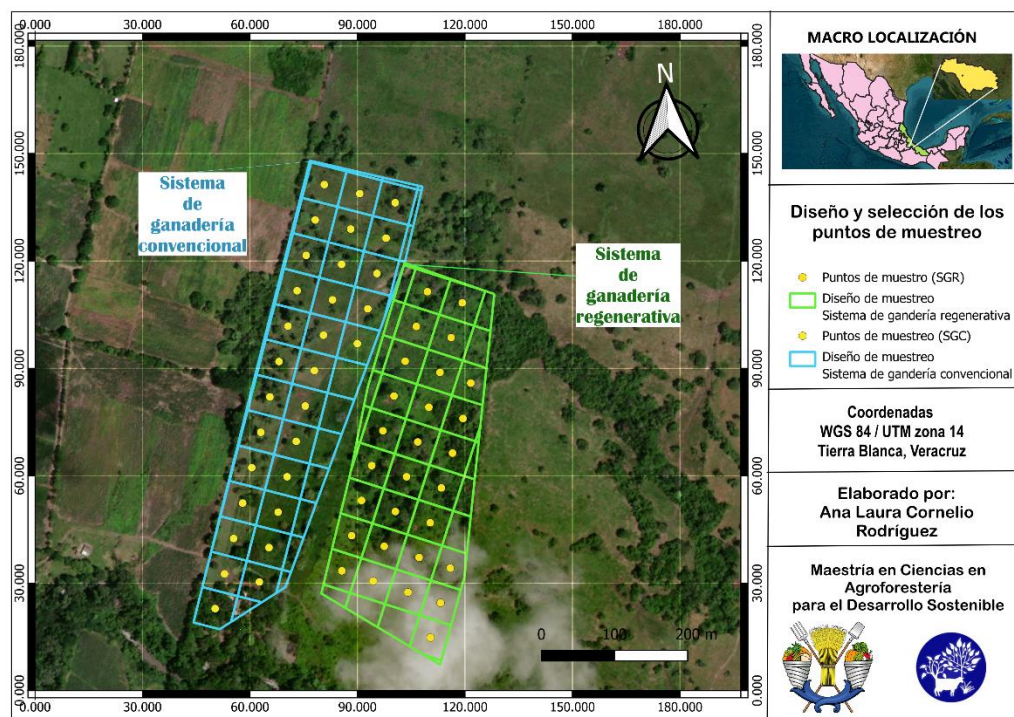


Figura 9. Diseño y puntos de muestreo de los sistemas de manejo de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR).

### 3.4.4 Muestreo de las especies arbóreas

El muestreo de las especies arbóreas se realizó mediante el método de punto centro cuadrado. Este método consiste en establecer un punto de muestreo sobre una línea previamente definida y se divide mediante dos ejes perpendiculares, formando cuatro cuadrantes. En cada cuadrante se identificó el individuo arbóreo más cercano al punto central ( $DAP \geq 5 \text{ cm}$ ) y se registró la distancia y otras mediciones pertinentes (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

En este estudio, la línea fue trazada con ayuda de un GPS, siguiendo la orientación a Norte – Sur y Este – Oeste. Los cuatro árboles más cercanos al punto central se les midieron variables dasométricas y estructurales. Las variables medidas o estimadas fueron: altura, diámetro a la altura de pecho, altura del fuste limpio, número de ramas, cobertura, área basal, área de copa y densidad de individuos.

### 3.4.5 Muestreo de especies arbustivas

El muestreo de la vegetación arbustiva se realizó tomando como referencia el punto central de cada cuadrante, dividiendo en cuatro subcuadrantes, donde se registraron todas las especies arbustivas y el número total de individuos de cada especie presente. Este procedimiento se aplicó en todos los cuadrantes de ambos sistemas de manejo.

## 3.5 Caracterización de la estructura vegetal leñosa

### 3.5.1 Estrato leñoso

En los individuos arbóreos seleccionados se midió el **diámetro a la altura de pecho (DAP a 1.30 m)**  $\geq 5$  cm desde la base del suelo con una cinta diamétrica. La **altura** se estimó utilizando la aplicación móvil *Trees* versión 6.0, la cual se basa en la medición del ángulo y la distancia horizontal del árbol. La **cobertura 1 y 2** se midió con una cinta métrica en dos direcciones perpendiculares a la copa (Norte – Sur y Este – Oeste). El **número de ramas** principales fue mediante el conteo visual. La **altura al fuste limpio** se midió desde la base del tronco hasta la primera rama del árbol. El **área basal** se calculó a partir del diámetro a la altura de pecho en cm, aplicando la siguiente fórmula  $AB = \pi \times \left(\frac{DAP}{2}\right)^2$ . El **Área de copa** se calculó como el área de una elipse usando los diámetros medidos en dirección N – S y E – O. **Densidad de individuos** esta se calculó por el número de individuos por cuadrante entre el área del cuadrante en  $ha^{-1}$ . En cada punto de muestreo se consideraron todos los individuos arbóreos con DAP  $\geq 5$  cm (a 1.30 m) para el conteo y registro de especies.

### 3.5.2 Importancia de los índices

El índice de valor de importancia (IVI), se estimó como la suma de la densidad relativa (densidad por especie / suma de las densidades de todas las especies x 100), la dominancia relativa (dominancia por especie / suma de las dominancias de todas las especies x 100) y la frecuencia relativa (frecuencia por especie /

suma de las frecuencias de todas las especies x 100), según lo propuesto por Stiling (1999, citado por Villavicencio-Enríquez y Valdez-Hernández, 2003).

El índice de Shannon también conocido como Shannon-Weaver, es una medida de diversidad que combina dos aspectos: cuantas especies hay (riqueza) y la abundancia relativa de cada una de esas especies. Este índice se basa en el grado de incertidumbre asociado a la selección aleatoria de un individuo dentro de una comunidad, donde los valores más altos (cerca de uno) indican mayor diversidad (Shannon y Weaver, 1949 citado por Pla, 2006).

De acuerdo con Shannon y Weaver (1949, citado por Pla, 2006) este índice se define como:

$$H = - \sum_{i=1}^S \pi_i \ln \pi_i$$

donde  $\pi_i$  representa la proporción de la  $i$ -ésima especie y  $S$  el número total de especies. La diversidad máxima se alcanza cuando todas las especies están igualmente presentes ( $H_{\max} = \ln S$ ).

El estimador Jackknife de primer orden es un método no paramétrico para estimar la riqueza de especies ya que reduce el sesgo. Se basa en los datos de presencia y ausencia de especies en distintas unidades de muestreo, además, proporciona información de aquellas especies que no fueron detectadas. Su importancia radica en que la riqueza observada puede subestimar a la riqueza real debido a limitaciones de muestreo. Al incorporar las especies raras se reduce el sesgo y genera información más precisa de la diversidad (Smith y van Belle, 1984 citado en Smith y Pontius, 2005).

La similitud florística entre comunidades puede evaluarse mediante el Índice de Jaccard que utiliza una base de presencia y ausencia de especies. Estas medidas permiten comparar la composición de especies entre diferentes sitios de estudio sin considerar su abundancia, lo que facilita el entendimiento de la estructura entre las comunidades (Guerrero et al., 2020).

Este índice se expresa como el cociente entre el número de especies compartidas y el total de especies presentes en ambas comunidades, sin considerar abundancias. Su valor se encuentra entre 0 y 1, donde 0 es la ausencia total de similitud y 1 indica similitud completa entre los conjuntos de especies. La expresión matemática del índice se define como:

$$J_{ij} = \frac{c}{s_1 + s_2 - c}$$

Donde S1 y S2, representan el número de especies en cada comunidad, y C corresponde al número de especies compartidas entre ambas Magurran (1988, citado por Soler, Berroterán, Gil & Acosta, 2013).

### 3.5.3 Análisis de datos

El análisis de diversidad y similitud se llevó a cabo mediante el software EstimateS (versión 9.10), utilizando una matriz de presencia / ausencia y abundancia de las especies arbóreas y arbustivas registradas en los SGC y SGR mediante muestreos por cuadrantes. La riqueza de especies se estimó mediante el estimador de Jackknife de primer orden (Jack 1), mientras que la diversidad se evaluó mediante el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), calculada a partir de los datos de ausencia y presencia, según la fórmula de Shannon-Wiener (Shannon & Weaver, 1949). La similitud entre sistemas de manejo se determinó mediante el índice de Jaccard.

La comparación estadística entre sistemas de manejo se efectuó en el programa JMP mediante un análisis univariado, considerando el sistema de manejo como factor fijo. Se evaluaron los valores de Índice Shannon – Whinner, el estimador de Jackknife de primer orden, y la abundancia de individuos por especie. Los datos que presentaron homogeneidad de varianza se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Los resultados se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar y se reportó el valor de  $p$  asociado a cada análisis.

Para el análisis de las variables estructurales de los árboles (DAP, altura, altura de fuste limpio, cobertura, número de ramas, área basal, área de copa y diámetro

de copa), las mediciones obtenidas de los cuatro árboles se promediaron por cuadrante, considerándose el cuadrante como la unidad de réplica. Estos promedios se compararon entre los SGC y SGR mediante un análisis univariado en el programa JMP, considerando al sistema como factor fijo. Los resultados se presentan como media  $\pm$  desviación estándar y se presenta el valor de  $p$ .

### 3.6 Resultados

#### 3.6.1 Estrato arbóreo

##### 3.6.1.1 Composición florística

Se encontró una riqueza de 32 especies arbóreas conformada por 18 familias botánicas, considerando ambos sistemas de ganadería. De éstas, 24 especies se identificaron en el SGC correspondientes a 15 familias, mientras que, en el SGR se encontraron 29 especies correspondientes a 18 familias.

El SGC obtuvo una abundancia de 333 individuos en 8.6 ha, mientras que el SGR tuvo 1628 individuos en 8.02 ha, con un total de 1,961 individuos arbóreos entre ambos sistemas ganaderos.

En el Cuadro 1 se presentan las especies arbóreas registradas en cada sistema de manejo, incluyendo su nombre común (según reconocimiento local), el nombre científico, familia y el número de individuos por especie.

Cuadro 1. Especies arbóreas registradas en los sistemas de manejo de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR).

| Nombre común | Nombre científico           | Familia       | SGC | SGR |
|--------------|-----------------------------|---------------|-----|-----|
| Algodoncillo | <i>Luehea candida</i>       | Malvaceae     | 2   | 5   |
| Borrego      | <i>Ehretia tinifolia</i>    | Boraginaceae  | 2   | 0   |
| Cañamazo     | <i>Lysiloma acapulcense</i> | Fabaceae      | 9   | 22  |
| Cedro rojo   | <i>Cedrela odorata</i>      | Meliaceae     | 3   | 166 |
| Chirimoya    | <i>Annona cherimola</i>     | Annonaceae    | 0   | 9   |
| Ciruelo      | <i>Spondia purpurea</i>     | Anacardiaceae | 1   | 0   |
| Cocuite      | <i>Gliricidia sepium</i>    | Fabaceae      | 45  | 13  |
| Crucetillo   | <i>Randia monantha</i>      | Rubiaceae     | 5   | 2   |

|                 |                                 |               |            |             |
|-----------------|---------------------------------|---------------|------------|-------------|
| Cuajilote       | <i>Parmentiera aculeata</i>     | Bignoniaceae  | 7          | 28          |
| Espino          | <i>Acacia cochliacantha</i>     | Fabaceae      | 6          | 6           |
| Guanábana       | <i>Annona muricata</i>          | Annonaceae    | 0          | 2           |
| Guácimo         | <i>Guazuma ulmifolia</i>        | Malvaceae     | 115        | 763         |
| Higuera         | <i>Ficus obtusifolia</i>        | Moraceae      | 2          | 7           |
| Ilama           | <i>Annona macroprophyllata</i>  | Annonaceae    | 0          | 10          |
| Jabín           | <i>Piscidia piscipula</i>       | Fabaceae      | 3          | 1           |
| Jobo            | <i>Spondias mombin</i>          | Anacardiaceae | 0          | 1           |
| Moral           | <i>Chlorophora tinctoria</i>    | Moraceae      | 3          | 9           |
| Nacaste         | <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | Fabaceae      | 1          | 2           |
| Nanche          | <i>Byrsonima crassifolia</i>    | Malpighiaceae | 1          | 1           |
| Palma de coyol  | <i>Acrocomia vinifera</i>       | Arecaceae     | 0          | 28          |
| Palma redonda   | <i>Sabal mexicana</i>           | Arecaceae     | 0          | 1           |
| Palo amarillo   | <i>Diphyssa americana</i>       | Fabaceae      | 17         | 60          |
| Palo mulato     | <i>Bursera simaruba</i>         | Burseraceae   | 35         | 11          |
| Palo volador    | <i>Zuelania guidonia</i>        | Salicaceae    | 1          | 22          |
| Papayo          | <i>Carica papaya</i>            | Caricaceae    | 3          | 11          |
| Pochote         | <i>Ceiba pentandra</i>          | Malvaceae     | 0          | 5           |
| Rajador         | <i>Hymenaea courbaril</i>       | Fabaceae      | 0          | 2           |
| Roble rosado    | <i>Tabebuia rosea</i>           | Bignoniaceae  | 40         | 160         |
| Sangre de grado | <i>Croton draco</i>             | Euphorbiaceae | 1          | 0           |
| Tetlaltín       | <i>Comocladia engleriana</i>    | Anacardiaceae | 8          | 2           |
| Tres hojas      | <i>Cordia alliodora</i>         | Boraginaceae  | 19         | 214         |
| Uvero           | <i>Coccoloba uvifera</i>        | Polygonaceae  | 4          | 65          |
| <b>Total</b>    |                                 |               | <b>333</b> | <b>1628</b> |

La lista incluye todas las especies registradas en ambos sistemas; los valores cero indican la ausencia del individuo en el sistema correspondiente. SGC= sistema de ganadería convencional; SGR= sistema de ganadería regenerativa.

Las familias con mayor riqueza de especies fueron Fabaceae (7 especies; 21.87 %), seguida de Malvaceae (9.37 %). Asimismo, las familias Annonaceae y Anacardiaceae presentaron la misma proporción con 3 especies en cada una. El resto de las familias estuvieron representadas por una y dos especies.

A pesar de que la familia Fabaceae fue la más diversa, Malvaceae presentó la mayor abundancia de individuos concentrando el 45.38 % del total. En segundo lugar, se ubicaron las familias Bignoniaceae y Boraginaceae, ambas en una proporción del 11.98 % de los individuos.

La especie con mayor número de individuos en ambos sistemas ganaderos fue *Guazuma ulmifolia* (guácimo) con 878 individuos representando el 44.77 % del total. Por otro lado, en el SGC destacaron las especies *Gliricidia sepium* (cocuite) (13.51 %) y *Tabebuia rosea* (roble rosado) (12.01 %), mientras que en el SGR las especies más abundantes fueron *Cordia alliodora* (tres hojas) (13.14 %) y *Cedrela odorata* (cedro rojo) (10.19 %).

### **3.6.1.2 Diversidad y riqueza de la vegetación arbórea**

En el Cuadro 2, se presentan las medias  $\pm$  desviación estándar de las variables relacionadas con la diversidad y riqueza de la vegetación arbórea en los SGC y SGR junto con sus respectivos valores de  $p$ . Se incluyen: la riqueza observada, riqueza estimada mediante el estimador Jackknife de primer orden, el Índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y la abundancia absoluta de individuos.

Los resultados evidencian diferencias estadísticamente significativas en la riqueza de especies arbóreas entre ambos sistemas de manejo. La riqueza observada mostró diferencias altamente significativas ( $p < .0001$ ), con valores más altos en el SGR ( $8.00 \pm 2.67$  especies promedio por cuadrante). SGR mostró la mayor riqueza estimada con un promedio de 29.77 de especies por cuadrante y una desviación estándar de  $\pm 7.24$ , indicando mayor diversidad potencial en comparación con SGC.

Por otro lado, el sistema regenerativo presentó el índice de Shannon ( $H'$ ) más alto con una media de 2.80 y una desviación estándar de  $\pm 0.20$ .

Asimismo, la abundancia promedio de individuos por cuadrante mostró efectos significativos ( $p < .0001$ ) con  $58.14 \pm 35.91$  individuos, en comparación del SGC que registró  $11.89 \pm 12.77$  individuos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Media  $\pm$  desviación estándar de las variables de diversidad, riqueza y composición de la vegetación arbórea en los sistemas de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR).

| Variable                          | SGC<br>(media $\pm$ DE) | SGR<br>(media $\pm$ DE) | P – valor |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
| Riqueza observada                 | 4.10 $\pm$ 2.48         | 8.00 $\pm$ 2.67         | <.0001*   |
| Riqueza estimada<br>(Jackknife 1) | 24.22 $\pm$ 7.00        | 29.77 $\pm$ 7.24        | 0.005*    |
| Índice de Shannon<br>(H')         | 2.62 $\pm$ 0.32         | 2.80 $\pm$ 0.20         | 0.017*    |
| Abundancia total de<br>individuos | 11.89 $\pm$ 12.77       | 58.14 $\pm$ 35.91       | <.0001*   |

Valores expresados en media  $\pm$  desviación estándar (DE). \* Diferencias estadísticamente significativas entre sistemas ( $p < 0.05$ ). SGC: sistema de ganadería convencional SGR: sistema ganadería regenerativa.

### 3.6.1.3 Índice de similitud (Jaccard)

En el Cuadro 3, se presenta el valor promedio del índice de similitud de Jaccard para el estrato arbóreo para los 28 cuadrantes en los SGC y SGR. El SGR presentó un valor promedio de 36 % de similitud (0.36), mientras que SGC registró 12 % (0.12), indicando mayor similitud en la composición de especies en SGR comparado con SGC.

Cuadro 3. Valor promedio del índice de similitud de Jaccard del estrato arbóreo en los sistemas de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR).

| Variable | SGC  | SGR  |
|----------|------|------|
| Jaccard  | 0.12 | 0.36 |

SGC: sistema de ganadería convencional SGR: sistema ganadería regenerativa.

#### 3.6.1.4 Estructura de la vegetación arbórea

En el Cuadro 4, se presentan las medias  $\pm$  desviación estándar de las variables estructurales del estrato arbóreo en el SGC y SGR, así como los valores de significancia estadística ( $p$ ).

La altura total (m) ( $p \geq 0.418$ ), el área basal (m<sup>2</sup>) ( $p \geq 0.143$ ) y altura de fuste limpio (m) ( $p \geq 0.221$ ), no mostraron diferencias estadísticas entre ambos sistemas de manejo.

El diámetro a la altura de pecho (DAP  $\geq 5$  cm) ( $p \leq 0.015$ ), el área de copa (m<sup>2</sup>) ( $p \leq 0.035$ ) y el número de ramas ( $p \leq 0.035$ ), mostraron diferencias estadísticas, donde los valores promedios más altos corresponden al SGC.

Estos resultados indican que los individuos arbóreos del SGC presentaron mayor desarrollo en las variables asociadas al tamaño y expansión de copa en comparación al SGR.

La densidad arbórea fue de 232.57 individuos con una desviación estándar de  $\pm 143.66$  por ha correspondiente al sistema de ganadería regenerativa.

Cuadro 4. Medias  $\pm$  desviación estándar de las variables de estructura del estrato arbóreo en los sistemas de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR).

| Variable                                  | SGC<br>(media $\pm$ DE) | SGR<br>(media $\pm$ DE) | P - valor |
|-------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
| Altura                                    | 11.58 $\pm$ 5.17        | 10.56 $\pm$ 4.03        | 0.418     |
| Diámetro a la altura de pecho (DAP)       | 37.63 $\pm$ 5.38        | 18.64 $\pm$ 5.29        | 0.015*    |
| Área Basal (m <sup>2</sup> )              | 0.24 $\pm$ 0.71         | 0.042 $\pm$ 0.04        | 0.143     |
| Altura de fuste limpio (m)                | 4.44 $\pm$ 7.90         | 2.58 $\pm$ 0.97         | 0.221     |
| Área de copa (m <sup>2</sup> )            | 113.39 $\pm$ 129.36     | 57.99 $\pm$ 39.36       | 0.035*    |
| Número de ramas                           | 5.52 $\pm$ 3.21         | 4.00 $\pm$ 1.20         | 0.023*    |
| Densidad (individuos / ha <sup>-1</sup> ) | 47.57 $\pm$ 51.10       | 232.57 $\pm$ 143.66     | 0.0001*   |

Valores expresados en media  $\pm$  desviación estándar (DE). Diferencias estadísticamente significativas entre sistemas ( $p < 0.05$ ). SGC: sistema de ganadería convencional SGR: sistema ganadería regenerativa.

En el sistema de ganadería convencional, la estructura arbórea mostró una concentración de individuos en rangos específicos de las variables evaluadas. La altura (m), presentó mayor proporción en el intervalo de 5 - 10 m, donde se agrupó el 38. 27 % de los individuos, con predominio de las especies *Guazuma ulmifolia*, *Diphyssa americana* y *Croton draco*. En contraste las especies *Ficus obtusifolia* y *Lysiloma acapulcense* alcanzaron alturas superiores a 20 m, mientras que *Ehretia tinifolia* y *Comocladia engleriana*, se mantuvieron por debajo de 5 m.

El diámetro a la altura del pecho ( $DAP \geq 5$  cm a 1.30 m) se concentró entre 30 - 40 cm, representando por el 39.50 % de los individuos, con mayor presencia de *Bursera simaruba*, *Cedrela odorata*, *Parmentiera aculeata*, *Tabebuia rosea*, *Cordia alliodora* y *Croton draco*. En cuanto el área basal, el 48.14 % de los individuos se ubicó en el rango de 0.1 - 0.2 m<sup>2</sup>, dominado por las especies *Cedrela odorata*, *Parmentiera aculeata*, *Tabebuia rosea*, *Bursera simaruba*, *Croton draco*, *Diphysa americana* y *Piscidia piscipula*. De manera particular el *Ficus obtusifolia* registró el mayor valor de área basal (3.75 m<sup>2</sup>).

El área de copa (m<sup>2</sup>) fue entre 100 - 200 m<sup>2</sup>, con mayor representación de *Gliricidia sepium*, *Tabebuia rosea*, *Diphysa americana*, *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata*.

Por su parte, el sistema de ganadería regenerativa presentó una estructura distinta, caracterizada por mayor proporción de individuos en rangos de menor tamaño. La altura se concentró entre 10 - 15 m, abarcando el 50.45 % de los individuos, con predominio de *Cedrela odorata*, *Gliricidia sepium*, *Cordia alliodora*, *Bursera simaruba*, *Zuelania guidonia*, *Tabebuia rosea*, *Parmentiera aculeata*, y *Coccoloba uvifera*.

El DAP se agrupó entre 0 – 15 cm, (43.11 %), dominado por *Diphysa americana*, *Guazuma ulmifolia*, *Annona cherimola*, *Annona macrophyllata* y *Comocladia engleriana*. Estas mismas especies concentraron la mayor proporción de individuos en un rango de área basal más bajo (0 – 0.02 m<sup>2</sup>), demostrando una estructura por individuos jóvenes.

El área de copa reflejó esta misma tendencia, con el 82.56 % de los individuos se concentró entre 0 – 50 m<sup>2</sup>, destacando *Diphysa americana*, *Annona cherimola*, *Comocladia engleriana*, *Tabebuia rosea*, *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Acacia cochliacantha* y *Guazuma ulmifolia*.

Estos resultados muestran que el SGR presenta una vegetación más joven y en proceso de desarrollo, con alta densidad y representada por individuos de menor

diámetro, área basal y cobertura de copa, en contraste con el SGC, donde predominan individuos con mayor tamaño y una estructura más desarrollada.

### 3.6.1.5 Índice de valor de importancia (IVI)

El SGC mostró que las 5 especies con el mayor índice de importancia fueron: *Guazuma ulmifolia* (guácimo), *Gliricidia sepium* (cocuite), *Tabebuia rosea* (roble rosa), *Bursera simaruba* (palo mulato) y *Diphysa americana* (palo amarillo) (Cuadro 5), mientras que en el SGR las 5 especies con el mayor índice de valor de importancia fueron *Guazuma ulmifolia* (guácimo), *Cordia alliodora* (tres hojas), *Cedrela odorata* (cedro rojo), *Tabebuia rosea* (roble rosado) y *Coccoloba uvifera* (uvero) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Especies con mayor índice de importancia (IVI) en el sistema convencional y regenerativo del estrato arbóreo.

| Especie                  | Dominancia<br>relativa | Frecuencia<br>relativa<br>----- (%) ----- | Densidad<br>relativa | IVI    |
|--------------------------|------------------------|-------------------------------------------|----------------------|--------|
| <b>SGC</b>               |                        |                                           |                      |        |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> | 5.55                   | 11.11                                     | 34.53                | 51.19  |
| <i>Gliricidia sepium</i> | 9.35                   | 13.68                                     | 13.51                | 36.54  |
| <i>Tabebuia rosea</i>    | 10.32                  | 9.40                                      | 12.01                | 31.73  |
| <i>Bursera simaruba</i>  | 9.25                   | 9.40                                      | 10.51                | 29.16  |
| <i>Diphysa americana</i> | 11.22                  | 7.69                                      | 5.11                 | 24.01  |
| Subtotal                 | 36.44                  | 41.88                                     | 65.17                | 143.48 |
| 27 especies restantes    | 63.56                  | 58.12                                     | 34.83                | 156.52 |
| Total                    | 100                    | 100                                       | 100                  | 300    |
| <b>SGR</b>               |                        |                                           |                      |        |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> | 10.15                  | 11.61                                     | 46.98                | 68.74  |
| <i>Cordia alliodora</i>  | 11.75                  | 11.61                                     | 13.18                | 36.53  |
| <i>Cedrela odorata</i>   | 15.00                  | 9.38                                      | 10.22                | 34.60  |
| <i>Tabebuia rosea</i>    | 6.40                   | 10.27                                     | 9.85                 | 26.52  |
| <i>Coccoloba uvifera</i> | 12.28                  | 5.80                                      | 4.00                 | 22.08  |
| Subtotal                 | 55.57                  | 48.66                                     | 84.24                | 188.47 |
| 27 especies restantes    | 44.43                  | 51.34                                     | 15.7                 | 111.53 |
| Total                    | 100                    | 100                                       | 100                  | 300    |

SGC= sistema de ganadería convencional; SGR= sistema de ganadería regenerativa.

### 3.6.2 Estrato arbustivo

#### 3.6.2.1 Composición florística

La composición florística del estrato arbustivo se conformó por 7 familias y 12 especies considerando ambos sistemas de manejo. El SGC registró nueve especies, mientras, que el SGR se encontraron las 12 especies identificadas, y todas las familias en ambos sistemas.

Las familias más representadas fueron: Fabaceae y Solanaceae (con 2 especies cada una). Las especies con mayor número de individuos en ambos sistemas fueron: *Bauhinia unguolata* (pata de venado) y *Rubus sp.* (zarza).

En el Cuadro 6, se presentan las especies arbustivas identificadas para ambos sistemas de manejo, incluyendo el nombre común (según reconocimiento local), el nombre científico y el número de individuos observados por especie y el total por sistema de manejo ganadero.

Cuadro 6. Especies arbustivas registradas en los sistemas de manejo de ganadería convencional (SGC) y ganadería regenerativa (SGR).

| Nombre común     | Nombre científico                    | Familia    | SGC         | SGR         |
|------------------|--------------------------------------|------------|-------------|-------------|
| Berenjena        | <i>Solanum torvum</i>                | Solanaceae | 25          | 39          |
| Chilpaya         | <i>Capsicum annuum</i>               | Solanaceae | 0           | 1           |
| Cornezuelo       | <i>Acacia cornigera</i>              | Fabaceae   | 257         | 291         |
| Cruceta          | <i>Acanthocereus pentagonus (L.)</i> | Cactaceae  | 180         | 14          |
| Espino Blanco    | <i>Crataegus monogyna</i>            | Fabaceae   | 364         | 1046        |
| Espino Blanco II | <i>Indeterminado</i>                 |            | 0           | 69          |
| Palma de coyol   | <i>Acrocomia aculiata</i>            | Arecaceae  | 426         | 395         |
| Palma redonda    | <i>Sabal pumos</i>                   | Arecaceae  | 128         | 122         |
| Pata de venado   | <i>Bauhinia unguolata</i>            | Fabaceae   | 703         | 1941        |
| Rompe fierro     | <i>Chromolaena odorata</i>           | Asteraceae | 984         | 27          |
| Zarza            | <i>Rubus sp</i>                      | Rosaceae   | 774         | 1276        |
| Zarza II         | <i>Indeterminado</i>                 |            | 0           | 11          |
| <b>Total</b>     |                                      |            | <b>3841</b> | <b>5232</b> |

La lista incluye todas las especies registradas en ambos sistemas; los valores cero indican la ausencia del individuo en la zona correspondiente. SGC= sistema de ganadería convencional; SGR= sistema de ganadería regenerativa.

### 3.6.2.2 Diversidad y riqueza de la vegetación arbustivo

En el Cuadro 7, se presentan las medias  $\pm$  desviación estándar de las variables relacionadas con la diversidad y riqueza de la vegetación arbustiva en los sistemas de ganadería convencional y regenerativa, junto con sus respectivos valores de  $p$ . Se incluyen: la riqueza observada, riqueza estimada mediante el estimador Jackknife de primer orden, Índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y abundancia absoluta de individuos.

Los resultados indican que no existe diferencia estadísticamente significativa en la riqueza observada ( $p > 0.371$ ), entre ambos sistemas de manejo del ganado. El SGR presentó la mayor riqueza estimada con una media de 11.82 especies y una desviación estándar de  $\pm 1.80$  por cuadrante en comparación con SGC.

Cuadro 7. Medias  $\pm$  desviación estándar de las variables de diversidad y riqueza de la vegetación arbustiva de los sistemas de ganadería convencional (SGC) y con manejo regenerativo (SGR).

| Variable                          | SGC<br>(media $\pm$ DE) | SGR<br>(media $\pm$ DE) | <i>P</i> – valor |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|
| Riqueza observada                 | 5.87 $\pm$ 1.88         | 6.28 $\pm$ 1.67         | 0.371            |
| Riqueza estimada<br>(Jackknife 1) | 9.97 $\pm$ 0.89         | 11.82 $\pm$ 1.80        | <.0001*          |
| Índice de Shannon<br>( $H'$ )     | 2.17 $\pm$ 0.10         | 2.10 $\pm$ 0.06         | 0.003*           |
| Abundancia total de<br>individuos | 137.17 $\pm$ 118.28     | 186.85 $\pm$ 183.85     | 0.2344           |

Valores expresados en media  $\pm$  desviación estándar (DE). \* Diferencias estadísticamente significativas entre sistemas ( $p < 0.05$ ). SGC= sistema de ganadería convencional; SGR= sistema de ganadería regenerativa.

En comparación al estrato arbóreo, la vegetación arbustiva presentó el valor promedio más alto de diversidad ( $2.17 \pm 0.10$ ) en el SGC.

La abundancia absoluta de individuos por cuadrante no mostró diferencia estadísticamente significativa en las especies arbustivas ( $p > 0.2344$ ). Aunque SGR presentó promedio mayor ( $186.85 \pm 183.85$ ) respecto al SGC ( $137.17 \pm 118.28$ ).

### 3.6.2.3 Índice de similitud (Jaccard)

El índice de similitud de Jaccard en la vegetación arbustiva presentó un valor promedio de 50 % en el SGC y un valor de 64 % en el SGR, indicando un alto grado de similitud entre cuadrantes en ambos sistemas de manejo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Índice de similitud de Jaccard promedio del estrato arbustivo en los sistemas de ganadería convencional y regenerativa.

| Variable | SGC  | SGR  |
|----------|------|------|
| Jaccard  | 0.50 | 0.64 |

SGC= sistema de ganadería convencional; SGR= sistema de ganadería regenerativa.

## 3.7 Discusión

### *Composición florística*

En este estudio, la composición florística estuvo representada por 32 especies arbóreas agrupadas en 18 familias, así como 12 especies arbustivas pertenecientes a 7 familias. Se contabilizaron en total 1,961 individuos arbóreos y 9,073 individuos arbustivos en ambos sistemas de manejo, *Guazuma ulmifolia* (guácimo) fue la especie con el mayor número de individuos arbóreos. La vegetación de la zona de estudio corresponde a selva baja caducifolia, y las familias con mayor representación fueron: Fabaceae (4 especies), Malvaceae, Annonaceae y Sapotaceae (3 especies cada una) en árboles, mientras que, en el estrato arbustivo, la familia Fabaceae y Rosaceae fueron las de mayor

abundancia. La familia Malvaceae destacó por tener el mayor número de individuos arbóreos (890) en ambos sistemas y en arbustos destacó la familia Fabaceae.

Todas las familias que se identificaron en este estudio concuerdan con lo reportado Castillo-Campos et al. (2007), quienes elaboraron un inventario florístico de la vegetación selva baja caducifolia (SBC) y vegetación secundaria, sobre sustrato rocoso o corrientes de lava en el centro de Veracruz. Encontrando 104 familias y 666 especies entre árboles, arbustos, hierbas, bejucos y epífitas. Las familias más ricas en especies destacan Fabaceae, Asteraceae, Poaceae y Euphorbiaceae. Asimismo, *Guazuma ulmifolia* como una de las especies arbóreas características de la vegetación secundaria, de igual manera que la especie arbustiva *Acacia cornígera* (cornizuelo).

Sánchez et al. (2018), encontraron mayor cantidad de especies (50) y familias botánicas (20), aunque de manera similar la familia Fabaceae fue la más rica en especies e individuos en el Bosque Tropical Caducifolio (BTC) en el ejido El Limón, Morelos. Los sitios muestreados por estos autores pertenecen a una zona arbolada que forma parte de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, lo que podría atribuir el haber identificado mayor cantidad de especies y familias.

De manera similar, Arias, Lombo, Caballero, Rivera y Burbano (2021) reportaron en sistemas agro y silvopastoriles, que la familia mejor representada fue la Fabaceae, y *Guazuma ulmifolia* fue la especie con mayor número de individuos. Sin embargo, estos investigadores registraron menor riqueza de familias (9) y especies (28) en condiciones de bosque tropical seco del caribe colombiano. Si bien el trópico colombiano y trópico mexicano no son regiones cercanas, podría existir condiciones ecológicas semejantes, que favorecen la dominancia de ciertas familias y especies. Por su parte, Moreno-Casasola y Paradowska (2009), en la zona central de la costa de Veracruz, reportaron mayor riqueza de especies (55) y familias (30) de árboles y arbustos de uso múltiple; destacando la importancia de *Gliricidia sepium*, *Cedrela odorata*, *Bursera simaruba*, *Tabebuia rosea* y *Guazuma ulmifolia*, lo cual coincide con lo registrado en este estudio. Lo

anterior sugiere que la presencia y distribución de especies no solo responde a condiciones ecológicas similares, sino también a su valor y uso por parte de los pobladores, lo que favorece a su permanencia en los diferentes sistemas productivos. Similarmente, Méndez-Toribio, Martínez-Cruz, Cortés-Flores, Rendón-Sandoval y Ibarra-Manríquez (2014), reportaron que la familia Fabaceae fue la más importante respecto al número de especies e individuos, destacando la importancia ecológica de esta familia en ecosistemas de bosques secos en México.

### *Diversidad y riqueza*

El índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ) en la vegetación arbórea presentó un valor promedio superior de  $2.80 \pm 0.20$  en el SGR, y de  $2.62 \pm 0.32$  en el SGC, mientras que, en la vegetación arbustiva el valor más alto fue de  $2.17 \pm 0.10$  en el SGC y  $2.10 \pm 0.06$  en SGR. El estrato arbóreo presentó los valores más altos en ambos sistemas, sin embargo, en todos los casos corresponde a una diversidad media de acuerdo con Margalef (1972).

Por otro lado, estos resultados fueron superiores a los reportados por Bautista-Tolentino et al. (2011), en sistemas agro y silvopastoriles con árboles dispersos en potreros asociados a pastos y cercos vivos, registrando índices de  $0.87 \pm 0.24$  (sistemas silvopastoriles) y de  $0.82 \pm 0.27$  (agrosilvopastoriles), considerados como bajos en condiciones de SBC en Paso de ovejas, Veracruz. Estas diferencias podrían atribuirse a factores como el manejo y heterogeneidad de cada sistema, así como por la estructura de la vegetación, factores que influyen directamente en la distribución y abundancia de especies. Resultados ligeramente superiores fueron reportados por Zamora-Crescencio et al. (2024) quienes registraron un valor de  $H' = 2.92$ , en una superficie de  $0.1 \text{ ha}^{-1}$  en el ejido de Lerma, Campeche, en SBC. Los individuos que incluyeron para dicho estudio fueron a partir de un  $\text{DAP} \geq 1 \text{ cm}$ , por lo que, al ser un rango más amplio en el DAP hubo un incremento en el número de especies registradas, a diferencia del presente estudio ( $\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$ ). Estas diferencias pueden atribuirse a los criterios de inclusión de individuos y a condiciones específicas del sitio. En contraste, en

otro estudio, realizado por Dzib-Castillo, Chantásig-Vaca & González-Valdivia (2014), reportaron valores de diversidad de Shannon-Wiener de  $H' = 1.91 \pm 0.34$ , para SBC, considerada una diversidad baja en comparación con otros estudios realizados en Veracruz, mientras que en selva mediana subcaducifolia se registró un valor ligeramente mayor ( $H' = 2.10 \pm 0.32$ ). Estas diferencias evidencian variaciones en la diversidad y composición de especies entre tipos de vegetación, lo cual puede estar asociado a factores ambientales, diferente grado de perturbación o cambio de uso de suelo.

#### *Similitud (Jaccard)*

El índice de similitud en la vegetación arbórea fue del 0.12 en el SGC y de 0.36 en el SGR, indicando una baja similitud en el SGC y una similitud moderada en el SGR. En la vegetación arbustiva, el SGC presentó el 0.50 y el SGR un 0.64, reflejando una similitud alta en ambos sistemas, especialmente en el SGR.

El SGR presenta una composición florística más homogénea en ambos estratos de vegetación, atribuida a menor disturbio y mayor regeneración natural de las especies. Por otro lado, el SGC presenta mayor heterogeneidad en las especies, especialmente en el estrato arbóreo. Esta condición podría atribuirse al manejo dentro del sistema como eliminación selectiva de árboles, mayor perturbación derivada del manejo en este sistema y la actividad ganadera. Nuestros resultados muestran diferencias en comparación con lo reportado por Aparicio, Castro y Castillo-Campos (2018), quienes obtuvieron índices de similitud del 0.20 y 0.18 en dos regiones diferentes en Oaxaca; ellos mencionan que estos valores son bajos en similitud y se puede asociar a la heterogeneidad florística y distintos grados de intervención antrópica, lo que ha generado cambios en la composición de las especies vegetales entre los sitios de muestreo.

Por otro lado, Soler et al. (2013) reportaron que la similitud florística en BTS de Venezuela, en vegetación de bosque, matorral arbustivo y sabana se encontró similitud de 0.39 para bosque y matorral arbustivo; ambos tipos de vegetación compartieron 16 especies y únicamente en bosque 18 especies y en matorral

arbustivo siete especies; por otro lado, entre bosque y sabana la similitud fue del 0.18, compartiendo nueve especies, y en bosque solo 25 y 15 en sabana. En cuanto el matorral arbustivo y sabana se encontró similitud del 0.21, teniendo en cuenta que valores cercanos a 1 tienen mayor semejanza de acuerdo con Magurran (1988, citado por Soler et al., 2013), por lo que se concluye que mostraron valores de similitud menor.

En cuanto al estrato arbustivo los valores obtenidos fueron más cercanos a 1, obteniendo mayor semejanza entre las comunidades florísticas. En el SGR se encontraron únicamente tres especies y nueve fueron compartidas en ambos sistemas, ninguna especie fue exclusiva del SGC. Mientras que el estrato arbóreo se encontraron 32 especies del total registrado, 21 especies fueron compartidas entre ambos sistemas, mientras que tres especies están exclusivamente en el SGC y ocho se registraron únicamente en el SGR.

#### *Estructura de la vegetación*

En SGR la densidad arbórea fue de 232.57 individuos por  $\text{ha}^{-1}$ , mientras que en SGC la densidad fue de 47.57 individuos por  $\text{ha}^{-1}$ , en comparación con lo reportado por Bautista-Tolentino et al. (2011), quienes documentaron densidades de  $178 \pm 103$  individuos  $\text{ha}^{-1}$  en sistemas silvopastoriles y  $57.3 \pm 7.2$  individuos  $\text{ha}^{-1}$  en sistemas agrosilvopastoriles, solo el SGR presentó valores superiores. Esto refleja que, aunque estos sistemas incluyen el componente arbóreo, la densidad de individuos puede variar dependiendo de las condiciones de manejo del sistema ganadero.

Los resultados encontrados en otros estudios respecto a la densidad de individuos arbóreos en SBC en diferentes estados han sido con valores superiores; tal es el caso en la Mixteca y Valles centrales de Oaxaca con 1350 individuos  $\text{ha}^{-1}$ , 1461 individuos  $\text{ha}^{-1}$ , 2258 individuos  $\text{ha}^{-1}$  y 1996 individuos  $\text{ha}^{-1}$  (Aparicio et al., 2018); asimismo, en SBC y SMS en Campeche se registraron densidades de 1215 individuos  $\text{ha}^{-1}$  y 1127 individuos  $\text{ha}^{-1}$  (Dzib-Castillo et al., 2014); y en Lerma, Campeche se registraron 8950 individuos  $\text{ha}^{-1}$  (Zamora-

Crescencio et al., 2024). Estas diferencias se pueden atribuir en gran medida por el criterio de inclusión, ya que en dichos estudios consideraron el conteo de individuos a partir de  $DAP \geq 1, 2.5$  y  $3$  cm, lo que permitió incluir individuos más jóvenes, mientras que en este trabajo se incluyeron individuos con  $DAP \geq 5$  cm, reduciendo el número de individuos registrados. Estudios con resultados similares registraron una densidad de  $520$  individuos  $ha^{-1}$  al sureste de Morelos, quienes censaron individuos mucho más desarrollados a partir de un  $DAP \geq 10$  cm (Sánchez et al., 2018).

Aunque la altura (m) promedio de los árboles fue ligeramente mayor en SGC ( $11.58 \pm 5.17$  m), SGR ( $10.56 \pm 4.03$  m) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Los valores promedio de altura (m) registrados en los árboles en ambos sistemas de manejo del ganado superan lo reportado en otros estudios en selva baja caducifolia, donde se documentaron alturas promedio de  $7.54$  m,  $8.12$  m y  $5.28$  m, con distintos grados de perturbación en Apazapan, Veracruz, señalando que el sitio con mayor grado de perturbación presentó la altura más baja (Aquino-Zapata et al., 2026). Alturas promedio de  $6.3$  m y  $8.3$  m en dos selvas de Campeche, presentaron similitudes y aunque, el suelo, temperatura y relieve son semejantes, existen diferencias mínimas en la pluviometría, afectando la estructura de la vegetación (Dzib-Castillo et al., 2014). Valores cercanos de altura ( $8.4$  m), incluyeron individuos más desarrollados a partir de un  $DAP \geq 10$  cm, lo cual influyó en obtener valores de alturas más altos (Sánchez et al., 2018). Estas diferencias se pueden atribuir a la edad de los individuos, si existe algún grado de perturbación y condiciones ambientales locales, lo que afectan directamente la estructura vertical de la vegetación arbórea.

Alturas entre  $3$  a  $8$  m se registraron en vegetación original y secundaria en el centro de Veracruz (Castillo-Campos et al., 2007). Lo que coincide con el rango de altura registrado en el SGC entre  $5$  a  $10$  m, correspondiente al  $38.27$  % de los individuos, mientras que en el SGR se ubicaron entre  $10$  -  $15$  m, correspondiente

al 50.45 % de los individuos, lo que sugiere una mayor proporción de individuos en estratos superiores en este último sistema de manejo de potreros.

Esta proporción de individuos coincide con lo reportado por Arias et al. (2021), quienes, encontraron que el 50.87 % de los individuos tenían una altura promedio de 10.93 m, aunque estos resultados fueron considerados para individuos más desarrollados ( $DAP \geq 10$  cm). Resultados similares de altura en los dos sistemas de manejo se reportaron por Ortega – Baranda et al. (2020), quienes mostraron una tendencia en alturas de 1 – 10 m y una marcada preferencia en el intervalo de 5.1 – 10 m, en la mayoría de los individuos en SBC cerca de la costa de Oaxaca, considerando individuos con  $DAP \geq 2.5$  cm, donde los individuos tuvieron una estructura vertical similar pero menor desarrollo horizontal en comparación con este estudio. La altura de los individuos en el SGR podría asociarse con la competencia por luz, espacio, y nutrientes, favoreciendo el crecimiento vertical de los individuos, pero limitando el crecimiento horizontal.

Por otro lado, la estructura horizontal en los SGC y SGC difirió entre ellos con un valor superior promedio en el SGC ( $37.63 \pm 5.38$  cm), donde la mayoría de los individuos se encontró en un rango de 30 – 40 cm, considerando individuos a partir de un  $DAP \geq 5$  cm a 1.30 m de altura. Resultados similares se obtuvieron por Arias et al. (2021), en bosques secos tropicales documentando diámetros promedio cercanos a 34 cm en un rango entre 10 a 200 cm. Mientras que en el SGR el valor promedio fue de  $18.64 \pm 5.29$ , encontrando a la mayoría de los individuos (43.11 %) en un rango de 0 – 15 cm. Estos valores de diámetro al pecho de los árboles coinciden con lo reportado en diversos trabajos realizados en vegetación de SBC y SMS quienes registraron un promedio en el DAP de  $5.1 \pm 1.4$  cm y un intervalo entre 2.9 y 7.7 cm, en bosque tropical en Michoacán (Méndez-Toribio et al., 2014); en Lerma, Campeche el 75.3 % de los individuos del estrato leñoso presentaron un diámetro entre de 1 a 4.9 cm (Zamora-Crescencio et al., 2024) y en el centro – norte de Campeche se reportaron diámetros de 6.9 cm en SBC y 11.2 cm SMS (Dzib-Castillo et al., 2014). Mientras que en la costa de Oaxaca el intervalo del diámetro al pecho fue de 2.6 a 7.5 cm,

mencionando que las condiciones ecológicas propician el desarrollo de estas selvas lo que ha permitido la regeneración de la vegetación (Ortega-Baranda, Sánchez-Bernal, Sánchez-Aragón, Luis-Reyna & Ruvalcaba-Gómez, 2020).

El área de copa ( $\text{m}^2$ ) fue mayor en el SGC con un valor promedio de  $113.39 \pm 129.36 \text{ m}^2$ , mostrando diferencias estadísticamente significativas con el SGR. En contraste, aunque el área basal presentó valores más altos en el SGC, no se detectaron diferencias significativas entre ambos sistemas de manejo del ganado. Estos resultados sugieren un mayor desarrollo del dosel en el SGC y un estrato leñoso más joven en el SGR. En comparación, otros estudios han reportado valores de área de copa superiores ( $310 \pm 154 \text{ m}^2$ , con un mínimo de  $124 \text{ m}^2$ ) (Méndez-Toribio et al., 2014). Sin embargo, los autores señalan la presencia de superposición de copas en individuos con DAP cercano a 10 cm. A pesar de estos valores más altos, variables estructurales como la altura promedio y el DAP fueron menores en comparación con las observadas en otros estudios para ambos sistemas.

*Guazuma ulmifolia* obtuvo el mayor Índice de valor de importancia (IVI) en ambos sistemas de manejo evaluados. Esta especie es característica de la vegetación secundaria en potreros (Castillo-Campos et al., 2007), y tiende a proliferar en condiciones donde existe algún tipo de perturbación de la vegetación original. Diversos estudios respaldan su alta relevancia ecológica, reportándola dentro de los valores más elevados del IVI, como el 77.8 % documentado por Arias et al. (2021). Así como valores de 19.9 % (Soler et al., 2012) y 22.4 % en árboles de 20 – 35 años (Salvador-Morales, Cámara-Cabrales, Martínez-Sánchez, Sánchez-Hernández & Valdés-Velarde, 2019).

Por otro lado, especies como *Gliricidia sepium*, *Tabebuia rosea*, *Bursera simaruba* y *Diphysa americana* registraron valores altos de IVI en el sistema de ganadería convencional. Estos resultados coinciden parcialmente con otros estudios; por ejemplo, Ebratt-Matute (2022) reporta a *Gliricidia sepium* como la especie más importante. Asimismo, Villavicencio-Enriquez y Valdez-Hernández (2003), identifican a *Bursera simaruba* y *Cordia alliodora* entre las especies en

obtener valores de importancia superiores en diferentes unidades de sistemas agroforestales en café, destacando su carácter representativo de la vegetación secundaria.

En el SGR, *Cordia alliodora* también sobresalió junto con *Cedrela odorata* y *Tabebuia rosea*, especies que igualmente han sido reportadas como relevantes por Salvador-Morales et al. (2019) en sistemas agroforestales de cacao de distintas edades en Tabasco.

En conjunto, estos resultados indican que, mientras el SGR presenta mayor densidad y estructura vertical más homogénea, el SGC se caracteriza por individuos de mayor tamaño y mayor complejidad en la estructura horizontal, lo que refleja diferencias en la dinámica de crecimiento y en el efecto del manejo sobre la vegetación.

### **3.8 Conclusiones**

Los resultados obtenidos en este estudio en cuanto la composición, estructura y diversidad de la vegetación leñosa difieren del manejo que ha tenido cada uno de los sistemas en los últimos años. El sistema de ganadería regenerativa expresa mayor riqueza y abundancia de especies arbóreas, así como valores más altos en diversidad. Asimismo, el índice de similitud de Jaccard muestra más homogeneidad en el sistema ganadero con manejo regenerativo sobre todo en el estrato arbustivo, lo que evidencia una composición florística más estable.

El área de estudio con manejo convencional presenta individuos con mayor diámetro, área de copa y desarrollo vertical, mientras que el sistema de ganadería con manejo regenerativo se caracteriza por incrementar la densidad de individuos más jóvenes, indicando que es un sistema que presenta un proceso de regeneración activa.

Es importante destacar que las especies arbóreas con mayor índice de importancia en ambos sistemas es *Guazuma ulmifolia*, la cual presenta alta contribución forrajera, al igual que *Gliricidia sepium* que es sobresaliente en el

sistema de ganadería convencional. Por otra parte, en el sistema de ganadería regenerativa sobresale *Cordia allidora*, reconocida por su alto valor maderable. Asimismo, especies como *Tabebuia rosea*, *Cedrela odorata* y *Bursera simaruba*, son consideradas especies multipropósito y ampliamente utilizadas en sistemas agroforestales en el trópico. En conjunto estos resultados resaltan la importancia del manejo en los sistemas ganaderos para promover el aprovechamiento sostenible de los recursos leñosos.

### 3.9 Literatura citada

- Aquino-Zapata, A. M., Carral-Domínguez, J. R., Delfín-Alfonso, C. A., & Carvajal-Hernández, C. I. (2025). *Riqueza y estructura de vegetación leñosa en selva baja caducifolia con diferentes grados de perturbación en el sureste de México*. *Botanical Sciences*, 104(1), 242-256. <https://doi.org/10.17129/botsci.3765>
- Alayon-Gamboa, J. A., Jiménez-Ferrer, G., Nahed-Toral, J., & Villanueva-López, G. (2018). *Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México*. *Agro Productividad*, 9(9), 10-15. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/809/673>
- Alonso, J. (2011). *Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 107-115. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022245001.pdf>
- Antonio-Medina, A., Morales-Rivera, A., Ramírez-Bribiesca, J. E., & Paredes-Díaz, D. (2025). *Caracterización de sistemas silvopastoriles como estrategias de gestión sostenible*. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 33(3), 123-135. <https://doi.org/10.53588/alpa.330301>.
- Aparicio, M. S., Ramírez, A. E. C., & Campos, G. C. (2018). *Estructura y composición de leñosas en dos bosques de las regiones Mixteca y Valles Centrales de Oaxaca, México*. *Madera y Bosques*, 24(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411445>
- Arias, J. A., Lombo, O. D. F., Caballero, L. A. R., Rivera, R. M., & Burbano, E. E. (2021). *Caracterización y diversidad de árboles dispersos en pasturas de un paisaje de bosque seco tropical en el Caribe Colombiano*. *Researchgate*, 1 (1), 1-13. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/41244>
- Basurto, Hernández, S., Galindo Paliza, L. M., & Ríos Mohar, J. (2023). *Impactos económicos potenciales del cambio climático en la ganadería: caso de México*. *Revista Latinoamericana de Economía*, 54(212), 27-54. <https://doi.org/10.22201/ieec.20078951e.2023.212.69916>
- Bautista-Tolentino, M., López-Ortíz, S., Pérez-Hernández, P., De la Cruz Vargas-Mendoza, M., Gallardo-López, F., & Gómez, F. C. (2011). *Sistemas Agro y Silvopastoriles en la comunidad el Limón, municipio de Paso de ovejas, Veracruz, México*. *Tropical And Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 63-76. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93915703005.pdf>
- Bravo-Peña, F., Toro-Letelier, J. J., Alvial Cabrera, N., Hargreaves Méndez, M., & Alfaro Rojas, C. (2024). *Ganadería regenerativa Definición*,

caracterización y recomendaciones de políticas. En CEPAL (LC/TS.2024/134). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/490116fd-3d06-47cf-9f98-213e717d2d82/content>

Castillo-Campos, G., Dávila-Aranda, P., & Zavala-Hurtado, J. A. (2007). *La selva baja caducifolia en una corriente de lava volcánica en el centro de Veracruz: lista florística de la flora vascular*. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 80. <https://www.redalyc.org/pdf/577/57780008.pdf>

De La Cruz, López, C. A. (2024). El cambio climático y la ganadería en México. Elementos, 135, 135-139. <https://www.ecosur.mx/wp-content/uploads/2024/08/El-cambio-climatico-y-la-ganaderia-en-Mexico.pdf>

De la Peña-Domene, M., Ayestarán-Hernández, L. M., Márquez-Torres, J. F., Martínez-Monroy, F., Rivas-Alonso, E., Carrasco-Carballido, P. V., Pérez-Cruz, M. N., Landa, F. A. C., & Martínez-Garza, C. (2022). *Sistemas silvopastoriles enriquecidos: una propuesta para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México*. Acta Botánica mexicana, 129. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1925>

Dzib-Castillo, B., Chantásig-Vaca, C., & González-Valdivia, N. A. (2014). *Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México*. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85(1), 167-178. <https://doi.org/10.7550/rmb.38706>

Ebratt-Matute, D. (2022). *Composición florística y estructura de las especies de sombrero en los sistemas agroforestales de cacao (Theobroma cacao L.) en la subregión de los Montes de María, Bolívar-Colombia*. Intropica, 17(1), 47-60. <https://doi.org/10.21676/23897864.4495>

Fuentes-Hernández, A., Mendoza-Orozco, M., Ríos-Casanova, L., Soler-Aburto, A., Muñoz-Iniestra, D., & Godínez-Álvarez, H. (2019). *Impacto de la agricultura y ganadería sobre el bosque tropical seco de Zirándaro, Guerrero: una evaluación con indicadores ecológicos*. Botanical Sciences, 97(2), 148-154. <https://doi.org/10.17129/botsci.2043>

Guerrero, Rubio, J. P., Tasambay Salazar, A. M., Cofre Santos, F., Jácome Segovia, C. S., Valverde Lara, C. R., & Jiménez Rojas, Y. (2020). *Evaluación y restauración ecológica "Lisan Wasí" comunidad San Pedro, parroquia Tarqui, Cantón Pastaza*. Ciencias Ambientales, 13(1), 17-25. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i1.344>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010: Tierra Blanca, Veracruz de Ignacio de la Llave. En INEGI. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/30/30174.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30174.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Aspectos Geográficos de Veracruz de Ignacio de la Llave: *Compendio 2022*. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/889463914228.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463914228.pdf)
- Livas, Calderón, F. (2014). *Estrategias de Alimentación para Ganado Bovino en las Regiones Tropicales*. BM Editores. <https://bmeditores.mx/ganaderia/estrategias-de-alimentacion-para-ganado-bovino-en-las-regiones-tropicales-1623/>
- Margalef, R. 1972. *Homage to E. Hutchison or why is there an upper limit to diversity*. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences 44: 211-235. [https://digital.csic.es/bitstream/10261/166281/3/Margalef\\_1972\\_preprint.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/166281/3/Margalef_1972_preprint.pdf)
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Cruz, J., Cortés-Flores, J., Rendón-Sandoval, F. J., & Ibarra-Manríquez, G. (2014). *Composición, estructura y diversidad de la comunidad arbórea del bosque tropical caducifolio en Tziritzícuar, Depresión del Balsas, Michoacán, México*. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85(4), 1117-1128. <https://doi.org/10.7550/rmb.43457>
- Moreno-Casasola, P., & Paradowska, K. (2009). *Especies útiles de la selva baja caducifolia en las dunas costeras del centro de Veracruz*. Madera y Bosques, 15(3), 21-44. <https://doi.org/10.21829/myb.2009.1531184>
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal* (BOLFOR). <https://es.scribd.com/doc/118738059/Manual-de-Metodos-Basicos-de-Muestreo-y-Analisis-en-Ecologia-Vegetal>
- Ramírez, L. R., Casanoves, F., Harvey, C., Chacón, M., Soto, G., & DeClerck, F. (2011). *Efecto de la diversidad arbórea y la distancia al bosque de los sistemas silvopastoriles sobre la conservación de aves residentes de Matiguás, Nicaragua*. Agroforestería En las Américas, 48. [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6109/Efecto\\_de\\_la\\_diversidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6109/Efecto_de_la_diversidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Ramírez, W. M., & Ramírez, J. M. (2009). *Municipios con mayor biodiversidad en Veracruz*. *Foresta Veracruzana*, 11(2), 43-50.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49712336007>
- Rojas-Sandoval, L. A., Albarran-Portillo, B., Mondragón -Ancelmo, J., Martínez-García, C. G., & García-Martínez, A. (2024). *La ganadería doble propósito en trópico seco: diversidad de unidades de producción y orientación productiva*. *Tropical And Subtropical Agroecosystems*, 27(2).  
<https://doi.org/10.56369/tsaes.5459>
- Ortega-Baranda, V., Sánchez-Bernal, E. I., Sánchez-Aragón, L., De los Ángeles Luis-Reyna, M., & Ruvalcaba-Gómez, G. (2020). *Vegetación arbórea de selvas bajas caducifolias en suelos litosoles y regosoles eutricos degradados*. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 377-390.  
<https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.611>
- Parra-Cortés, R. I., & Magaña-Magaña, M. Á. (2019). *Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina basados en razas criollas introducidas en México*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 535-547.  
<https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2160>  
<https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2160>
- Pla, L. (2006). *Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza*. *Interciencia*, 31(8), 583-590.  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442006000800008](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800008)
- Salvador-Morales, P., Del Carmen Cámara-Cabrales, L., Martínez-Sánchez, J. L., Sánchez-Hernández, R., & Valdés-Velarde, E. (2019). *Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao*. *Madera y Bosques*, 25(1).  
<https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511638>
- Sánchez, Hernández, M. Á., Fierros González, A. M., Velázquez Martínez, A., De Los Santos Posadas, H. M., Aldrete, A., & Cortés Díaz, E. (2018). *Estructura, riqueza y diversidad de especies de árboles en un bosque tropical caducifolio de Morelos*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46).  
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-131.pdf>
- Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press.
- Soler, P. E., Berroterán, J. L., Gil, J. L., & Acosta, R. A. (2013). *Índice valor de importancia, diversidad y similitud florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela*. *Agronomía Tropical*, 62(1-4).

[http://www.sian.inia.gob.ve/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/at621-4/pdf/at6214\\_soler\\_p.pdf](http://www.sian.inia.gob.ve/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at621-4/pdf/at6214_soler_p.pdf)

- Smith, C. D., & Pontius, J. S. (2006). *Jackknife Estimator of Species Richness with S-PLUS*. Journal Of Statistical Software, 15(3). <https://doi.org/10.18637/jss.v015.i03>
- Vázquez, Rojas, H. M. (2025, noviembre 19). Tierra Blanca (municipio). XWiki. <http://148.226.12.161:8080/egvadmin/bin/view/enciclopedia/Tierra%20Blanca>
- Vilaboa, Arróniz, J., & Díaz, Rivera, P. (2009). *Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México*. Zootecnia Tropical, 27(4), 427-436. <http://hdl.handle.net/1807/64405>
- Villavicencio-Enríquez, L., & Valdéz-Hernández, J. I. (2003). *Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en san miguel, Veracruz, México*. Agrociencia, 37(4), 413-423. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30237410.pdf>
- Zamora-Crescencio, P., Aragón-Gastélum, J. L., Vargas-Contreras, J. A., Barrientos-Medina, R. C., Aguirre-Crespo, F. J., Gutiérrez-Báez, C., & Plasencia-Vázquez, A. H. (2024). *Diversidad, composición y estructura de especies leñosas de la selva baja caducifolia en Lerma, Campeche*. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 11(2), 3819. <https://doi.org/10.19136/era.a11n2.3819>.
- Zapata, Buenfil, G., Bautista Zúñiga, F., & Astier Calderón, M. (2009). *Caracterización forrajera de un sistema silvopastoril de vegetación secundaria con base en la aptitud de suelo*. Técnica Pecuaria En México, 47(3), 257-270. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v47i3.1471>

## **4. ATRIBUTOS FÍSICO – QUÍMICOS DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA VEGETACIÓN EN SISTEMAS GANADEROS DEL TRÓPICO SECO**

### **PHYSICO – CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL AND ITS RELATIONSHIP WITH VEGETATION IN GONDWANAN SYSTEMS OF THE TROPICAL DRY**

#### **4.1 Resumen**

Los sistemas ganaderos basados en árboles como lo establece la agroforestería generan interacciones entre la vegetación y las propiedades físicas y químicas del suelo, incluyendo algunas funciones de las especies, así como su distribución. Sin embargo, las actividades ganaderas en el trópico seco han modificado estos sistemas, alterando la estructura de la vegetación y como consecuencia las propiedades físico - químicas del suelo. El objetivo de este estudio fue determinar las propiedades físico - químicas del suelo en sistemas de ganadería con manejo convencional (SGC) y regenerativo (SGR), para identificar la relación de los atributos del suelo con las formas de vida vegetal arbóreas y arbustivas. En un área experimental de 16.8 ha<sup>-1</sup> se delimitaron ambos sistemas y se establecieron 28 cuadrantes de 2500 m<sup>2</sup> por sistema, donde se recolectaron muestras simples de suelo a 30 cm de profundidad. Se analizaron características químicas y físicas, y se contrastaron en ambos sistemas mediante análisis univariado. El análisis de componentes principales (ACP) identificó las variables edáficas más representativas y el análisis de correspondencia canónica (ACC), relacionó dichas variables con la distribución de las especies leñosas. Los resultados mostraron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) para los contenidos de arcilla, calcio, manganeso en el SGC, y arena y boro en el SGR. El ACP evidenció que las variables relacionadas con la textura del suelo (arcilla, arena y limo) así como calcio, magnesio y fósforo presentaron la mayor contribución. El ACC indicó que la distribución de las especies se asoció principalmente con la textura del suelo, particularmente con la arcilla y la disponibilidad de fósforo. Estos resultados destacan la importancia de las características del suelo en la función, distribución y composición de la vegetación, aportando información relevante para la gestión de sistemas silvopastoriles encaminados a la regeneración y uso sostenible de los recursos naturales sostenibles.

**Palabras clave:** ganadería convencional, ganadería regenerativa, sistemas silvopastoriles, ACP, ACC.

## 4.2 Abstract

Tree-based livestock systems, as established by agroforestry, generate interactions between vegetation and the physical and chemical properties of the soil, including certain species functions and their distribution. However, livestock activities in the dry tropics have modified these systems, altering vegetation structure and consequently the physicochemical properties of the soil. The aim of this study was to determine the physicochemical properties of soil in conventional (CGS) and regenerative (RGS) livestock systems in order to identify the relationship between soil attributes and arboreal and shrub plant life forms. In an experimental area of 16.8 ha, both systems were delimited and 28 plots of 2500 m<sup>2</sup> were established per system, where composite soil samples were collected at a depth of 30 cm. Physical and chemical characteristics were analyzed and compared between systems using univariate analysis. Principal component analysis (PCA) identified the most representative edaphic variables, and canonical correspondence analysis (CCA) related these variables to the distribution of woody species. The results showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) in clay, calcium, and manganese contents in the CGS, and in sand and boron contents in the RGS. PCA revealed that variables related to soil texture (clay, sand, and silt), as well as calcium, magnesium, and phosphorus, showed the greatest contribution. CCA indicated that species distribution was mainly associated with soil texture, particularly clay content and phosphorus availability. These results highlight the importance of soil characteristics in vegetation function, distribution, and composition, providing relevant information for the management of silvopastoral systems aimed at regeneration and the sustainable use of natural resources.

**Keywords:** conventional livestock farming, regenerative livestock farming, silvopastoral systems, PCA, CCA.

### **4.3 Introducción**

El suelo es un recurso natural que proporciona el soporte físico para el desarrollo de las plantas y constituye el medio en el que éstas producen alimentos, forrajes, fibras, masas forestales y energía renovable (Porta, López-Acevedo & Poch, 2013).

Las regiones tropicales de México cuentan con amplia disponibilidad de recursos naturales para desarrollar actividades ganaderas, particularmente en tierras de agostadero, donde el forraje es la principal fuente de alimento para el ganado (Téllez, Zavala, Grande & Vieyra, 2023). Estas regiones se dividen en trópico húmedo y trópico seco, diferenciadas por condiciones ambientales. Aproximadamente, 23.9 millones de hectáreas corresponden al trópico húmedo, con altitudes menores a 1000 msnm y precipitaciones superiores a 1300 mm, favoreciendo el establecimiento de praderas con pastos introducidos y sistemas de ganadería de doble propósito. El trópico seco comprende cerca de 31.7 millones de ha con precipitaciones entre 600 a 1300 mm y altitudes entre 0 a 2000 msnm, donde predomina la cría de ganado bovino para engorda (Enríquez, Esqueda & Martínez, 2021).

La expansión de la actividad ganadera en estas regiones ha generado procesos de transformación en estos ecosistemas, asociados a la deforestación y la conversión de bosques tropicales por extensiones de monocultivos de pastizales ganaderos. Estas condiciones simplifican la estructura vegetal y afecta negativamente las comunidades arbóreas, las propiedades físicas y químicas del suelo y la dinámica de algunos nutrientes (De la Peña-Domene et al., 2022; Fuentes-Hernández et al., 2019). A lo anterior, se suma el uso de prácticas de manejo inadecuadas, como el sobrepastoreo, la mecanización del terreno, la alta carga animal y la dependencia de insumos químicos externos, los cuales generan desequilibrios ecológicos que aceleran el deterioro de las propiedades del suelo, reducen la biodiversidad y comprometen la productividad del sistema ganadero a largo plazo (Vallejo-Quintero, 2013).

Los sistemas silvopastoriles son una modalidad de la agroforestería que surgen, como una alternativa para contrarrestar el impacto negativo de la actividad ganadera convencional de solo pasto, integran vegetación leñosa, herbácea y animales, dentro de la misma unidad productiva, promoviendo interacciones que favorecen la restauración de la productividad del sistema, además de que contribuyen a recuperar la calidad del suelo (Ángel-Hernández et al., 2024; Crespo, 2008).

Estos sistemas permiten establecer asociaciones funcionales entre sus componentes, permitiendo la mayor eficiencia en el uso del espacio y de los recursos naturales, asimismo, favorecen la provisión de servicios ecosistémicos como: la captura de carbono, mejora de la fertilidad del suelo y la conservación de la biodiversidad, además de que contribuye a mejorar la calidad del forraje. En conjunto, todos esos beneficios posicionan a los sistemas silvopastoriles como una alternativa de ser sistemas regenerativos y sostenibles a mediano y largo plazo (Antonio-Medina et al., 2025).

La ganadería regenerativa busca restablecer la salud del suelo y el funcionamiento de los ecosistemas mediante prácticas que imitan la dinámica natural de los herbívoros utilizando diversas estrategias como son: pastoreo planificado para mantener la densidad animal, tiempos de rotación y periodos de descanso adecuados para la recuperación del pastizal, con el fin de evitar procesos de degradación (Bravo-Peña et al., 2024).

Las regiones de bosques tropicales conocidos también como selva baja caducifolia o bosque tropical caducifolio en México son áreas ampliamente utilizadas para la agricultura y la ganadería (Aquino-Zapata et al., 2025). Sin embargo, la actividad agropecuaria basada en monocultivo de pasto provoca una alteración en la estructura, composición y diversidad arbórea y en las propiedades físico - químicas del suelo (Ortega-Baranda et al., 2020). Existe información limitada del impacto de estas actividades en el bosque tropical seco, los registros muestran experiencias en Jalisco, Yucatán, Oaxaca y Guerrero, los

cuales sugieren que el manejo y las condiciones de cada sitio difiere en el impacto ecológico de cada zona (Fuentes-Hernández et al., 2019).

Con base a lo anterior se considera que conocer la composición, densidad y distribución de las especies arbóreas, así como las condiciones edafoclimáticas de los sitios, es fundamental para gestionar de manera apropiada el establecimiento de sistemas silvopastoriles que fomenten la conservación de los recursos naturales.

Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo determinar las propiedades físico - químicas del suelo en sistemas de ganadería con manejo convencional y regenerativo, para identificar la relación de los atributos del suelo con las formas de vida vegetal de arbóreas y arbustivas.

#### **4.4 Materiales y métodos**

##### **4.4.1 Área de estudio**

El área de estudio se encuentra en el municipio de Tierra Blanca en el estado de Veracruz, ubicado geográficamente entre los paralelos 18° 26' 51" latitud norte y en el meridiano 95° 21' 37" longitud oeste, a una altitud de 58 msnm (INEGI, 2022). Los climas que predomina en el municipio son el cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw2) (91.17 %) y cálido subhúmedo con lluvias en verano con humedad media (Aw1) (8.58 %) (García, 2004). La temperatura media anual es de 24 – 26 ° C y la precipitación promedio anual es de 1400 a 2100 mm. Los suelos que predominan son vertisoles (91.71 %) y phaeozem (6. 75 %). Predomina un relieve de llanura (97 %) con topografía plana y pendientes suaves (< 2 %) (INEGI, 2010). Los tipos de vegetación natural son el Bosque Tropical Perennifolio (BTP) y Bosque Tropical Caducifolio (BTC) (Ramírez & Ramírez, 2009) principalmente encontrados con algún estadio de sucesión secundaria (Vázquez, 2025).

**Sitio experimental.** La investigación se llevó a cabo en un predio cercano a la cabecera municipal de Tierra Blanca, Veracruz, ubicado sobre la carretera

Federal 145 La Tinaja – Tierra Blanca, entre las localidades de “El Amate”, “La Serenilla” y “Paso Nuevo”, su ubicación geográfica corresponde a las coordenadas 18° 33′ 8.21” latitud norte y 96° 22′ 50.92” longitud oeste, con una altitud de 50.3 msnm. El predio tiene una superficie de 25 ha, se encuentra en una zona de transición climática entre los climas cálido subhúmedo (Aw2) y cálido subhúmedo (Aw1) (Figura 10).

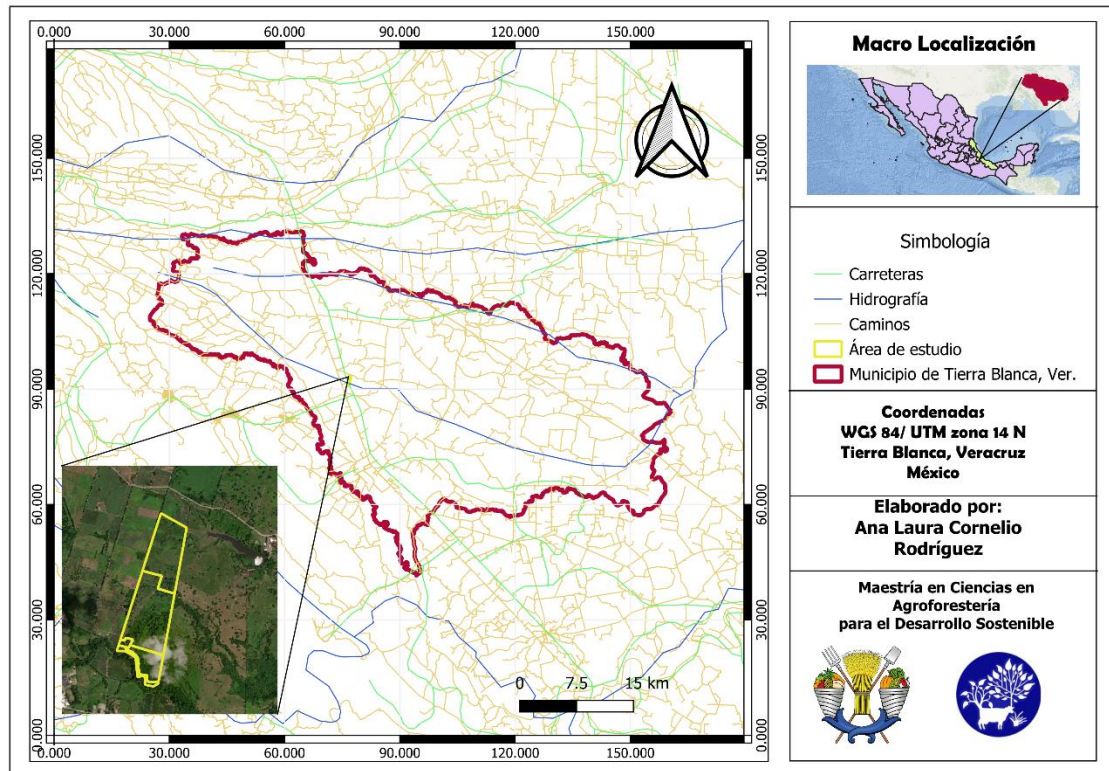


Figura 10. Localización del área de estudio en el municipio de Tierra Blanca, Veracruz.

#### 4.4.2 Sistemas evaluados

Se seleccionaron dos sistemas productivos: el sistema de ganadería con manejo convencional (SGC), con una superficie de 8.6 ha y el sistema de ganadería con manejo regenerativo (SGR), con una superficie de 8.02 ha.

Ambos sistemas se diferencian por el manejo implementado en los últimos años. El SGC se caracteriza por mantener baja cobertura arbórea por más de 20 años, el uso de herbicidas para reducir la competencia con gramíneas y control mecánico de arvenses. En el SGR desde hace ocho años se realizan actividades enfocadas en la regeneración natural de los árboles mediado por la selección de especies de mayor importancia para el productor y el ganado.

En los SGC y SGR se tienen tecnologías silvopastoriles de árboles dispersos en potreros y cercos vivos, con árboles forrajeros, maderables y frutales correspondiente a la vegetación original y secundaria de la selva baja caducifolia.

En la superficie total de ambos sistemas, el ganado se mantiene a libre pastoreo, con un aproximado de 18 cabezas, representadas principalmente por las razas cebuina y pardo suizo. El sistema de producción es de doble propósito, orientado a la obtención de leche y pie de cría.

En un estudio previo, se realizó el conteo de las especies arbóreas y arbustivas presentes en ambos sistemas de manejo convencional y manejo regenerativo, las cuales se presentan en los Cuadro 9 y 10.

Cuadro 9. Especies arbóreas registradas en los sistemas de manejo de ganadería convencional (SGC) y regenerativa (SGR).

| Nombre común | Nombre científico           | Familia       | SGC | SGR |
|--------------|-----------------------------|---------------|-----|-----|
| Algodoncillo | <i>Luehea candida</i>       | Malvaceae     | 2   | 5   |
| Borrego      | <i>Ehretia tinifolia</i>    | Boraginaceae  | 2   | 0   |
| Cañamazo     | <i>Lysiloma acapulcense</i> | Fabaceae      | 9   | 22  |
| Cedro rojo   | <i>Cedrela odorata</i>      | Meliaceae     | 3   | 166 |
| Chirimoya    | <i>Annona cherimola</i>     | Annonaceae    | 0   | 9   |
| Ciruelo      | <i>Spondia purpurea</i>     | Anacardiaceae | 1   | 0   |
| Cocuile      | <i>Gliricidia sepium</i>    | Fabaceae      | 45  | 13  |
| Crucetillo   | <i>Randia monantha</i>      | Rubiaceae     | 5   | 2   |
| Cuajilote    | <i>Parmentiera aculeata</i> | Bignoniaceae  | 7   | 28  |
| Espino       | <i>Acacia cochliacantha</i> | Fabaceae      | 6   | 6   |
| Guanábana    | <i>Annona muricata</i>      | Annonaceae    | 0   | 2   |
| Guácimo      | <i>Guazuma ulmifolia</i>    | Malvaceae     | 115 | 763 |
| Higuera      | <i>Ficus obtusifolia</i>    | Moraceae      | 2   | 7   |

|                 |                                 |               |            |             |
|-----------------|---------------------------------|---------------|------------|-------------|
| Ilama           | <i>Annona macrophyllata</i>     | Annonaceae    | 0          | 10          |
| Jabín           | <i>Piscidia piscipula</i>       | Fabaceae      | 3          | 1           |
| Jobo            | <i>Spondias mombin</i>          | Anacardiaceae | 0          | 1           |
| Moral           | <i>Chlorophora tinctoria</i>    | Moraceae      | 3          | 9           |
| Nacaste         | <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | Fabaceae      | 1          | 2           |
| Nanche          | <i>Byrsonima crassifolia</i>    | Malpighiaceae | 1          | 1           |
| Palma de coyol  | <i>Acrocomia vinifera</i>       | Arecaceae     | 0          | 28          |
| Palma redonda   | <i>Sabal mexicana</i>           | Arecaceae     | 0          | 1           |
| Palo amarillo   | <i>Diphyssa americana</i>       | Fabaceae      | 17         | 60          |
| Palo mulato     | <i>Bursera simaruba</i>         | Burseraceae   | 35         | 11          |
| Palo volador    | <i>Zuelania guidonia</i>        | Salicaceae    | 1          | 22          |
| Papayo          | <i>Carica papaya</i>            | Caricaceae    | 3          | 11          |
| Pochote         | <i>Ceiba pentandra</i>          | Malvaceae     | 0          | 5           |
| Rajador         | <i>Hymenaea courbaril</i>       | Fabaceae      | 0          | 2           |
| Roble rosado    | <i>Tabebuia rosea</i>           | Bignoniaceae  | 40         | 160         |
| Sangre de grado | <i>Croton draco</i>             | Euphorbiaceae | 1          | 0           |
| Tetlaltín       | <i>Comocladia engleriana</i>    | Anacardiaceae | 8          | 2           |
| Tres hojas      | <i>Cordia alliodora</i>         | Boraginaceae  | 19         | 214         |
| Uvero           | <i>Coccoloba uvifera</i>        | Polygonaceae  | 4          | 65          |
| <b>Total</b>    |                                 |               | <b>333</b> | <b>1628</b> |

La lista incluye todas las especies registradas en ambos sistemas; los valores cero indican la ausencia del individuo en el sistema correspondiente. SGC= sistema de ganadería convencional; SGR= sistema de ganadería regenerativa.

Cuadro 10. Especies arbustivas registradas en los sistemas de manejo de ganadería convencional (SGC) y ganadería regenerativa (SGR).

| <b>Nombre común</b> | <b>Nombre científico</b>             | <b>Familia</b> | <b>SGC</b> | <b>SGR</b> |
|---------------------|--------------------------------------|----------------|------------|------------|
| Berenjena           | <i>Solanum torvum</i>                | Solanaceae     | 25         | 39         |
| Chilpaya            | <i>Capsicum annuum</i>               | Solanaceae     | 0          | 1          |
| Cornezuelo          | <i>Acacia cornigera</i>              | Fabaceae       | 257        | 291        |
| Cruceta             | <i>Acanthocereus pentagonus (L.)</i> | Cactaceae      | 180        | 14         |
| Espino Blanco       | <i>Crataegus monogyna</i>            | Fabaceae       | 364        | 1046       |
| Espino Blanco II    | <i>Indeterminado</i>                 |                | 0          | 69         |
| Palma de coyol      | <i>Acrocomia aculiata</i>            | Arecaceae      | 426        | 395        |
| Palma redonda       | <i>Sabal pumos</i>                   | Arecaceae      | 128        | 122        |
| Pata de venado      | <i>Bauhinia ungulata</i>             | Fabaceae       | 703        | 1941       |
| Rompe fierro        | <i>Chromolaena odorata</i>           | Asteraceae     | 984        | 27         |

|              |                      |          |             |             |
|--------------|----------------------|----------|-------------|-------------|
| Zarza        | <i>Rubus sp</i>      | Rosaceae | 774         | 1276        |
| Zarza II     | <i>Indeterminado</i> |          | 0           | 11          |
| <b>Total</b> |                      |          | <b>3841</b> | <b>5232</b> |

La lista incluye todas las especies registradas en ambos sistemas; los valores cero indican la ausencia del individuo en la zona correspondiente. SGC= sistema de ganadería convencional; SGR= sistema de ganadería regenerativa.

#### 4.4.3 Diseño de muestreo y selección de puntos

Las áreas delimitadas para el presente estudio se dividieron en cuadrantes de 50 x 50 m (2500 m<sup>2</sup>) con base en un muestreo sistemático. Se consideraron únicamente los cuadrantes que conservaron al menos el 75 % de superficie, obteniéndose un total de 28 cuadrantes para ambos sistemas de manejo. Los puntos de muestreo se establecieron en el centro de cada cuadrante utilizando la herramienta centroide de polígonos con ayuda del software QGIS (Figura 11). Los archivos generados para la ubicación de los puntos de muestreo fueron exportados a los formatos KML y PDF, y se integraron a la aplicación móvil Avenza Maps, lo que permitió la localización precisa de los sitios de muestreo durante el trabajo de campo.

#### 4.4.4 Toma de muestras de suelo

La toma de muestras de suelo se realizó usando como referencia los puntos centrales de cada cuadrante del SGC y el SGR. Cada cuadrante se subdividió en cuatro parcelas colocando dos líneas perpendiculares orientadas de norte a sur y de este a oeste. El muestreo se efectuó en la tercera parcela, donde se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0-30 cm, obteniendo una muestra simple por cuadrante en ambos sistemas de ganadería. Las muestras fueron colocadas en una bolsa de plástico, etiquetándose con el número de cuadrante. En total se recolectaron 56 muestras correspondientes al número de cuadrantes en ambos sistemas de manejo. Los análisis físicos y químicos del suelo se llevaron a cabo en los laboratorios de fisiología vegetal y de análisis físico de suelos del Departamento de Suelos.

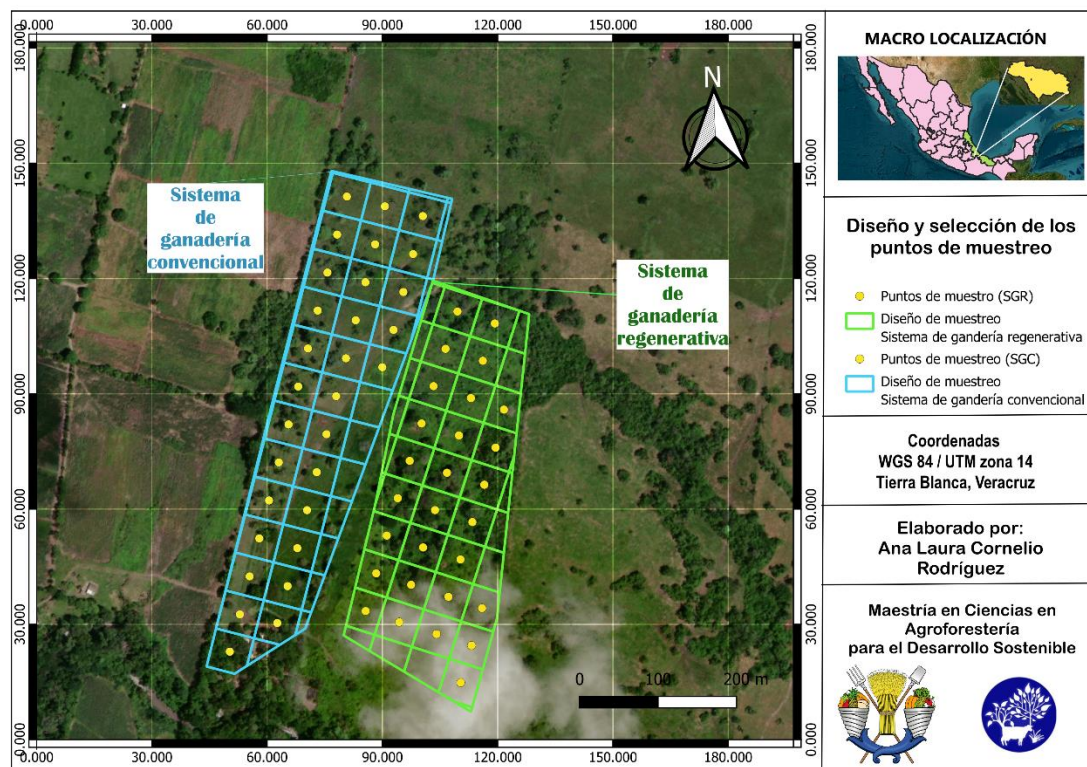


Figura 11. Diseño y puntos de muestreo de los sistemas de ganadería con manejo convencional (SGC) y regenerativo (SGR).

#### 4.4.5 Variables de suelo

Las muestras de suelo fueron analizadas conforme a la Norma-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. El **pH** y la **Conductividad eléctrica** fueron medidos con un medidor multiparamétrico HI 98 130, equipado con electrodo de pH, celda de conductividad y sensor de temperatura, en una relación 1:2. El contenido de **materia orgánica** se determinó siguiendo el método de oxidación rápida con dicromato mediante el método propuesto por Walkley & Black (De Vos et al., 2007). El **fósforo disponible** se determinó utilizando el método de Bray 1. El contenido de **nitrógeno inorgánico** se determinó por el método de Kjeldahl por arrastre de vapor. La extracción de **micronutrientes** (cobre, hierro, manganeso y zinc) se realizó con una solución de DTPA a pH 7.3 y cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica. **El calcio y magnesio** se extrajeron

con acetato de amonio a pH 7.0 y cuantificados por absorción atómica. El **potasio y sodio** se cuantificaron por espectrofotometría de emisión atómica. El **contenido de boro** se determinó mediante la extracción con  $\text{CaCl}_2$ , y cuantificado por fotolorimetría con Azometina – H. La **densidad aparente** se determinó por el método de la probeta y la **textura del suelo** se determinó por el método de Bouyoucos.

#### 4.4.6 Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron a por individual por cada uno de los cuadrantes tomando factores de análisis los sistemas de manejo el software JMP versión 19.0.5. Se aplicó un análisis univariado donde el factor “x” fue el sistema de manejo del ganado y el factor “y” fueron cada una de las variables del suelo. Para identificar las variables del suelo más representativas en cada sistema de manejo se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con la matriz de datos de las variables edáficas, mediante el software R versión 4.3.2. Los resultados se presentan como medias  $\pm$  desviación estándar y el valor de  $p < 0.05$ .

Posteriormente, se evaluó la relación entre los componentes principales y la abundancia de la vegetación arbórea y arbustiva mediante un análisis de correspondencia canónica (ACC) mediante el software XLSTAT Ecology. Para este análisis, se utilizó una matriz de abundancia de especies como variable de respuesta y las variables edáficas derivadas del análisis de componentes principales como variables explicativas, correspondiente a cada sistema de ganadería. Las especies fueron codificadas mediante acrónimos derivados del nombre común y científico (ANEXO 1 y 2). Se interpretaron los dos primeros ejes canónicos, los cuales explican la mayor proporción de la variación entre especies y variables ambientales (variables edáficas). Los resultados se representan mediante un diagrama de ordenación canónica (biplots).

## 4.5 Resultados

### 4.5.1 Variables edáficas

En el Cuadro 11 se presentan los promedios y desviación estándar de las variables edáficas evaluadas en los SGC y SGR. No se detectaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), en pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo disponible, nitrógeno inorgánico, potasio, magnesio, sodio, hierro, cobre, zinc, densidad aparente y limo.

En contraste, el calcio ( $2944 \pm 1105 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y el manganeso ( $16.58 \pm 10.98 \text{ mg kg}^{-1}$ ) presentaron valores significativamente mayores en el sistema de ganadería convencional, mientras que el boro fue mayor en el SGR ( $0.42 \pm 0.27 \text{ mg kg}^{-1}$ ). En cuanto, a las variables correspondientes a la textura del suelo, el sistema de ganadería regenerativa presentó mayor contenido de arena, mientras que el sistema de ganadería convencional mostró mayor proporción en arcilla.

Cuadro 11. Medias  $\pm$  desviación estándar de las variables edáficas en áreas de ganadería con manejo convencional (SGC) y ganadería con manejo regenerativo (SGR).

| Variable                                     | SGC<br>(media $\pm$ DE) | SGR<br>(media $\pm$ DE) | $p$ – valor |
|----------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| pH                                           | $5.13 \pm 0.22$         | $5.26 \pm 0.37$         | 0.122       |
| Conductividad eléctrica                      | $0.13 \pm 0.03$         | $0.14 \pm 0.06$         | 0.613       |
| Materia orgánica (%)                         | $3.47 \pm 0.97$         | $3.92 \pm 1.97$         | 0.268       |
| Nitrógeno inorgánico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | $33.62 \pm 8.68$        | $39.30 \pm 18.09$       | 0.140       |

---

|                                              |                 |                 |        |
|----------------------------------------------|-----------------|-----------------|--------|
| Fósforo disponible<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | 3.79 ± 5.25     | 4.40 ± 4.88     | 0.647  |
| Potasio<br>(mg kg <sup>-1</sup> )            | 241.21 ± 181.62 | 267.85 ± 157.06 | 0.559  |
| Calcio<br>(mg kg <sup>-1</sup> )             | 2944 ± 1105     | 2227 ± 593      | 0.003* |
| Magnesio<br>(mg kg <sup>-1</sup> )           | 563 ± 153.68    | 537 ± 141       | 0.511  |
| Sodio<br>(mg kg <sup>-1</sup> )              | 41.43 ± 23.88   | 31.71 ± 15.82   | 0.078  |
| Hierro<br>(mg kg <sup>-1</sup> )             | 43.74 ± 21.48   | 38.17 ± 29.22   | 0.420  |
| Cobre<br>(mg kg <sup>-1</sup> )              | 0.59 ± 0.18     | 0.55 ± 0.24     | 0.548  |
| Manganeso<br>(mg kg <sup>-1</sup> )          | 16.58 ± 10.98   | 9.72 ± 3.60     | 0.002* |
| Zinc<br>(mg kg <sup>-1</sup> )               | 1.59 ± 1.00     | 1.46 ± 0.83     | 0.601  |
| Boro (mg kg <sup>-1</sup> )                  | 0.25 ± 0.11     | 0.42 ± 0.27     | 0.002* |
| Densidad aparente<br>(g cm <sup>-3</sup> )   | 1.03 ± 0.05     | 1.01 ± 0.06     | 0.071  |
| Arcilla (%)                                  | 25.28 ± 13.47   | 17.99 ± 6.88    | 0.013* |
| Limo (%)                                     | 27.45 ± 7.07    | 26.31 ± 7.64    | 0.566  |

---

---

|           |               |               |        |
|-----------|---------------|---------------|--------|
| Arena (%) | 47.26 ± 15.12 | 55.69 ± 12.71 | 0.028* |
|-----------|---------------|---------------|--------|

---

Valores expresados como media ± desviación estándar. Diferencias significativas indicadas con asterisco cuando  $p < 0.05$ ; SGC= sistema de ganadería convencional; SGR= sistema de ganadería regenerativa.

Los suelos en ambos sistemas presentaron valores de pH con tendencia ácida. En este contexto, el fósforo (P) disponible se encontró en concentraciones bajas a muy bajas, mientras que el hierro (Fe) mostró valores altos en ambos sistemas. El manganeso (Mn) presentó niveles significativamente mayores en el SGC, en categorías de moderadamente alto a medio, mientras que el cobre (Cu) se mantuvo en niveles moderadamente bajos, y el zinc (Zn) en concentraciones medias. El boro (B) mostró diferencias significativas con concentraciones mayores en el SGR ( $0.42 \pm 0.27$ ), aunque en rangos de bajos a muy bajos.

El contenido de materia orgánica presentó valores altos en ambos sistemas, con una media ligeramente superior en el SGR ( $3.92 \pm 1.97$ ). De manera similar, el nitrógeno inorgánico mostró niveles medios, con el mayor promedio en el SGR ( $39.30 \pm 18.09$ ).

En relación con los cationes, el potasio presentó valores ligeramente mayores en el SGR, mientras que el calcio fue significativamente mayor en el SGC, en rangos moderadamente altos a medios. El magnesio y sodio no mostraron diferencias significativas entre los suelos de SGC y SGR, aunque el magnesio presentó niveles moderadamente altos y las concentraciones de sodio fueron bajas.

Respecto a la textura del suelo, el contenido de la fracción de limo fue similar en ambos sistemas de pastoreo. Sin embargo, hubo variaciones en los contenidos de arcilla y arena, donde SGC presentó mayor proporción de arcilla y el SGR mostró mayor contenido de arena.

Las clases texturales identificadas en los suelos de ambos sistemas mostraron una alta variabilidad espacial, incluyendo suelos francos, francos arenosos, francos arcillosos, franco arcillo arenosos, arenosos y arcillosos. Esta

heterogeneidad es consistente debido a las fracciones de arena y arcilla de cada sistema ganadero y las condiciones físicas son diversas a nivel de sitio.

#### 4.5.2 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) permitió reducir la dimensionalidad de las variables edáficas en los sistemas ganaderos evaluados. Para la selección de los componentes principales se consideraron aquellos con valores propios mayores a 1, con cargas factoriales altas. En este estudio se seleccionaron los componentes principales de CP1 a CP3. En el Cuadro 12, se presentan las cargas factoriales de las variables edáficas correspondientes a los tres componentes principales en el SGC y en el Cuadro 13, las del SGR.

En el SGC, los dos primeros componentes principales explicaron el 51.05 % de la varianza total. El componente principal uno (CP1) explicó 38 % de la variación, y las variables con mayores cargas factoriales (coeficientes que indican la correlación de las variables con el componente principal) fueron arcilla (0.360) calcio (0.333) y magnesio (0.336). El componente principal dos (CP2) explicó el 13.1 % de la varianza e incluyó las variables densidad aparente (0.485) y limo (-0.378), esta última con relación inversa respecto a dicho componente.

En el SGR, los dos primeros componentes explicaron el 53.60 % de la variación total. El CP1 explicó 33.3 % de la varianza total atribuido a las variables arcilla (0.378), mientras que la fracción de arena (-0.369) y fósforo (-0.309) en el suelo presentaron cargas factoriales negativas. El CP2 explicó el 20.3 % de la varianza y las variables con mayor carga factorial fueron el contenido de calcio (0.457) y la conductividad eléctrica (0.422) en el suelo.

Cuadro 12. Cargas factoriales de las variables edáficas en los tres componentes principales del sistema de ganadería con manejo convencional (SGC).

| Variables | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
|-----------|--------------|--------------|--------------|
| Arcilla   | <b>0.360</b> | 0.075        | 0.035        |
| Arena     | -0.327       | 0.110        | -0.170       |

|                              |              |               |              |
|------------------------------|--------------|---------------|--------------|
| Boro (B)                     | -0.245       | -0.237        | 0.152        |
| Calcio (Ca)                  | <b>0.333</b> | 0.030         | 0.124        |
| Conductividad eléctrica (CE) | 0.165        | 0.058         | <b>0.461</b> |
| Cobre (Cu)                   | 0.170        | -0.285        | -0.272       |
| DAP                          | -0.082       | <b>0.485</b>  | -0.293       |
| Hierro (Fe)                  | -0.289       | -0.263        | -0.207       |
| Potasio (K)                  | -0.233       | 0.203         | 0.233        |
| Limo                         | 0.013        | <b>-0.378</b> | 0.297        |
| Magnesio (Mg)                | <b>0.336</b> | 0.058         | 0.012        |
| Manganeso (Mn)               | 0.075        | -0.127        | -0.378       |
| Materia orgánica (MO)        | -0.064       | -0.254        | 0.165        |
| Sodio (Na)                   | 0.305        | 0.141         | -0.088       |
| Nitrógeno inorgánico (NI)    | 0.071        | -0.149        | -0.139       |
| Fósforo (P)                  | -0.252       | 0.355         | -0.031       |
| pH                           | -0.168       | 0.223         | 0.418        |
| Zinc (Zn)                    | -0.284       | -0.226        | 0.004        |
| <b>Desviación estándar</b>   | 2.614        | 1.534         | 1.349        |
| <b>Varianza</b>              | 0.380        | 0.131         | 0.101        |
| <b>Varianza Acumulada</b>    | 0.380        | 0.510         | 0.611        |

Valores representan cargas factoriales obtenidas mediante análisis de componentes principales. Los datos resaltados en negritas corresponden a los valores de carga absolutos más altos. DAP = densidad aparente.

Cuadro 13. Cargas factoriales de las variables edáficas en los tres componentes principales del sistema de ganadería con manejo regenerativo (SGR).

| <b>Variables</b>             | <b>Componente 1</b> | <b>Componente 2</b> | <b>Componente 3</b> |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Arcilla</b>               | <b>0.378</b>        | 0.042               | 0.032               |
| <b>Arena</b>                 | <b>-0.369</b>       | -0.125              | 0.034               |
| Boro (B)                     | -0.273              | 0.284               | -0.026              |
| Calcio (Ca)                  | 0.010               | <b>0.457</b>        | 0.162               |
| Conductividad eléctrica (CE) | -0.175              | <b>0.422</b>        | 0.137               |
| Cobre (Cu)                   | 0.306               | 0.092               | -0.066              |
| DAP                          | -0.252              | -0.252              | 0.271               |
| Hierro (Fe)                  | -0.103              | 0.024               | <b>-0.548</b>       |
| Potasio (K)                  | -0.208              | 0.036               | 0.026               |
| Limo                         | 0.274               | 0.169               | -0.086              |
| Magnesio (Mg)                | 0.182               | 0.379               | 0.183               |
| Manganeso (Mn)               | -0.011              | 0.125               | -0.417              |
| Materia orgánica (MO)        | 0.112               | 0.282               | -0.025              |
| Sodio (Na)                   | 0.267               | 0.021               | 0.335               |
| Nitrógeno inorgánico (NI)    | -0.141              | 0.091               | -0.184              |
| Fósforo (P)                  | <b>-0.309</b>       | 0.065               | 0.134               |
| pH                           | -0.269              | 0.242               | 0.303               |
| Zinc (Zn)                    | -0.157              | 0.320               | -0.320              |
| <b>Desviación estándar</b>   | 2.450               | 1.911               | 1.498               |
| <b>Varianza</b>              | 0.333               | 0.203               | 0.125               |

| <b>Varianza acumulada (%)</b> | 0.333 | 0.536 | 0.661 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
|-------------------------------|-------|-------|-------|

Valores representan cargas factoriales obtenidas mediante análisis de componentes principales. Los datos resaltados en negritas corresponden a los valores de carga absolutos más altos. DAP = densidad aparente.

### 4.5.3 Análisis de correspondencia canónica

#### 4.5.3.1 Vegetación arbórea

Los valores propios y los porcentajes de la varianza explicada por los ejes del análisis de correspondencia canónica (ACC) en el estrato arbóreo en los sistemas de ganadería con manejo convencional (SGC) y manejo regenerativo (SGR) se presentan en el Cuadro 14.

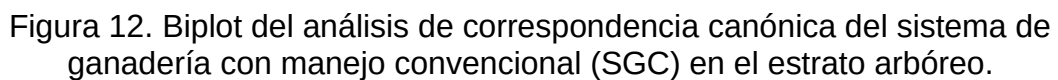
Cuadro 14. Valores propios y varianza explicada del ACC en el estrato arbóreo.

| Sistema      | Eje | Valor propio | VE (%) | VA (%) | Varianza total (%) |
|--------------|-----|--------------|--------|--------|--------------------|
| Convencional | F1  | 0.355        | 35.99  | 35.99  | 10.14              |
|              | F2  | 0.269        | 27.25  | 63.23  | 17.82              |
| Regenerativo | F1  | 0.164        | 31.92  | 31.92  | 8.77               |
|              | F2  | 0.127        | 24.77  | 56.69  | 15.58              |

ACC = análisis de correspondencia canónica; F1 y F2 = ejes principales; VE= varianza explicada (%) corresponde a la inercia restringida; VA = la varianza acumulada (%) indica la proporción total explicada por los ejes considerados.

En el SGC, se mostró que los dos primeros ejes explicaron el 63.23 % de la variación total en la relación entre la abundancia de especies arbóreas y las

El eje F1 representó un gradiente asociado principalmente con la textura del suelo, como limos y arenas, mientras que el eje F2 estuvo asociado con variables relacionadas con algunos nutrientes y fracciones del suelo, como calcio, magnesio y arcillas.



97

(BOREHT), *Ficus obtusifolia* (HIGFIC), *Bursera simaruba* (PALBUR) y *Coccoloba uvifera* (UVECOC). Especies como *Tabebuia rosea* (ROBTAB), *Zuelania guidonia* (PALZUE), *Spondias purpurea* (CIRSPO), *Randia monantha* (CRURAN), *Enterolobium cyclocarpum* (NACENT) y *Luehea candida* (ALGLUE), prefieren suelos arcillosos con inclinación por mayor contenido de calcio y magnesio. En el último grupo, *Lysiloma acapulcense* (CAÑLYS) tuvo una afinidad con la densidad aparente del suelo (DAP).

La mayoría de los cuadrantes se concentran cerca del origen, lo que indica condiciones edafológicas similares, aunque, algunos cuadrantes se localizaron a mayor distancia (1, 22, y 26), mostrando variabilidad edáfica dentro del área de estudio.

En el SGR, el análisis de correspondencia canónica mostró que los dos primeros ejes explicaron 56.69 % de la variación total en la relación entre la abundancia de especies arbóreas y las variables edáficas (Figura 13). El eje F1 explicó 31.92 % de la variación, mientras que el eje F2 explicó 24.77 % de la variación total.

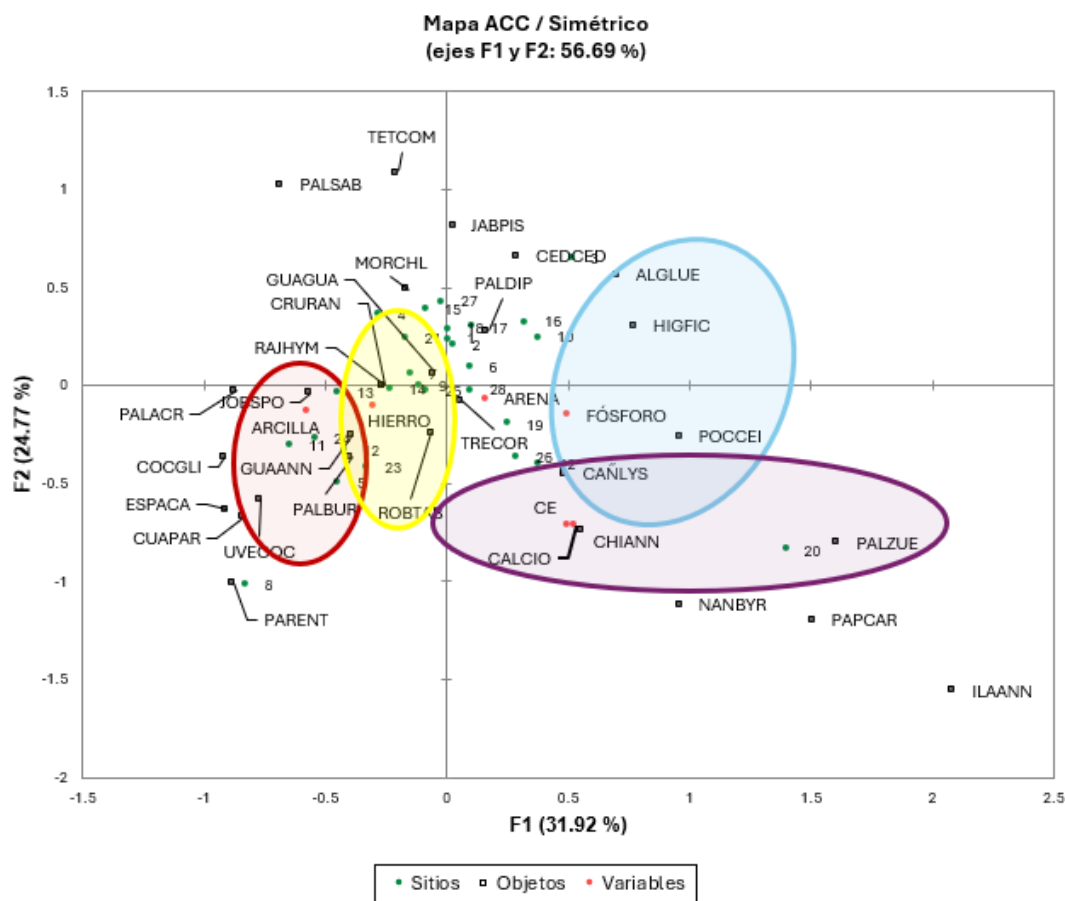


Figura 13. Biplot del análisis de correspondencia canónica del sistema de ganadería con manejo regenerativo (SGR) en el estrato arbóreo.

Se formaron cuatro grupos en el espacio canónico (Figura 13). El fósforo se asoció con las especies arbóreas *Ceiba pentandra* (POCCEI), *Ficus obtusifolia* (HIGFIC), *Luehea candida* (ALGLUE) y *Lysiloma acapulcense* (CAÑLYS). Esta última especie se asoció con las variables del suelo como calcio y conductividad eléctrica (CE), que conformaron el segundo grupo y se relacionaron con las especies arbóreas *Annona cherimola* (CHIANN) y *Zuelania guidonia* (PALZUE).

Las especies arbóreas *Tabebuia rosea* (ROBTAB) y *Guazuma ulmifolia* (GUAGUA), y posiblemente, *Annona muricata* (GUAANN) y *Bursera simaruba* (PALBUR), presentaron afinidad con el contenido de hierro en el suelo. Asimismo, la arcilla, se asoció a la presencia de las especies arbóreas *Spondias mombin* (JOESPO), *Coccoloba uvifera* (UVECOQ) y *Parmentiera aculeata* (CUAPAR).

La mayoría de las especies arbóreas se ubicaron cerca del origen, indicando similitud en la condición del suelo. Algunos cuadrantes se localizaron a una mayor distancia (8 y 20), así como algunas especies arbóreas como *Annona macrophyllata* (ILAANN), *Carica papaya* (PAPCAR), *Byrsonima crassifolia* (NANBYR), *Sabal mexicano* (PALSAB) y *Comocladia engleriana* (TETCOM).

#### 4.5.3.2 Vegetación arbustiva

En el cuadro 15 se presentan los valores propios y los porcentajes de la varianza explicada por los ejes del análisis de correspondencia canónica (ACC) en el estrato arbustivo en los sistemas evaluados.

De acuerdo con el ACC para el SGC, los dos primeros ejes explicaron el 84.13 % de la variación total (Figura 14). El eje F1 explicó 69.36 % y el eje F2 explicó 14.78 % de esa variación.

Cuadro 15. Valores propios y varianza explicada del ACC en el estrato arbustivo del sistema de ganadería con manejo convencional (SGC) y manejo regenerativo (SGR).

| Sistema            | Eje | Valor propio | VE (%) | VA (%) | Varianza total (%) |
|--------------------|-----|--------------|--------|--------|--------------------|
| Convencional (SGC) | F1  | 0.509        | 69.36  | 69.36  | 26.69              |
|                    | F2  | 0.108        | 14.78  | 84.13  | 32.37              |
| Regenerativo (SGR) | F1  | 0.240        | 53.96  | 53.96  | 19.27              |
|                    | F2  | 0.105        | 23.58  | 77.54  | 27.69              |

ACC = análisis de correspondencia canónica; F1 y F2 = ejes principales; VE= varianza explicada (%) corresponde a la inercia restringida; VA = la varianza acumulada (%) indica la proporción total explicada por los ejes considerados.

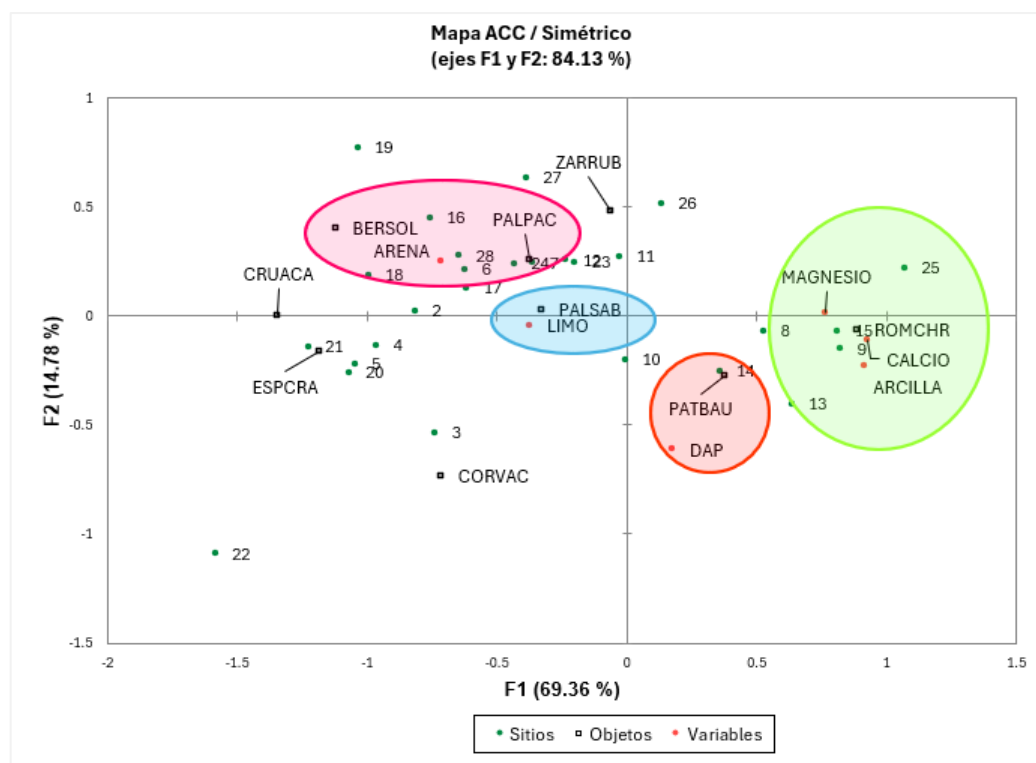


Figura 14. Biplot del análisis de correspondencia canónica del sistema de ganadería con manejo convencional (SGC) en el estrato arbustivo.

En el ACC se formaron cuatro grupos de asociaciones importantes entre las especies y las variables de suelo. La asociación más importante integra la especie arbustiva *Chromolaena odorata* (ROMCHR) y los cuadrantes 8, 9, 13, 15 y 25, prefieren suelos arcillosos con presencia de calcio y magnesio. Asimismo, la densidad aparente (DAP) se asoció *Bauhinia ungulata* (PATBAU), mientras que *Solanum torvum* (BERSOL) y *Acrocomia aculeata* (PALACR), en los cuadrantes 6, 7, 16, 17, 18, 24, 28, se encuentran asociadas con suelos arenosos.

De acuerdo con el ACC correspondiente al estrato arbustivo en el SGR, los dos primeros ejes explican 77.54 % de la variación total de especies (Cuadro 13). El eje F1 explica 53.96 % y el eje F2 23.58 % (Figura 15).

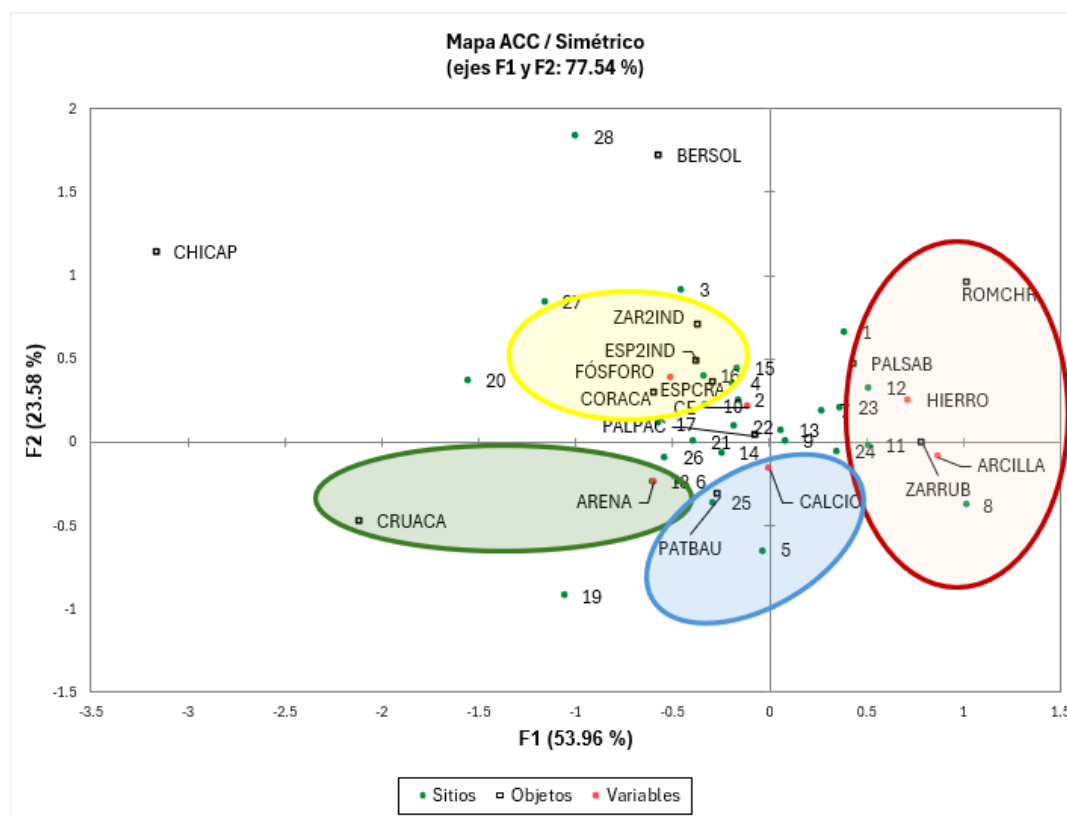


Figura 15. Biplot del análisis de correspondencia canónica para el estrato arbustivo en el sistema de ganadería con manejo regenerativo.

En el biplot (Figura 15), se presentan los cuatro grupos de asociaciones entre algunas especies de arbustos y las variables del suelo; el primer gradiente incluye a los contenidos de hierro y arcilla que se asocian con las arbustivas *Chromolaena odorata* (ROMCHR), *Sabal mexicana* (PALSAB) y *Rubus sp* (ZARRUB), en los cuadrantes 1, 11, 12, 23 y 24.

Las especies arbustivas, *Crataegus monogyna* (ESPCRA), *Rubus sp* (II) (ZAR2IND) y *Acacia cornigera* (CORACA) prefirieron suelos con concentraciones altas de fósforo, mientras que la especie *Bauhinia ungulata* (PATBAU) prefiere suelos con presencia de calcio, mientras que en suelos arenosos predominó la especie *Acanthocereus pentagonus* (CRUACA).

## 4.6 Discusión

### *Variables edáficas*

Los suelos en ambos casos se caracterizaron por ser ácidos, lo que constituye en un factor determinante en la disponibilidad de nutrientes. En este contexto, no se detectaron diferencias significativas en la mayoría de las variables evaluadas en el suelo; sin embargo, se encontraron contrastes importantes relacionados con la textura del suelo, y algunos elementos como calcio, manganeso y boro.

En los suelos del SGC predominó mayor proporción de arcilla y fue significativamente mayor en calcio y manganeso, mientras que, en el SGR predominó mayor proporción de arena y mayor contenido de boro. Estas diferencias podrían ser atribuidas a la asociación de árboles dentro de los sistemas debido a que favorece la disponibilidad de las bases intercambiables en el suelo permitiendo el aumento de cationes como calcio y magnesio; del mismo modo que estos arreglos favorecen la disponibilidad de micronutrientes en el suelo como cobre, manganeso, zinc y boro, ya que ocurre mayor reciclaje de biomasa y la presencia de leñosas permite la extracción de nutrientes de capas más profundas del suelo (Ocampo et al., 2023; Silva-Olaya et al., 2021).

Aunque el contenido de materia orgánica fue alto en ambos sistemas, no se observaron diferencias estadísticas. No obstante, en SGR el suelo presentó valores ligeramente superiores de materia orgánica ( $3.92 \pm 1.97$  %). Este patrón coincide con lo reportado por diversos autores, quienes han documentado un mayor incremento la materia orgánica en sistemas silvopastoriles. Murray et al. (2014) evaluaron la influencia de árboles maderables sobre el contenido de materia orgánica durante 8 años, obteniendo un incremento del 3.86 %, coincidiendo con especies como *Tabebuia rosea*, *Cedrela odorata* y *Enterolobium cyclocarpum*. De manera similar, Caamal-Catzin et al. (2025), reportaron mayores contenidos de materia orgánica en suelos con sistemas silvopastoriles ( $3.3 \pm 0.2$  % más de MO), en comparación con los sistemas convencionales de solo pastos, con densidad mínima de 45 árboles ha<sup>-1</sup> con

arreglo de árboles dispersos. Por otro lado, Hernández et al. (2008) observaron esta misma tendencia en sistemas silvopastoriles con diferentes tipos de suelo.

La incorporación de árboles en los sistemas silvopastoriles contribuye a mejorar la fertilidad del suelo, no solo por mantener o incrementar el carbono orgánico, sino por un efecto favorable en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como por la mayor disponibilidad de nutrientes como: nitrógeno, fósforo y cationes intercambiables (Contreras-Santos et al., 2023; Ocampo et al., 2023). Estos cambios se atribuyen directamente a la entrada y reciclaje de biomasa, proveniente de hojarasca, raíces o cualquier componente botánico además de excretas (Crespo, 2008). De tal manera que se activan procesos biológicos y ecológicos que mejoran la fertilidad del suelo por acción de la macrofauna del suelo, y en otras asociaciones simbióticas con micorrizas, que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica (Alonso, 2011).

Estos resultados coinciden en que, al incluir árboles dentro de los sistemas ganaderos, se genera aumento en el contenido de materia orgánica del suelo, mejorando su fertilidad.

En el presente estudio, el SGR presentó una densidad arbórea de 232 individuos  $\text{ha}^{-1}$ , mientras que, el SGC registró solo 47 individuos  $\text{ha}^{-1}$ . A pesar de esta diferencia en la densidad arbórea presente, el contenido de materia orgánica es ligeramente menor en el SGC. Esto podría explicarse ya que ambos sistemas comparten 21 especies arbóreas de las 32 registradas, lo que sugiere que algunas especies predominen más en la dinámica de nutrientes, así como la calidad del material vegetal (hojarasca, raíces y otros residuos) que influye más que la densidad de árboles por sí misma.

Montagnini (2007) encontró que la concentración de nutrientes en el follaje, hojarasca, así como la tasa de caída y la tasa de descomposición de la hojarasca y la liberación de nutrientes del suelo, varían según el nutriente, la especie y el lugar, comparado plantaciones puras y mixtas de especies nativas de regiones húmedas del Neotrópico. Las plantaciones mixtas presentaron diferencias en la

tasa de descomposición de la hojarasca y en la dinámica de liberación de los nutrientes en el suelo, en comparación de las plantaciones de una misma especie, además de otros beneficios como una mayor biodiversidad, diversidad de productos y protección al suelo contra la erosión.

Asimismo, se ha reportado que especies como *Gliricidia sepium*, presenta tasas de descomposición más rápidas comparado a cafetos, debido a la alta calidad en su hojarasca (Munguía, 2007). Mientras que *Lysiloma acapulcense* mostró lenta tasa de descomposición en diferentes microclimas, indicando que este comportamiento se debe a la composición química en la hojarasca (relación C: N y contenido de lignina), además que funciona como un reservorio de carbono, nitrógeno y materia orgánica, que se libera de manera gradual en el tiempo (Bruno-Eutimio et al., 2022). Por su parte, *Guazuma ulmifolia* es una especie con gran potencial forrajero, utilizado en sistemas silvopastoriles en regiones tropicales en la estación seca por sus múltiples beneficios como alimento para el ganado, además de que contribuye en aumentar la biodiversidad y mejorar la fertilidad del suelo (Manríquez-Mendoza et al., 2011).

En conjunto, estas investigaciones resaltan la importancia de comprender la interacción entre las especies arbóreas, la calidad del material vegetal de cada especie y los procesos de descomposición de la hojarasca, ya que estos factores influyen en la dinámica de los nutrientes y la fertilidad del suelo. Además, esto permite gestionar la densidad y composición de las especies dentro de los sistemas, para fines productivos o de conservación.

Por otro lado, el fósforo en el suelo se presentó en concentraciones bajas a muy bajas, aunque sin diferencias significativas, la concentración de fósforo fue ligeramente más alta en SGR (4.40 mg kg<sup>-1</sup>) en comparación con el SGC (3.79 mg kg<sup>-1</sup>). Esta misma tendencia fue reportada por Caamal-Catzin et al. (2025), quienes reportaron mayor contenido de fósforo en suelos con sistema silvopastoril (1.06 ± 0.7), en comparación con suelos en sistema de pastoreo con solo pastos, presentando niveles de fósforo más bajos que lo reportado en este estudio.

La baja disponibilidad de fósforo en suelos tropicales se relaciona estrechamente con el pH y el contenido de arcilla de los suelos. Al haber un descenso del pH, esto permite el rompimiento de los minerales arcillosos y en consecuencia se liberan elementos como aluminio y hierro. Estos elementos son liberados cuando el pH llega a valores menores de 5.3 y rápidamente reaccionan con el fósforo del suelo provocando la precipitación de compuestos insolubles, haciendo aún menos disponible al fósforo (Espinosa & Molina, 1999; Navarro, S., & Navarro, G., 2003).

En este estudio, en ambos sistemas de manejo presentaron valores de pH inferiores a 5.3 y, aunque no hubo diferencia significativa, el valor de pH más alto se presentó en el SGR (5.26), junto con altas concentraciones de hierro en ambos sistemas, pudieron, condicionar la disponibilidad del fósforo.

No obstante, la concentración más alta en fósforo se encontró en el SGR, con mayor densidad de individuos arbóreos, lo cual indica que la ganadería regenerativa puede mejorar la disponibilidad de fósforo en el suelo. Esto coincide con lo reportado por Alcudia-Aguilar et al. (2024), quienes evaluaron diferentes sistemas agroforestales, los cuales difieren en diversidad y composición de especies y algún grado de intervención. Los autores mencionan que los sistemas agroforestales con mayor riqueza de especies mostraron un incremento en los contenidos de nitrógeno y fósforo.

Las propiedades de suelo se ven afectadas no solo por las características intrínsecas del suelo, si no por otros factores dentro de los sistemas como la composición y diversidad de la vegetación, las condiciones climáticas, y las prácticas de manejo. El incluir árboles dentro de los sistemas regenerativos mejora la disponibilidad de nutrientes e incrementa el contenido de materia orgánica en el suelo, no únicamente por la densidad, si no por la función de las especies dentro del sistema (Ocampo et al., 2023; Contreras-Santos et al., 2023; Silva-Olaya et al., 2021). Además de los beneficios ecológicos, los sistemas agrosilvopastoriles permiten obtener diversidad de productos como madera, leña, resinas entre otros, y la posibilidad de gestión de los recursos naturales enfocada

a la conservación y fines productivos sostenibles a largo plazo (Alayon-Gamboa et al., 2018; Román et al., 2016).

Conocer el estado actual del suelo es fundamental para tomar decisiones sobre la selección de las especies arbóreas y arbustivas, su distribución y el manejo del componente leñoso con el fin de gestionar adecuadamente la funcionalidad y sostenibilidad de los sistemas.

### *Análisis de componentes principales*

De acuerdo con el análisis de componentes principales respecto a todas las variables de suelo en ambos sistemas, se confirma los patrones observados previamente. Las variables de suelo con mayor carga factorial en ambos sistemas de manejo fueron las asociadas con la textura, principalmente la arcilla, así como la arena y el limo. En este sentido, los suelos del SGC presentaron mayor proporción de partículas de arcilla, mientras que el SGR se caracterizó por mayor presencia de arena en la textura del suelo.

Asimismo, otras variables como calcio, magnesio y densidad aparente mostraron mayores cargas factoriales en el SGC, mientras que, en el SGR el fósforo y la conductividad eléctrica fueron las variables con mayor peso en la estructuración de la variabilidad edáfica. Estas asociaciones reflejan que, además de la textura, hay diferencias en la dinámica de los nutrientes en el suelo, posiblemente relacionadas con el manejo, la composición de especies presentes y procesos de reciclaje de materia orgánica.

El análisis de componentes principales es una herramienta multivariada para identificar variables edáficas más relevantes en sistemas agroforestales y seleccionar indicadores clave del suelo. Por ejemplo, Mulyono, Suriadikusumah, Harriyanto y Djuwansah (2018) reportaron que las variables edáficas como calcio intercambiable, carbono orgánico, sodio y pH representaron la mayor carga factorial en diferentes arreglos agroforestales, siendo determinantes para calcular el índice de calidad de suelo. En ese estudio, los valores de calidad del suelo

variaron de acuerdo con el arreglo agroforestal, debido a la composición de las especies, el tipo de sistema de producción y las condiciones de manejo en cada sistema.

Asimismo, Contreras-Santos et al. (2023), evaluaron diferentes sistemas agropecuarios (sistema forestal comercial, ganadería bovina tradicional, sistemas agroforestales con cacao y sistemas silvopastoriles), señalaron que la capacidad de intercambio catiónico fue el indicador con mayor peso en la construcción del índice de calidad de suelo, asimismo, variables como la resistencia mecánica a la penetración, porcentaje de arena, pH y el contenido de fósforo, fueron seleccionadas para integrar el índice de calidad, destacando que los sistemas que presentaron los mayores valores de calidad del suelo y un incremento en los macronutrientes y el contenido de materia orgánica fueron los sistemas asociados con especies arbóreas o arbustivas.

En conjunto, estos antecedentes refuerzan que el manejo en los sistemas agropecuarios y la composición de la vegetación impacta en las propiedades físico – químicas del suelo, y que el uso de índices de calidad del suelo permite sintetizar la complejidad de un conjunto de variables.

Aunque en el presente estudio no se desarrollaron índices de calidad de suelo, el análisis de componentes principales permitió identificar las variables más relevantes en la variabilidad de los componentes físico - químicos del suelo. Estas variables edáficas presentan relación con la composición de especies presentes, el funcionamiento del sistema agroforestal y prácticas de manejo, así como con otros factores ambientales como las condiciones climáticas de cada sitio. Toda esta información permite ampliar el panorama respecto a la asociación del componente arbóreo en los sistemas de aprovechamiento del suelo.

#### *Análisis de correspondencia canónica*

En el ACC se relacionó la abundancia de las especies en cada sistema de pastoreo en los estratos arbóreo y arbustivo con las variables ambientales. En

este caso se utilizaron las variables edáficas con mayor carga factorial distribuidas en los tres primeros componentes principales.

En lo que respecta al estrato arbóreo del SGC, la distribución de las especies tuvo preferencia por la textura del suelo, particularmente por el contenido de arcilla. En el espacio canónico se observa que la mayoría de las especies se inclinó por la arcilla y por el contenido de calcio y magnesio mientras que otras especies prefirieron suelos arenosos. Así, las arbóreas *Guazuma ulmifolia* y *Byrsonima crassifolia*, se distribuyeron ante la presencia de suelos con textura limosa de forma similar en ambos sistemas de pastoreo.

La proximidad de *Lysiloma acapulcense* con la variable densidad aparente (DAP) en el suelo, sugiere una asociación con variaciones en la estructura, como el grado de compactación y la aireación. No obstante, esta misma especie en el SGR se asoció con contenidos de fósforo y calcio, y con la conductividad eléctrica del suelo, indicando que su distribución esta influenciada tanto por propiedades físicas como químicas del suelo, particularmente aquellas relacionadas con la fertilidad, incluyendo el contenido de materia orgánica.

Resultados similares fueron reportados por Omari, Mworio, Gichuki y Mlilo (2020) quienes encontraron que la densidad aparente, el calcio, magnesio, potasio y la capacidad de intercambio catiónico influyeron en la distribución de las especies en dos regiones aluviales, señalando que la composición vegetal está determinada por las propiedades del suelo y por el nivel de perturbación de la vegetación dado por el régimen de inundación.

La distribución de la vegetación en el SGR se asoció principalmente a la disponibilidad de fósforo, ya que este elemento presentó la mayor carga en el eje F1. Por otro lado, especies como *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea*, se asociaron con el contenido de hierro, por lo que su distribución podría estar relacionada con la disponibilidad de micronutriente, además de que este comportamiento puede ser propio de este sistema de pastoreo.

Los suelos del trópico por lo general se caracterizan por ser suelos ácidos, está estrechamente relacionado por una alta saturación del aluminio, aunque también por deficiencia de calcio o magnesio o toxicidad por manganeso. Sin embargo, diversos cultivos, algunos pastos y leguminosas, suelen ser tolerantes a condiciones de acidez en el suelo (Sánchez, 2021).

La distribución de las especies en los sistemas de ganadería tropical concuerda con lo señalado por Clark (2002), quien destaca que los factores edáficos son fundamentales para la distribución de la vegetación en bosques tropicales. Particularmente, se resalta la importancia de la estructura física y la proporción de arcilla en el suelo, debido a su influencia en la capacidad de retención de agua y nutrientes.

En ambos sistemas, las variables relacionadas con la textura del suelo fueron las de mayor asociación en los ejes canónicos, siendo la fracción arcilla un factor relevante en la distribución de las especies vegetales. Adicionalmente, en el sistema de ganadería con manejo regenerativo la disponibilidad de fósforo también se asoció con la distribución de las especies, lo que indica que aparte de la textura del suelo la fertilidad edáfica juega un papel importante dentro de estos sistemas.

#### **4.7 Conclusiones**

El análisis en conjunto evidenció que las especies arbóreas tienen una función importante dentro del sistema y están asociadas con las características físicas y químicas del suelo, resaltando la importancia de su composición y diversidad en los procesos ecológicos como la descomposición de la hojarasca y el reciclaje de nutrientes. Es importante destacar la relación suelo-vegetación en la gestión de sistemas silvopastoriles, ya sea para fines productivos o regenerativos.

Las variables edáficas que mostraron influencia entre los sistemas de pastoreo incluyeron a los contenidos de arcilla, arena, calcio, manganeso y boro. El análisis de componentes principales evidenció que la proporción de arcilla presentó la

mayor contribución en ambos sistemas de pastoreo. El análisis de correspondencia canónica indicó que la distribución de las especies se asocia principalmente a la textura del suelo y en el sistema de ganadería regenerativa a la disponibilidad de fósforo. Esto sugiere que la estructura y fertilidad del suelo influyen de manera importante en la distribución de la vegetación en sistemas de ganadería en el trópico seco.

Asimismo, se identificaron oportunidades de investigaciones futuras como el incluir el contenido de aluminio en el suelo para comprender mejor la acidez del suelo y la disponibilidad de fósforo, así como el análisis de calidad de la hojarasca de las especies, especialmente de las más importantes o las de mayor abundancia, lo que permitirá profundizar en la función ecológica y en estrategias de manejo.

Aunque en este estudio no se calcularon índices de calidad de suelo, las variables identificadas a partir del análisis de componentes principales pueden contribuir para generar índices de calidad en futuras investigaciones, permitiendo hacer evaluaciones más integrales del estado del suelo en los sistemas estudiados.

#### 4.8 Literatura citada

- Alayon-Gamboa, J. A., Jiménez-Ferrer, G., Nahed-Toral, J., & Villanueva-López, G. (2018). *Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México*. *Agro Productividad*, 9(9), 10-15. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/809/673>
- Alcudia-Aguilar, A., Villanueva-López, G., Alayón-Gamboa, J. A., Nahed-Toral, J., Aryal, D. R., Casanova-Lugo, F., Ayala-Montejo, D., Martínez-Zurimendi, P., Jiménez-Ferrer, G., De la Cruz-López, C. A., & Medrano-Pérez, O. R. (2024). *Plant species richness in agroforestry systems correlates to soil fertility in the humid tropic of Mexico*. *Agroforestry Systems*, 98(4), 891-909. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00961-4>
- Alonso, J. (2011). *Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 107-115. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022245001.pdf>
- Ángel-Hernández, A., García-Munguía, C. A., Aguilar-Urquiza, E., García-Munguía, A. M., Lemus-Flores, C., & Morales-Flores, S. (2024). *Sistemas silvopastoriles y las condiciones para su establecimiento*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 11(2), 158-171. <https://doi.org/10.60158/rma.v11i2.425>
- Antonio-Medina, A., Morales-Rivera, A., Ramírez-Bribiesca, J. E., & Paredes-Díaz, D. (2025). *Caracterización de sistemas silvopastoriles como estrategias de gestión sostenible*. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 33(3), 123-135. <https://doi.org/10.53588/alpa.330301>
- Aquino-Zapata, A. M., Carral-Domínguez, J. R., Delfín-Alfonso, C. A., & Carvajal-Hernández, C. I. (2025). *Riqueza y estructura de vegetación leñosa en selva baja caducifolia con diferentes grados de perturbación en el sureste de México*. *Botanical Sciences*, 104(1), 242-256. <https://doi.org/10.17129/botsci.3765>
- Bravo-Peña, F., Toro-Letelier, J. J., Alvial Cabrera, N., Hargreaves Méndez, M., & Alfaro Rojas, C. (2024). *Ganadería regenerativa Definición, caracterización y recomendaciones de políticas*. En CEPAL (LC/TS.2024/134). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/490116fd-3d06-47cf-9f98-213e717d2d82/content>
- Bruno-Eutimio, D. I., De la Luz Avendaño- Yáñez, M., Perroni, Y., Salinas-Ruíz, J., De la Cruz Vargas- Mendoza, M., & López-Ortíz, S. (2022). *Descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de árboles en*

*pastizales. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3).  
<https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3205>

- Caamal-Catzin, J. I., Rosales-Martínez, V., Bautista-Ortega, J., Soto-Barajas, M. C., & Fraire-Cordero, S. (2025). *Calidad física y química del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México*. TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas, 28, 1-8. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2025.745>
- Clark, D. B. (2002). Los factores edáficos y la distribución de las plantas. En M. R. Guariguata & G. H. Kattan (Eds). *Ecología y conservación de Bosques Neotropicales* (pp. 193 – 221). Libro Universitario Regional.
- Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Raghavan, B., López-Rebolledo, L., & Garrido-Pineda, J. (2021). *Sistemas silvopastoriles: mitigación de gases de efecto invernadero, bosque seco tropical - Colombia*. Agronomía Mesoamericana, 32(3), 901-919. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.43313>
- Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Rodríguez-Vitola, J. L., Barragán-Hernández, W., Garrido-Pineda, J., & Falla-Guzman, C. K. (2023). *Índice de Calidad del Suelo Bajo Sistemas Agropecuarios en el Bosque Seco Tropical-Colombia*. Terra Latinoamericana, 41. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1694>
- 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. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193015490001.pdf>
- De la Peña-Domene, M., Ayestarán-Hernández, L. M., Márquez-Torres, J. F., Martínez-Monroy, F., Rivas-Alonso, E., Carrasco-Carballido, P. V., Pérez-Cruz, M. N., Landa, F. A. C., & Martínez-Garza, C. (2022a). *Sistemas silvopastoriles enriquecidos: una propuesta para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México*. Acta Botánica Mexicana, 129. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1925>
- De Vos, B. Lettens, S., Muys, B., & Deckers, J. A. (2007). Walkley–Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use and Management*, 23(3), 221-229. <https://doi/epdf/10.1111/j.1475-2743.2007.00084.x>
- Enríquez, Quiroz, J. F., Esqueda Esquivel, V. A., & Martínez Méndez, D. (2021). *Rehabilitación de praderas degradadas en el trópico de México*. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 12(Supl. 3), 243-260. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5876>

- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalados de los suelos*. Instituto de la Potasa y el fósforo (INPOFOS).
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=8192693&pid=S2007-1124201400020000900016&lng=es](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=8192693&pid=S2007-1124201400020000900016&lng=es)
- Hernández, Chávez, M., Sánchez Cárdenas, S., & Simón Guelmes, L. (2008). *Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica*. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 319-321.  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-72692008000300035](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000300035)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010: Tierra Blanca, Veracruz de Ignacio de la Llave. En INEGI.  
[https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/30/30174.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30174.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Aspectos Geográficos de Veracruz de Ignacio de la Llave: *Compendio 2022*.  
[https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/889463914228.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463914228.pdf)
- Manríquez-Mendoza, L. Y., López-Ortíz, S., Pérez-Hernández, P., Ortega-Jiménez, E., López-Tecpoyotl, Z. G., & Fuentes, M. V. (2011). *Agronomic and forage characteristics of Guazuma ulmifolia Lam.* *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 453-463.  
<https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a1.pdf>
- Montagnini, F. (2007). *Soil sustainability in agroforestry systems: Experiences on impacts of trees on soil fertility from a humid tropical site*. En D. R. Batish, R. K. Kohli, S. Jose & H. P. Singh (Eds.), *Ecological basis of agroforestry* (pp. 239–252). CRC Press.
- Mulyono, A., Suriadikusumah, A., Harriyanto, R., & Djuwansah, M. (2018). *Soil Quality under Agroforestry Trees Pattern in Upper Citarum Watershed, Indonesia*. *Journal Of Ecological Engineering*, 20(1), 203-213.  
<https://doi.org/10.12911/22998993/93942>
- Munguía, Hernández, R. (2007). *Tasas de descomposición de la hojarasca en un Sistema Agroforestal con café en el Pacífico de Nicaragua*. *La Calera*, 7(8), 10-14. <https://lacalera.una.edu.ni/index.php/CALERA/article/view/75>

- Murray, R. M., Orozco, M. G., Hernández, A., Lemus, C., & Nájera, O. (2014). *El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo*. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 18(1), 23-31.  
<https://doaj.org/article/f2b1812e5df241f78d083a0338dd53d5>
- Navarro, Blaya, S., & Navarro, García, G. (2003). *Química Agrícola* (2da Edición). Mundi – Prensa.
- Ocampo, L. E., Osorio, W., Martínez, J., & Cabrera, K. R. (2023). *Indicadores químicos de la salud del suelo en sistemas silvopastoriles, bosque de restauración y cultivo de maíz en un bosque seco tropical*. *Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales*, 11(3), 220-232.  
[https://doi.org/10.17138/tgft\(11\)220-232](https://doi.org/10.17138/tgft(11)220-232)
- Omari, J. K., Mworio, J. K., Gichuki, N. N., & Mligo, C. (2020). *Soil properties and their influence on tree species distribution on and off the floodplain in the Tana River area of Kenya*. *Journal Of Sustainability Environment And Peace*, 3(1), 1-7. <http://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/154829>
- Ortega-Baranda, V., Sánchez-Bernal, E. I., Sánchez-Aragón, L., De los Ángeles Luis-Reyna, M., & Ruvalcaba-Gómez, G. (2020). *Vegetación arbórea de selvas bajas caducifolias en suelos litosoles y regosoles eutricos degradados*. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 377-390.  
<https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.611>
- Porta, J., López-Acevedo, M., Poch R. M. 2013. *Edafología. Uso y protección de suelos*. Mundi – Prensa. 608 p.
- Ramírez, W. M., & Ramírez, J. M. (2009). *Municipios con mayor biodiversidad en Veracruz*. *Foresta Veracruzana*, 11(2), 43-50.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49712336007>
- Román, Miranda, M. L., Mora Santacruz, A., & González Cueva, G. A. (2016). *Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable, en el trópico seco de México*. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 20(2), 53-72.  
<https://www.redalyc.org/journal/837/83754343006/83754343006.pdf>
- Sánchez, San Martín, P. A. (2021). *Suelos del trópico: características y manejo* (2.<sup>a</sup> ed.). Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Diario Oficial de la Federación.

[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002#gsc.tab=0)

- Silva-Olaya, A. M., Olaya-Montes, A., Polanía-Hincapié, K. L., Cherubin, M. R., Duran-Bautista, E. H., & Ortiz-Morea, F. A. (2021). *Los Sistemas Silvopastoriles mejoran la salud del suelo en la región Amazónica*. Sustainability, 14(1). <https://doi.org/10.3390/su14010320>
- Tellez, Bautista, D., Zavala Martínez, E., Grande Cano, J. D., & Vieyra Durán, J. E. (2023). *La importancia de la valoración del suelo en la ganadería tropical de México*. Revista de Fomento Social, 78(3), 319-340. <https://doi.org/10.32418/rfs.2023.307.5274>
- Vallejo-Quintero, V. E. (2013). *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles*. Colombia Forestal, 16(1), 83-99. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-07392013000100006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-07392013000100006&script=sci_arttext)
- Vázquez, Rojas, H. M. (2025, noviembre 19). Tierra Blanca (municipio). XWiki. <http://148.226.12.161:8080/eqvadmin/bin/view/enciclopedia/Tierra%20Blanca>

## 5. CONCLUSIONES GENERALES

La presente tesis permitió evaluar la estructura, composición y diversidad de las especies arbóreas y arbustivas, así como caracterizar las propiedades edáficas en dos sistemas de manejo ganadero: convencional y regenerativo. Con base a los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis alterna planteada para este presente proyecto: “la diversidad vegetal leñosa y los atributos fisicoquímicos del suelo difieren entre los sistemas de ganadería convencional y regenerativa”.

Los resultados evidenciaron que los sistemas silvopastoriles con manejo regenerativo presentan mayor diversidad, riqueza y abundancia de individuos arbóreos. En el estrato arbustivo, las diferencias se observaron principalmente en la diversidad. No obstante, el índice de similitud mostró comunidades vegetales más homogéneas en el estrato arbustivo en comparación con el estrato arbóreo en el sistema de ganadería convencional

Se obtuvo información relevante sobre la dominancia de las especies dentro de ambos sistemas de pastoreo, destacando principalmente *Guazuma ulmifolia*, y *Gliricidia sepium*, especies arbóreas reconocidas por su potencial forrajero, así como *Cedrela odorata* y *Tabebuia rosea* con alto valor maderable. Además, se identificó la abundancia de cada especie dentro de los sistemas evaluados, información clave para orientar estrategias de manejo y conservación de los sistemas ganaderos en condiciones del trópico seco.

En relación con los atributos del suelo, se encontraron diferencias estadísticas significativas con la textura del suelo y elementos minerales como calcio y manganeso, donde junto con la arcilla tuvieron mayor influencia en el sistema de ganadería con manejo convencional, mientras que en el sistema de ganadería con manejo regenerativo destacaron la textura arenosa y el boro en el suelo. Ambos sistemas de pastoreo presentaron valores de pH ácidos, condición que generalmente limita la disponibilidad de fósforo. Sin embargo, el sistema de ganadería con manejo regenerativo registró mayor disponibilidad de este

elemento nutritivo para las plantas, lo que se asoció con alta densidad de árboles y mayor diversidad y riqueza de especies dentro del sistema de pastoreo, ya que el fósforo se considera un elemento importante en la distribución y composición de las especies, de la misma manera que el contenido de arcilla.

Los resultados obtenidos en esta investigación constituyen una base importante para establecer criterios de manejo, redistribución y selección de las especies arbóreas y arbustivas dentro de los sistemas ganaderos, así como para el diseño de sistemas silvopastoriles enfocados a la agricultura regenerativa en el trópico seco del estado de Veracruz.

Este trabajo abre la posibilidad a desarrollar futuras investigaciones orientadas a la generación de índices de calidad de suelo y al análisis de las tasas de descomposición de la hojarasca de las especies dominantes de la región, tanto de vegetación original como secundaria de la selva baja caducifolia, ya que estos procesos influyen directamente en el contenido y disponibilidad de nutrientes del suelo y, en consecuencia, en la fertilidad y productividad necesarias para mantener sistemas ganaderos sostenibles en el bosque seco tropical.

## 6. ANEXOS

Anexo 1. Nombre común, nombre científico y código de identificación de las especies arbóreas compuesto por las primeras tres letras del nombre y nombre científico, registradas en los sistemas de ganadería convencional y regenerativa.

| Número | Nombre común   | Nombre científico               | Código ID |
|--------|----------------|---------------------------------|-----------|
| 1      | Algodoncillo   | <i>Luehea candida</i>           | ALGLUE    |
| 2      | Borreguillo    | <i>Ehretia tinifolia</i>        | BOREHT    |
| 3      | Cañamazo       | <i>Lysiloma acapulcense</i>     | CAÑLYS    |
| 4      | Cedro rojo     | <i>Cedrela odorata</i>          | CEDCED    |
| 5      | Chirimoyo      | <i>Annona cherimola</i>         | CHIANN    |
| 6      | Ciruelo        | <i>Spondias purpurea</i>        | CIRSPO    |
| 7      | Cocuile        | <i>Gliricidia sepium</i>        | COCGLI    |
| 8      | Crucetillo     | <i>Randia monantha</i>          | CRURAN    |
| 9      | Cuajilote      | <i>Parmentiera aculeata</i>     | CUAPAR    |
| 10     | Espino         | <i>Acacia cochliacantha</i>     | ESPACA    |
| 11     | Guanábana      | <i>Annona muricata</i>          | GUAANN    |
| 12     | Guásimo        | <i>Guazuma ulmifolia</i>        | GUAGUA    |
| 13     | Higuera        | <i>Ficus obtusifolia</i>        | HIGFIC    |
| 14     | Ilama          | <i>Annona macrophyllata</i>     | ILAANN    |
| 15     | Jabín          | <i>Piscidia piscipula</i>       | JABPIS    |
| 16     | Jobo           | <i>Spondias mombin</i>          | JOBSPO    |
| 17     | Moral          | <i>Chlorophora tinctoria</i>    | MORCHL    |
| 18     | Nacaste        | <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | NACENT    |
| 19     | Nanche         | <i>Byrsonima crassifolia</i>    | NANBYR    |
| 20     | Palma de coyol | <i>Acrocomia vinifera</i>       | PALACR    |
| 21     | Palma redonda  | <i>Sabal mexicano</i>           | PALSAB    |
| 22     | Palo amarillo  | <i>Diphyssa americana</i>       | PALDIP    |
| 23     | Palo mulato    | <i>Bursera simaruba</i>         | PALBUR    |
| 24     | Palo volador   | <i>Zuelania guidonia</i>        | PALZUE    |

|    |              |                              |        |
|----|--------------|------------------------------|--------|
| 25 | Papayo       | <i>Carica papaya</i>         | PAPCAR |
| 26 | Pochote      | <i>Ceiba pentandra</i>       | POCCEI |
| 27 | Rajador      | <i>Hymenaea courbaril</i>    | RAJHYM |
| 28 | Roble rosado | <i>Tabebuia rosea</i>        | ROBTAB |
| 29 | Sangregado   | <i>Croton draco</i>          | SANCRO |
| 30 | Tetlaltín    | <i>Comocladia engleriana</i> | TETCOM |
| 31 | Tres hojas   | <i>Cordia alliodora</i>      | TRECOR |
| 32 | Uvero        | <i>Coccoloba uvifera</i>     | UVECOC |

Anexo 2. Nombre común, nombre científico y código de identificación de las especies arbustivas compuesto por las primeras tres letras del nombre común y científico, registradas en los sistemas de ganadería convencional y regenerativa.

| No | Nombre común   | Nombre científico                        | Código ID |
|----|----------------|------------------------------------------|-----------|
| 1  | Berenjena      | <i>Solanum torvum</i>                    | BERSOL    |
| 2  | Chilpaya       | <i>Capsicum annuum</i>                   | CHICAP    |
| 3  | Cornezuelo     | <i>Acacia cornigera</i>                  | CORVAC    |
| 4  | Cruzeta        | <i>Acanthocereus<br/>pentagonus (L.)</i> | CRUACA    |
| 5  | Espino blanco  | <i>Crataegus monogyna</i>                | ESPCRA    |
| 6  | Espino blanco2 | <i>Indeterminado</i>                     | ESP2IND   |
| 7  | Palma de coyol | <i>Acrocomia aculeata</i>                | PALACR    |
| 8  | Palma redonda  | <i>Sabal mexicana</i>                    | PALSAB    |
| 9  | Pata de venado | <i>Bauhinia ungulata</i>                 | PATBAU    |
| 10 | Rompe fierro   | <i>Chromolaena odorata</i>               | ROMCHR    |
| 11 | Zarza          | <i>Rubus sp</i>                          | ZARRUB    |
| 12 | Zarza 2        | <i>Rubus sp (II)</i>                     | ZAR2IND   |