



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V**



**Degradación de praderas y su impacto en la biodiversidad y la
provisión de servicios ecosistémicos**

TESIS

que para obtener el grado de

DOCTORA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD

presenta

TERESITA DE JESÚS CASTRO CASTILLO PS1851

Director de tesis

DR. RENÉ PINTO RUIZ

Codirector de tesis

DR. DAVID HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

Villaflores, Chiapas, México.

Julio de 2024.



Villaflores, Chiapas
28 de junio de 2024
Oficio N° D/0557/24

M.C. TERESITA DE JESÚS CASTRO CASTILLO
DOCTORANTE EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS CAMPUS V
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado, designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **"Degradación de praderas y su impacto en la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos"**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRONÓMICAS

M. C. CARLOS ALEJANDRO LAZQUEZ SANABRIA
DIRECTOR



C. c. p. Archivo

CAVS*mañ.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

SECRETARÍA ACADÉMICA

COORDINACIÓN DE BIBLIOTECAS UNIVERSITARIAS



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Teresita de Jesús Castro Castillo, Autor (a) de la tesis bajo el título de Degradación de praderas y su impacto en la biodiversidad y la provisión de los servicios ecosistémicos presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para obtener el título o grado de Doctora en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 02 días del mes de agosto del año 2024.

Teresita de Jesús Castro Castillo

Nombre y firma del Tesista o
Tesisistas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia: A mi madre María Virginia Castillo Aguilar, mi abuelita Zoraida Aguilar y mi tía Maty Castillo, que fueron los pilares de mi existencia. A mi esposo Mauricio Enoch Ocaña Náñez, porque aparte de su apoyo técnico y académico, me aportó entusiasmo para continuar y porque junto a mis hijas Ariadna Nayeli y Jessica Naomi, me brindan cada día el amor, el tiempo y el acompañamiento, para seguir aprendiendo de la vida. A mis hermanos, cuñadas, sobrinos y sobrinas, a Papamón, a Joanna; por estar presentes y a la memoria de Tatamón.

A los Doctores René Pinto Ruiz, Deb Raj Aryal, Francisco Guevara Hernández, Manuel Alejandro La O Arias de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V de la UNACH, al Dr. David Hernández Sánchez del Colegio de Posgraduados y a la Ph D. Alejandra Martínez Salinas, del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, porque mediante las asesorías, me brindaron sus sabios consejos y respaldo académico para realizar la presente investigación como parte de mi formación en el **Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad**.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y a la Universidad Autónoma de Chiapas, por el apoyo financiero, administrativo y laboral.

A las personas habitantes de las localidades San Marcos, La Nueva Unión e Ignacio Zaragoza, por el hospedaje, por su apoyo, sus contribuciones, su sabiduría, por compartir cada uno de los espacios productivos y principalmente por la confianza que me brindaron. Al ing. Luis Alberto, por su apoyo logístico en campo.

Al Ing. Raúl Díaz, exsubdirector del Área Natural Protegida “La Frailescana” de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, por su apoyo logístico y respaldo institucional. Al personal del herbario Chip del IHNE, por su apoyo en la determinación taxonómica de las plantas colectadas.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo general.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Sustentabilidad y su determinación a través de indicadores.....	4
2.1.1. Sustentabilidad en las praderas.....	4
2.1.2. Selección de indicadores para determinar cambios benéficos o degradación en los agroecosistemas.....	4
2.1. Degradación de praderas	6
2.1.1. Relación entre la degradación de praderas y la biodiversidad	6
2.1.2. Biodiversidad y degradación de la pradera	6
2.1.3. La pradera como un sistema que brinda servicios ecosistémicos	7
2.1.4. Afectación de los servicios ecosistémicos en la pradera.....	8
2.1.5. Estudios relevantes de la relación entre las praderas y los servicios ecosistémicos.....	9
2.1.6. Estimación de la degradación de praderas	9
2.1.7. Evaluación de la degradación mediante sistemas de información geográfica.....	10
2.2. Las áreas naturales protegidas y las praderas	11
2.2.1. Importancia de las áreas naturales protegidas a nivel regional.....	11
2.2.2. Política de la conservación y su relación con la degradación.....	11
2.2.3. Áreas naturales y las praderas	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13

2.1	Descripción del área de estudio.....	13
2.2	Materiales, equipos y programas.....	14
2.3	Flujograma de actividades.....	16
2.4	Selección de los sitios de los diferentes muestreos.....	17
2.5	Métodos y técnicas.....	20
2.5.1	Experimento 1. Evaluación de la degradación de praderas, mediante la estimación de áreas afectadas a través de herramientas de análisis de sistemas de información geográfica.	20
2.5.2.	Experimento 2. Explorar las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y el impacto a la biodiversidad a nivel local y regional	21
2.5.3.	Experimento 3. Desarrollar indicadores de niveles o etapas de degradación de praderas, con base en la evaluación de variables físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas.	22
2.5.4.	Experimento 4. Explorar las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y la provisión de los servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación, soporte y hábitat que brinda la pradera.....	32
IV.	RESULTADOS.....	35
4.1	Evaluación de la degradación de praderas, mediante la estimación de áreas afectadas a través de herramientas de análisis de sistemas de información geográfica.....	35
4.2	Relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y el impacto a la biodiversidad a nivel local y regional	38
4.3	Desarrollo de indicadores de niveles de degradación de praderas con base a la evaluación de variables físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas.....	45
4.3.1	Determinación de indicadores de niveles de degradación de praderas con base a la evaluación de variables socioeconómicas	45
4.3.2	Determinación de indicadores de niveles de degradación de praderas con base a la evaluación de variables físicas.	51
4.3.3	Indicadores de niveles de degradación de praderas basados en variables biológicas.....	58
4.3.4	Indicadores de niveles de degradación de praderas basados en variables químicas	67
4.4.	Exploración de las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y la provisión de los servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación, soporte y hábitat que brinda la pradera.....	75
4.4.1.	Importancia de los servicios ecosistémicos mediante una evaluación cualitativa, según la percepción de los productores	75

4.4.2. Impacto a los servicios ecosistémicos según los análisis físicos, químicos y biológicos.....	76
4.4.3. Análisis predictivo de la degradación mediante IDW.....	81
4.4.4. Validación del estudio para evaluar la degradación.	85
V. CONCLUSIONES	86
VI. REFERENCIAS.....	87
VII. APÉNDICE (ANEXOS).....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área natural protegida La Frailescana (a) y de los ejidos Ignacio Zaragoza, La Nueva Unión y San Marcos (b), municipio de Villa Corzo, Chiapas.	14
Figura 2. Flujograma metodológico para determinar los indicadores de niveles de degradación de praderas en un área ganadera.....	16
Figura 3. Flujograma metodológico para explorar las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas, la biodiversidad y la provisión de los servicios ecosistémicos que brindan las praderas en un área ganadera.	17
Figura 4. Temporalidad de uso ganadero de cada sitio productivo en los ejidos seleccionados en el ANP La Frailescana, Chiapas.	19
Figura 5. Modelo de observación biológica, evaluación física y toma de muestras de suelo y vegetación en los sitios de muestreo.	25
Figura 6. Estrategia de muestreo para el análisis regional en áreas ganaderas del ANP La Frailescana.....	27
Figura 7. Superficie (ha) de praderas en diferentes niveles de degradación por erosión en el ANP La Frailescana.	36
Figura 8. Superficie (ha) degradada según el uso del suelo en tres ejidos del ANP La Frailescana.	37
Figura 9. Superficie (ha) de praderas degradadas por erosión en tres ejidos del ANP La Frailescana.	38
Figura 10. Características del territorio de tres ejidos prioritarios para el ANP La Frailescana.	41
Figura 11. Población total y por género en el ejido La Nueva Unión, Villa Corzo, Chiapas, México.	42
Figura 12. Población total y por género en el ejido San Marcos, Villa Corzo, Chiapas, México.	43
Figura 13. Valores de degradación de las variables socioeconómicas en las parcelas evaluadas, en el ANP La Frailescana.....	48
Figura 14. Comparación de la degradación de praderas según las variables socioeconómicas, entre áreas ganaderas.	50
Figura 15. Comparación temporal de los valores de degradación de las variables físicas de seis parcelas ganaderas en el ANP La Frailescana.	57
Figura 16. Comparación temporal de los valores de degradación de las variables biológicas de seis parcelas ganaderas.....	65
Figura 17. Comparación de la degradación de praderas según las variables biológicas, entre áreas ganaderas.....	66
Figura 18. Comparación temporal de la diversidad alfa de las plantas encontradas en seis parcelas ganaderas.....	67
Figura 19. Comparación temporal de los valores de degradación de las variables químicas de seis parcelas ganaderas.	73
Figura 20. Comparación de la degradación de praderas según las variables químicas, entre áreas ganaderas.	74

Figura 21. Selección de componentes principales en las praderas ganaderas en el ANP La Frailescana.....	77
Figura 22. Análisis de los componentes principales de las variables físicas, biológicas y químicas de 150 sitios en parcelas de uso ganadero, Villa Corzo, Chiapas, México.	80
Figura 23. Distribución espacial de la degradación de praderas en áreas ganaderas del ANP La Frailescana.....	82
Figura 24. Nivel de degradación de las praderas dedicadas al pastoreo en el ANP La Frailescana.....	84

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Materiales, equipos y programas utilizados para conocer la degradación de praderas en un área ganadera en el ANP La Frailescana, Chiapas.....	15
Cuadro 2. Selección de sitios de muestreo para el logro de los objetivos.	18
Cuadro 3. Cantidad de sitios de muestreo y muestras analizadas.....	24
Cuadro 4. Cantidad de sitios de muestreo y muestras compuestas de suelo analizadas en áreas ganaderas del ANP La Frailescana, Chiapas.....	26
Cuadro 5. Referencia para establecer la intensidad de la correlación entre variables (Rowntree, 1984).....	33
Cuadro 6. Caracterización del paisaje y del territorio en las parcelas evaluadas.....	44
Cuadro 7. Variables socio-productivas determinadas en las parcelas ganaderas evaluadas.	46
Cuadro 8. Indicadores socioeconómicos de degradación en praderas de uso ganadero en el ANP La Frailescana.....	47
Cuadro 9. Composición de la textura y características físicas del suelo en parcelas ganaderas en el ANP La Frailescana.	51
Cuadro 10. Evaluación de las variables físicas estructurales en temporada de sequía.	52
Cuadro 11. Evaluación de las variables físicas estructurales en temporada de lluvias, en el ANP La Frailescana.....	53
Cuadro 12. Evaluación de las variables físicas estructurales en las praderas a finales de la época de lluvias.	54
Cuadro 14. Indicadores físicos de la degradación en praderas de uso ganadero.....	55
Cuadro 15. Evaluación visual de las variables biológicas en las diferentes parcelas, en temporada de sequía en áreas ganaderas.....	58
Cuadro 16. Evaluación visual de las variables biológicas en temporada de lluvias en áreas ganaderas.....	60
Cuadro 17. Evaluación visual de las variables biológicas a finales de la temporada de lluvias.	61
Cuadro 18. Indicadores biológicos de degradación en praderas de uso ganadero....	62
Cuadro 19. Comparación temporal de los valores promedio de las variables químicas en praderas ganaderas.	69
Cuadro 20. Evaluación de las variables químicas a finales de la temporada de lluvias (octubre).....	70
Cuadro 21. Indicadores químicos de degradación en praderas de uso ganadero.	71
Cuadro 22. Valoración de los servicios ecosistémicos bajo la perspectiva de cada productor y observaciones en el ANP La Frailescana.	76
Cuadro 23. Análisis de dos componentes principales en 18 variables físicas, variables y químicas en el ANP La Frailescana.....	78
Cuadro 24. Degradación local y promedio regional en las praderas dedicadas al pastoreo de bovinos en el ANP La Frailescana.....	83

RESUMEN

Se estudió la degradación de las praderas y su impacto a la biodiversidad, así como a la provisión de los servicios ecosistémicos de provisión, hábitat y regulación; cualitativa y cuantitativamente. Se realizaron muestreos en tres temporadas: sequía, lluvias y al final de las lluvias; en el año 2021. La región de estudio fueron las praderas bajo ganadería extensiva con pastoreo de bovinos en el área natural protegida (ANP) conocida como La Frailescana y específicamente en tres ejidos de importancia para la conservación de dicha área. Se realizó un análisis geográfico del paisaje para determinar la superficie de degradación por erosión en las praderas del ANP. Se realizó un análisis del impacto a la biodiversidad, mediante un estudio del paisaje y del territorio, con bases de datos digitales y mediante entrevistas. Se determinaron indicadores de niveles o etapas de degradación de praderas mediante la evaluación de variables físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas. Las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y la provisión de los servicios ecosistémicos fue explorada mediante entrevistas, así como a través de los datos obtenidos al final de la temporada de lluvias, mediante el análisis de los componentes principales, para identificar los factores más representativos de la degradación de praderas en las áreas de estudio; una vez identificados dichos factores, se realizó con ellos, un análisis predictivo de la degradación y su impacto en la superficie estudiada mediante el modelo determinístico de interpolación conocido como distancia inversa ponderada (IDW). Se demostró que el 88% del área de praderas dentro del ANP se encuentra degradada por erosión; similar al 87.8% de la predicción de degradación regional promedio. Se encontró que la degradación de praderas es moderada e incrementa durante la temporada de sequía, así como que no incrementa gradualmente con la edad o tiempo de uso pastoril. Los impulsores de cambios que pueden amenazar a la biodiversidad funcional y a los servicios ecosistémicos están relacionados con las formas de vida a nivel ejidal.

Palabras clave: Biodiversidad funcional, Praderas degradadas, Áreas protegidas

ABSTRACT

The degradation of grasslands and its impact on biodiversity was studied, as well as the provision of ecosystem services of provision, habitat and regulation; qualitatively and quantitatively. Sampling was carried out in three seasons: dry, rainy and at the end of the rainy season; in 2021. The study region was the grasslands under extensive livestock farming with cattle grazing in the protected natural area (ANP) known as La Frailesca and specifically in three ejidos of importance for the conservation of said area. A geographic analysis of the landscape was carried out to determine the area of degradation due to erosion in the ANP's grasslands. An analysis of the impact on biodiversity was carried out, through a study of the landscape and territory, with digital databases and through interviews. Indicators of levels or stages of grassland degradation were determined through the evaluation of physical, chemical, biological and socioeconomic variables. The relationships between the level of grassland degradation and the provision of ecosystem services was explored through interviews, as well as through data obtained at the end of the rainy season, through the analysis of the main components, to identify the most representative factors of grassland degradation in the study areas; Once these factors were identified, a predictive analysis of the degradation and its impact on the studied surface was carried out using the deterministic interpolation model known as inverse distance weighted (IDW). It was shown that 88% of the grassland area within the ANP is degraded by erosion; similar to 87.8% of the average regional degradation prediction. It was found that the degradation of grasslands is moderate and increases during the dry season, as well as that it does not increase gradually with age or time of pastoral use. The drivers of changes that can threaten functional biodiversity and ecosystem services are related to ways of life at the ejidal level.

Keywords: Functional biodiversity, Degraded grasslands, Protected áreas

I. INTRODUCCIÓN

Una pradera o pastizal es un ecosistema que incluye comunidades de plantas herbáceas dominada por gramíneas, leguminosas y otras especies, en la que existen múltiples relaciones entre ellas y el ambiente. Estos factores cambian constantemente, permitiendo que la pradera sea altamente dinámica (López y Valentine, 2003), lo que se refleja en su producción, calidad nutricional y composición botánica a lo largo del año (Cuevas, 1980).

Una pradera puede degradarse, lo cual significa que ésta pierde su capacidad productiva afectando directamente los rendimientos de carne y/o leche de los animales; dicha degradación tiene como consecuencia la pérdida de cobertura de la especie forrajera, dando espacio al desarrollo de otras especies indeseables o dejando suelo descubierto que queda expuesto a compactarse (Rincón, 2018). La exposición del suelo, lo predispone a pérdidas que pueden ir desde leves hasta severas y en conjunción con factores ambientales como la escorrentía o los vientos puede convertirse en erosión, una de las formas de degradación más severas.

Diversos autores, han aportado cifras aproximadas sobre la degradación a nivel mundial, nacional, de algunas regiones en Latinoamérica. Se estima que alrededor de un 20 % de los pastos del mundo y más de un 70 % de los que se encuentran en zonas secas, están deteriorados en cierta medida (FAO¹, 2019; Szolt *et al.*, 2000). El 13% del suelo en Latinoamérica está degradado (Oldeman, 1992); el 50-80% de las pasturas están degradadas para el trópico húmedo y las cuencas de Centroamérica (Dias-Filho, 2007; CATIE², 2002).

Las praderas en México se encuentran bajo diversos procesos de deterioro según lo reporta Guevara-Hernández *et al.* (2011); Martorrell y Martínez-Ballesté (2019) así como Castro-Castillo, *et al.* (2022); dichos ecosistemas que corresponden a las categorías de pastizales cultivados o inducidos según INEGI³ (2016) y que usualmente son utilizadas como áreas de pastoreo manifiestan degradación de diferentes formas. Una de ellas es la variación de la composición florística (disminuye la biodiversidad), derivando en la eliminación de especies de alto valor forrajero e invasión de plantas indeseables o tóxicas, el suelo tiende a compactarse y por consecuencia el agua no penetra hasta las raíces (Alayón, *et al.*, 2016). La razón es entre otras causas, que a través de los años han sido sobre pastoreadas por periodos prolongados o con cargas animales que exceden su capacidad.

El sector pecuario como cualquier otra actividad económica pueden contribuir a la pérdida de la biodiversidad, así como al agotamiento y a la degradación de las tierras

¹ Food and Agriculture Organization. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura

² Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

³ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

y del agua (FAO, 2010), al mismo tiempo, se enfrenta a la creciente competencia de otros sectores por estos mismos recursos (FAO, 2019). En ese sentido, las referencias consultadas, no dejan clara la relación con la ganadería y cual evento ocurre primero, si el impacto a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos o la degradación.

El proceso de degradación de las praderas que inicia con la pérdida de la condición (cobertura del suelo y composición botánica) puede reducir la calidad de los servicios ecosistémicos, tales como la disponibilidad de hábitats para algunas especies (Padilla, *et al.*, 2009). Paralelamente o como consecuencia, también se presenta compactación del suelo que es un reflejo de la disminución en la capacidad de infiltración del agua y con ello aumenta la posibilidad de erosión. Aunado a ello, también se modifican los elementos químicos de los cuales dependen la fertilidad y la presencia de las distintas formas de vida que hay en el suelo (Padilla, *et al.*, 2009).

Debido a esta afectación, la biodiversidad en un agroecosistema como el ganadero, debe ser evaluada y monitoreada, ya que representa una estrategia de conservación y desarrollo sostenible (Cruz-Sánchez *et al.*, 2018) que a mediano plazo permite prevenir o revertir los procesos de degradación, así como valorar los servicios prestados por los diferentes ecosistemas en los paisajes rurales (Dossman, *et al.*, 2009).

En este sentido, las praderas son ecosistemas que no se reconocen como un recurso estratégico en la prestación de servicios ambientales y mucho menos se valoran como parte del desarrollo de las regiones donde se encuentran presentes, lo cual les coloca en una situación de fragilidad ambiental, social y productiva.

Por tal motivo se requieren de estudios actuales cuantitativos precisos de la degradación de praderas en la región de estudio, que establezcan una relación entre los tres factores: degradación de praderas, la biodiversidad y la provisión de los servicios ecosistémicos. Por tanto, la información de la presente investigación puede servir como una línea base para definir acciones por parte de las instituciones ambientalistas, así como de producción agropecuaria y forestal; así como dar indicios acerca de la resiliencia del sistema productivo ganadero.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general.

Evaluar el impacto de la degradación de praderas sobre la biodiversidad y en la provisión de los servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación, soporte y hábitat que brinda la pradera en áreas ganaderas.

1.1.2 Objetivos específicos

1.1.2.1) Efectuar la evaluación de la degradación de praderas, mediante la estimación de áreas afectadas a través de herramientas de análisis de sistemas de información geográfica.

1.1.2.2) Explorar las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y el impacto a la biodiversidad a nivel local y regional

1.1.2.3) Desarrollar indicadores de niveles o etapas de degradación de praderas, con base en la evaluación de variables físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas.

1.1.2.4) Explorar las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y la provisión de los servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación, soporte y hábitat que brinda la pradera.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sustentabilidad y su determinación a través de indicadores.

2.1.1. Sustentabilidad en las praderas.

La sustentabilidad de un sistema productivo como es el ganadero tiene como componentes a la Biodiversidad circundante y al suelo, el cual debe mantenerse en óptimas condiciones, mediante manejo del pastoreo que favorezca la cosecha eficiente del forraje en estado óptimo de crecimiento para maximizar la producción por animal y por unidad de área (Vélez, 2013). Para cumplir con esta condición, cada ganadero necesita tomar decisiones basadas en los indicadores disponibles de su explotación, que son los que le permiten una mayor capacidad de acierto (Santamaría, 2009). Como todo sistema productivo, la pradera se puede estudiar a través de indicadores de tipo económico, social y/o ambiental, para elaborar diagnósticos y también para buscar la solución a problemas concretos.

2.1.2. Selección de indicadores para determinar cambios benéficos o degradación en los agroecosistemas.

Para la selección de indicadores que contribuyan a aportar información sobre la resistencia y resiliencia del ecosistema frente a perturbaciones, García-Barríos, *et al.* (2008) sugiere el uso de indicadores derivados de las investigaciones científicas, los cuales se pueden utilizar como factores cuantificables considerando la complejidad de la medición y cuantificación de esta.

Respecto a los indicadores socioeconómicos, se sugiere un análisis de la economía de los territorios, generación de productos con valor diferencial, actual o futuro, uso eficiente de los recursos, con el fin de valorar los retornos al sistema: inversión monetaria, infraestructura, recursos humanos o fuerza de trabajo hacia el sistema o los recursos naturales (Astier, *et al.*, 2008). Del mismo modo, mediante indicadores productivos y económicos (leche obtenida de las vacas) se evaluó la importancia de la alimentación en potreros bajo diferentes niveles de degradación en El Petén, Guatemala (Betancourt, *et al.*, 2007). Así mismo, se han establecido indicadores de desempeño de unidades de producción pecuaria al porcentaje de producción de carne, leche y miel obtenidos sustentablemente (Vargas, *et al.*, 2013).

En el caso de indicadores específicos dentro de un agroecosistema, se desarrolló un sistema de monitoreo de la calidad, como herramienta para la planificación del uso del suelo en cuanto al mantenimiento, mejoramiento y restauración de este y así llegar a un manejo adecuado y racional del recurso, teniendo en cuenta aspectos importantes

para la toma de decisiones como el conocimiento del área de muestreo, las coberturas, tiempo de establecimiento y recursos económicos disponibles. Rodríguez (2011), determinó las características fisicoquímicas del suelo, de agroecosistemas cafetaleros en Colombia, cuya selección se dio a partir de aquellas propiedades que presentaron mayor variabilidad en los diferentes análisis propuestos en dicha investigación extrayendo 14 variables convencionales y cuatro alternativas.

Algunos estudios buscaron relacionar los indicadores socio económicos con los de biodiversidad, para establecer diferencias entre sistemas bajo diferente manejo, tal es el caso del estudio de Pérez, *et al.* (2005), quienes relacionaron indicadores de producción de carne y de biodiversidad en fincas con sistemas silvopastoriles de tres regiones de Nicaragua, Honduras y Costa Rica y las compararon con otras tres fincas sin cobertura de vegetación. Los indicadores de biodiversidad fueron: Cobertura de vegetación (%), riqueza de especies (S) y diversidad (H) (Diversidad de plantas, aves y de moluscos). Los indicadores de producción fueron: Receptividad, carga total, unidades ganaderas totales y carga animal. Los resultados indicaron que la presencia de árboles en el sistema le aportaba mayor rentabilidad, debido a la posibilidad de enfrentar la sequía del verano e incluso estaciones secas más largas que lo esperado, sin necesidad de proveer suplemento nutricional al ganado; el resultado no indicó cuál fue el impacto a la biodiversidad (Pérez, *et al.*, 2005).

En el caso de los indicadores de biodiversidad, se pueden ver como indicadores de la funcionalidad del ecosistema y representan una noción muy básica de la biodiversidad total (Duelli y Obrist, 2003). Dentro de la amplia biodiversidad que rodea o está inmersa en un sistema productivo, es posible identificar algunas especies que funcionan como indicadores ambientales, es decir, los grupos de especies biológicas que dan indicios acerca de la calidad del hábitat, determinando inclusive las diferencias o estados de degradación en los que se encuentra un sistema natural o productivo, tal como lo indican Vergara (2015) y González *et al.* (2016).

San Martín, *et al.* (2014) realizaron una comparación de las etapas de degradación de la vegetación bajo un manejo pecuario utilizando valores bioindicadores de Ellenberg en la Patagonia Chilena. Utilizaron tablas de vegetación separadas para cada estado de degradación, en las cuales identificaron especies indicadoras, cuya naturaleza y utilidad fue corroborada mediante métodos estadísticos multivariados de clasificación. La comparación entre las comunidades se realizó considerando la presencia y la abundancia de las plantas indicadoras presentes en ellas. Los resultados indicaron que los valores de luz y temperatura se concentran en algunos tramos de la escala propuesta por Ellenberg, mientras que los restantes, más dispersos, reflejan diferencias en los estados de degradación. Se pudo caracterizar los biotopos de todos los estados de degradación, como de sol, de temperaturas templadas con heladas ocasionales y de suelos ácidos, deficientes en nutrientes y con humedad intermedia. La mayor diferenciación se obtuvo en estas últimas variables edáficas que resultaron en una lista ordenada de las comunidades coincidente con la posición de cada una de

ellas en la serie de degradación descrita y se pudo confirmar mediante análisis del suelo (San Martín *et al.*, 2014).

2.1. Degradación de praderas

2.1.1. Relación entre la degradación de praderas y la biodiversidad

Las herramientas y los estudios en ecología de poblaciones y comunidades, incluyendo la biodiversidad, son esenciales para visualizar, analizar y proponer estrategias que permitan enfrentar el reto que representa adaptar paisajes y vida a condiciones climáticas diversas (Pineda *et al.*, 2008). Poco se sabe acerca de las relaciones entre el manejo de pasturas y la conservación de la biodiversidad, sin embargo, algunos estudios como el de Harvey (2000) indican que una significativa porción de la biodiversidad original puede ser mantenida dentro de pasturas, si estas son diseñadas y manejadas apropiadamente. Del mismo modo Harvey (2003) ilustró mediante dos formas de manejo silvopastoril (árboles dispersos en pasturas y cortinas rompevientos) que contribuyen a la conservación de la biodiversidad (de animales y plantas) en paisajes fragmentados.

Vargas y Reyes (2011) indicaron que los estudios sobre biodiversidad deben considerar la Teoría ecológica de la invasión de especies, a partir de los trabajos de Charles Elton en la década de los cincuenta hasta nuestros días; haciendo referencia a las características biológicas de las especies invasoras, y de los ecosistemas donde estas arriban, las consecuencias de las invasiones biológicas y el control de estas.

En áreas de ganadería, Vargas (2010) realizó estudios de la biodiversidad botánica y Martorell *et al.* (2017); estudiaron la biodiversidad y endemismos en pastizales naturales de Oaxaca.

2.1.2. Biodiversidad y degradación de la pradera

En las áreas donde las pasturas no son la vegetación nativa, se da un reemplazo de las especies florísticas autóctonas y posteriormente se altera el hábitat para grupos faunísticos dependientes de dichos recursos (Harvey *et al.*, 2005); también se altera la dinámica de diversos procesos ecológicos que son claves en el funcionamiento de los ecosistemas, tales como la descomposición de materia orgánica, reciclaje de nutrientes y la regulación de las poblaciones de plagas, entre otros (Giraldo, *et al.*, 2011). Este problema es más marcado en aquellos sistemas ganaderos basados en pasturas con una sola especie dominante y se vuelve más grave si dicho sistema además está degradado (Tobar e Ibrahim, 2008).

Contrastando con los estudios antes mencionados, se ha encontrado que, en pastizales naturales, las alteraciones antropogénicas “crónicas” como el pastoreo, “la siega” o el fuego concuerdan con la propuesta atribuida a otros pastizales meso a oligotróficos donde la limitación de recursos y la perturbación a largo plazo, a diferencia de lo que podría pensarse, promueven una alta diversidad de especies florísticas (Martorell *et al.*, 2017).

Las evaluaciones de biodiversidad dan indicios sobre la calidad del hábitat, por tanto, contribuyen a dar indicios sobre la sustentabilidad del sistema (Kosmus, *et al.* 2012). La transformación de esta biodiversidad ha sido hasta el momento la base de los recursos naturales, contribuyendo a corto plazo en el aumento sustancial en términos netos del bienestar y el desarrollo económico para algunas personas (Pezo e Ibrahim, 1999).

2.1.3. La pradera como un sistema que brinda servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos se definen como “los recursos o procesos de los ecosistemas naturales (bienes y servicios) que benefician a los seres humanos”. (ONU⁴, 2005,) y es la misma gente a través de la organización social quien puede mediante formas apropiadas de producción contribuir a que no se agote la biodiversidad ni la provisión de dichos servicios (Rodríguez, 2009).

La CONABIO⁵ (2020) menciona que entre los servicios ambientales de una pradera se encuentran la disponibilidad para cría de ganado bovino, equino; son fuente de alimentos, fibras y combustibles; contribuyen a regulación del clima, polinización, purificación y recarga de acuíferos, control de especies invasoras, captura de carbono. Tienen valor cultural, espiritual y recreativo. Además, según Iraola (2014) brindan múltiples servicios ecosistémicos al contribuir en albergar a muchos animales silvestres además de la producción ganadera, protegen contra la degradación de la tierra y la erosión del suelo, pueden ser reservorios de agua. Barrera (2005), describe la posibilidad de que un ecosistema ganadero en condiciones óptimas sea considerado como un “Faro agroecológico”, es decir, que sirva como modelo agroecológico para la capacitación.

La vegetación natural de un sistema de pradera ha sido modificada de modo natural o antropogénico, desde su formación; por tanto, es de esperarse que los servicios ecosistémicos también sean dinámicos y a largo plazo se presenten cambios de gran impacto que presuponen la disminución de dichos bienes y servicios con graves consecuencias económicas, sociales e incluso vitales (Ibrahim y Villanueva, 2005; Pezo, 2018).

⁴ Organización de las Naciones Unidas

⁵ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Los servicios ecosistémicos son esenciales y cuando son subvalorados y subestimados en los sistemas de producción, surgen riesgos para el desarrollo de los mismos. Cuando las praderas están en óptimas condiciones, la provisión de los alimentos nutritivos no se interrumpe, por lo que hay aportes significativos a la economía de la finca, debido al abaratamiento de los nutrientes para los rumiantes, ya sea en forma directa a través del pastoreo o también en algunos casos en forma indirecta mediante corte para vertederos, heno o ensilaje (Holmann, *et al.*, 2004; Pérez, *et al.*, 2005; Azöcar, 2006).

2.1.4. Afectación de los servicios ecosistémicos en la pradera

La degradación de pasturas no sólo tiene implicaciones importantes desde el punto de vista productivo y económico, sino también ecológico. La afectación a los servicios ecosistémicos de regulación y mantenimiento, conllevan a una reducción en la captura de carbono, mayor intensidad de emisión de metano (CH₄), pérdida de biodiversidad, erosión y compactación de suelos (Ibrahim *et al.* 2005) Al reducirse la capacidad de soporte o sustento de las pasturas como consecuencia de la degradación, los productores tienden a deforestar nuevas áreas para establecer pasturas y así mantener los animales existentes, más las demandas resultantes del crecimiento natural del hato (Pezo e Ibrahim, 1999; Pezo, 2016).

En el caso del agua, su función principal en los sistemas ganaderos es de provisión a través de los afluentes o los reservorios; sin embargo, también es importante aquella que se infiltra en el suelo, la cual eventualmente es absorbida por las pasturas y cultivos, y parte de ella puede ser transferida a la atmósfera por evapotranspiración, y otra puede ser ingerida por los animales, como componente de los forrajes y otros alimentos consumidos (Deutsch *et al.* 2010). En los sistemas basados en pasturas mal manejadas, la degradación frecuentemente ejerce impactos negativos sobre el balance hídrico, pues se reduce la infiltración de agua por la compactación, se incrementa la erosión y disminuye la capacidad de retención de humedad en el suelo (Ríos, *et al.*, 2007). Además, la mayor presencia de malezas en pasturas degradadas puede influenciar el patrón de infiltración y la competencia entre especies por el agua disponible en la época seca (Pezo, 2018). El agua brinda un servicio ecosistémico, pero también puede contribuir a dispersar contaminantes, patógenos, fertilizantes, antibióticos, por tanto, es relevante el manejo adecuado del agroecosistema para evitar que un mal manejo de residuos derive en daños a la salud de los animales que lo consuman (Steinfeld, *et al.*, 2006; Palma, *et al.*, 2021).

En el caso del suelo cuyo servicio ecosistémico hacia las plantas es brindar el soporte y ser la vía a través de la cual están disponibles los nutrientes esenciales, está expuesto a la degradación debido a las prácticas productivas (FAO, 2010) De este modo se establece que la pérdida de las condiciones óptimas de estos servicios

ecosistémicos, entre otros, inciden directa o indirectamente en la degradación de las praderas (Pezo, 2018).

2.1.5. Estudios relevantes de la relación entre las praderas y los servicios ecosistémicos

Estudios recientes en los cuales se evaluaron los servicios ecosistémicos, fueron realizados por Rodríguez (2019) en comunidades de la costa chiapaneca y estableció indicadores a los que denominó “agroecosistémicos” y una propuesta de valoración de degradación basada en dichos parámetros. El impacto en la degradación de praderas ha sido estudiado por Betancourt *et al.*, (2007), referente a características productivas, como la sobrecarga animal, la producción de leche por vaca y por hectárea, el ingreso por hectárea el comportamiento de novillos en crecimiento, la reducción en ganancia de peso por animal; Holmann *et al.*, (2004) relacionó este factor con la producción de leche y carne por hectárea, desde la perspectiva de los productores sin considerar la valoración de las externalidades negativas relacionadas con la degradación de pasturas.

2.1.6. Estimación de la degradación de praderas

Para cuantificar el impacto de la degradación, es preciso conocer en donde y en qué magnitud está ocurriendo. Existen referencias internacionales acerca de la problemática de la degradación de ecosistemas en el mundo. FAO (2010) indica que más del 81% de los suelos de América Central están degradados o muy degradados. En el caso de América Central se estima que la tasa anual de degradación de las pasturas sembradas supera ampliamente a la de renovación de pasturas (12 contra 5% año-1, respectivamente). De igual forma Szott *et al.*, (2000) y Días-Filho, (2007) estiman que un 50 a 80% de las áreas de pastura natural, naturalizadas y sembradas sufren algún grado de degradación. Dato similar por parte de Pieri (1989) quien indicó que el 70% de las tierras de pastoreo en el mundo están degradadas.

Holmann *et al.* (2004) indica que se considera como un fenómeno natural la degradación después de 5 a 7 años de establecidas como sistema productivo; sin embargo, es un problema que se agudiza con el paso de los años (Pezo e Ibrahim, 1999)

En el caso de México, Alemán *et al.* (2007) registraron que de 21.8 millones de hectáreas de pastizales, 73.9 % están degradadas. Martínez-Méndez *et al.*, (2016) mencionó que las áreas tropicales del centro de Veracruz tienen una degradación semejante a Centro América.

La degradación de praderas cobra relevancia, dado que puede llevar a incrementar el avance de la frontera agropecuaria en busca de nuevos espacios productivos y con ello se presenta un aumento en la pérdida de bosques, tal como lo indica Alemán *et al.* (2007) para los bosques en Chiapas.

2.1.7. Evaluación de la degradación mediante sistemas de información geográfica

El uso de la tecnología actual para la ubicación y estimación de superficies bajo cierta condición es cada vez más común. La clasificación de imágenes para la obtención de cartografía de ocupación del territorio es una de las aplicaciones más extendidas de la teledetección (Paruelo *et al.*, 2005). Las técnicas usadas en sensores remotos, junto a otras fuentes de información geográfica, permiten generar cartografía de ocupación del suelo a escala local, regional y global, utilizada en procesos de planificación y gestión sostenible del territorio, generalmente. A nivel local, los requerimientos de cartografía de ocupación del territorio suelen ser más detallada por los tipos de aplicación en que se utiliza, por lo que la clasificación de imágenes en la discriminación y estimación de superficies de cultivos resulta ser una fuente fundamental para diversos actores (Ortiz y Pérez, 2009).

Se han probado diferentes métodos de clasificación y segmentación de imágenes y técnicas para mejorar la precisión para clasificar datos obtenidos por teledetección, pero es un tema complejo ya que una imagen de cobertura terrestre integra múltiples objetos con propiedades heterogéneas (Chen and Stow, 2003). De acuerdo con el proceso de construcción, los métodos de clasificación de imágenes se dividen en dos grupos: 1) Método supervisado: Consiste en el reconocimiento de patrones basado en la existencia de un conjunto de prototipos predefinidos; 2) Método no supervisado: no requiere conocimiento previo de la zona de estudio y desarrolla la clasificación en forma automática, aprovechando las características espectrales de la imagen para definir las agrupaciones con valores similares (Duda *et al.*, 2001; Bow, 2002; Chuvieco, 2008).

Los métodos supervisados requieren de un conocimiento previo del área de estudio, que puede realizarse mediante diversas técnicas; una de ellas es la determinación de la integralidad paisajística que inicia con la delimitación geográfica del territorio y se interpreta desde las particularidades del paisaje y la problemática social existente; es decir además de establecer las fronteras de carácter jurisdiccional o político (ejidales y municipales), se determina la ubicación y el contexto de la población que lo habita (Dolfus, 1978). Se indica que el paisaje es frágil y cambiante (Brunet, 1974), por tanto, susceptible de ser alterado por los usuarios humanos, quienes, a través de sus vivencias pueden ejercer selecciones y juicios de valor que modifiquen sus características (Dolfus, 1978); lo cual lleva a la integración de un conjunto de

indicadores para el análisis de la aptitud territorial, lo cual hace posible predecir los cambios en el territorio (Urquijo y Bocco, 2011).

Un caso de estudio local para estimar la erosión, que es una de las formas de degradación más agresivas de las tierras de cultivo o cualquier otro uso, fue realizado por Rivera, *et al.* (2014), quienes utilizaron imágenes de satélite de los años 2003 y 2006 así como las coordenadas geográficas de las cabeceras de las cárcavas, obtenidas *in situ* por medición directa sobre el terreno.

2.2. Las áreas naturales protegidas y las praderas

2.2.1. Importancia de las áreas naturales protegidas a nivel regional

El complejo de Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la Sierra Madre de Chiapas, está integrado por las reservas de la biosfera (RB) de La Sepultura (decretada en 1995), RB El Triunfo (decretado en 1990) y RB Volcán Tacaná (decretado en 2003), y el área de protección de recursos naturales (APRN) La Frailescana (decretado en 1979). Como estrategia de conservación, en dicho complejo de ANP se identificaron sobre la base de la percepción del valor social como servicios ecosistémicos prioritarios para la región, el almacenamiento de carbono, la infiltración hídrica y la provisión de alimentos; con ello se integraron escenarios prospectivos al año 2029 de patrones espacio temporales de cambio, a partir del análisis de cambio en la vegetación y uso del suelo 1993-2011 (Galena, *et al.*, 2017).

2.2.2. Política de la conservación y su relación con la degradación

En años pasados el complejo de áreas naturales protegidas de la Sierra madre de Chiapas y espacios contiguos, se vieron favorecidos por el pago por servicios ambientales a través de dependencias gubernamentales. El pago por servicios ambientales es una forma de arreglo de gobernanza ambiental multinivel entre diferentes actores, a través de la cual los actores involucrados establecieron acuerdos para hacer frente a una forma particular de internalizar las externalidades ambientales derivadas de la explotación desmedida de los recursos naturales (Kosoy, *et al.*, 2008). Independientemente de la polémica acerca de la eficacia de este instrumento en atención a los problemas socioambientales en el medio rural debido al contexto paternalista del Estado que perpetua la dependencia y vulnerabilidad de los legítimos propietarios de los recursos naturales (Perevochtchikova y Rojo Negrete, 2013), los impactos positivos que éste programa tuvo en el estado de Chiapas y en particular en tres ejidos del municipio de Villa Corzo, en donde se encuentra la ANP La Frailescana, fueron el fortalecimiento de las capacidades locales y la comunicación para valorar

social y económicamente los servicios ambientales (Cano *et al.*, 2015) . En el año 2021, el programa concluyó y el escenario en esta temática se percibe sombrío e incierto, a decir de los mismos pobladores del ANP La Frailescana. Por tanto, es el momento de verificar tal como indica Flores *et al.* (2018) si hubo una relación entre este programa de pago por servicios ambientales y las formas de apropiación por parte de las comunidades locales, que les permita promover el uso sustentable de los recursos naturales y mejorar la calidad de vida de sus habitantes, al igual que como ocurre en el resto de Latinoamérica con casos similares.

2.2.3. Áreas naturales y las praderas

Las áreas naturales protegidas también están sometidas a la presión antropogénica; las actividades productivas como la ganadería extensiva y semi extensiva, buscan incrementar los rendimientos y en el proceso también aumentan la degradación ambiental y del mismo ecosistema que lo sostiene, como es la pradera (Merino, 2004; Cruz y Negrete, 2007). A nivel regional, diferentes estudios coinciden en que, debido a la baja o nula rentabilidad de la siembra de maíz, las personas buscaron opciones para aprovechar sus predios y mantener el ingreso local, entre ellas, una que fue apoyada a nivel gubernamental fue la ganadería. A partir de 1995, en que se decretaron las áreas naturales protegidas, la ganadería quedó limitada a la zona de amortiguamiento o zona de aprovechamiento sustentable de recursos (García, *et al.*, 2012).

El manejo inadecuado de las actividades productivas en la llamada zona de amortiguamiento trae serios problemas ambientales (Vargas, 2018) que amenazan a los servicios ecosistémicos a nivel local y regional (CONANP⁶, 2019). La ganadería que es principalmente de tipo extensivo y semi extensivo, es una importante actividad económica y frecuentemente es un tema de conflicto entre los actores a favor de las actividades productivas redituables y los que se interesan por la conservación del bosque y su biodiversidad. Los campesinos parecen conocer los efectos directos positivos como el mayor reclutamiento de pinos o la menor competencia entre el pasto y el renuevo; así como los efectos directos negativos, tales como la compactación y erosión del suelo debido al pisoteo (Braasch, *et al.*, 2018). En base a dicha percepción, algunos campesinos se ven como aprendices constantes y han llegado a plantear una visión común de cómo desarrollar la ganadería en su respectivo territorio (Vargas, 2018).

⁶ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

III. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción del área de estudio.

El área general de estudio considerada fue “La Frailesca”, que es una Zona de Protección Forestal (ZPF) por decreto y un ANP con la categoría de manejo de Área de Protección de Recursos Naturales denominada “Los terrenos que se encuentran en los municipios de la Concordia, Ángel Albino Corzo, Villa Flores y Jiquipilas” (Figura 1), en la cual se desarrollan diversos sistemas productivos, como el ganadero.

Para el logro del primer objetivo se consideraron dos polígonos, de los nueve que integran el área natural protegida, que son los de mayor tamaño y están compactados y dentro de esta zona elegida. Se incluyeron tres ejidos; San Marcos (Long.: -93.252500, Lat.: 15.979167, Alt.: 821-1050 m s.n.m.), La Nueva Unión (Long.: -93.218333, Lat.: 15.961389 Alt.: 720-745 m s.n.m.) e Ignacio Zaragoza (Long.: -93.221944, Lat.: 15.955000, Alt.: 760-763 m s.n.m.); los cuales comparten características similares fisiográficas, socioeconómicas. En el caso de los dos primeros ejidos, también comparten características de producción, así como de asistencia gubernamental. Estos tres ejidos se encuentran ubicados en el municipio de Villa Corzo y en la Subcuenca Río San Pedro, microcuencas Nacayumba e Ignacio Zaragoza.

Para el logro del segundo, tercero y cuarto objetivos se llevaron a cabo trabajos específicos, en los ejidos La Nueva Unión y San Marcos.

El área de estudio presenta, entre sus actividades principales, a la agricultura que en su mayoría es de autoabastecimiento, así como ganado de tipo semi extensivo, la cual no es considerada como una actividad prioritaria ya que, históricamente, no ha tenido excepcionales rendimientos económicos. Adicionalmente, las comunidades dependen de subsidios de recursos federales y estatales; tal como reporta Cano *et al.* (2015), pues indican que, algunas comunidades de la región Frailesca, reciben desde hace años el pago por servicios ambientales agua y bosque por parte de la Comisión Nacional Forestal.

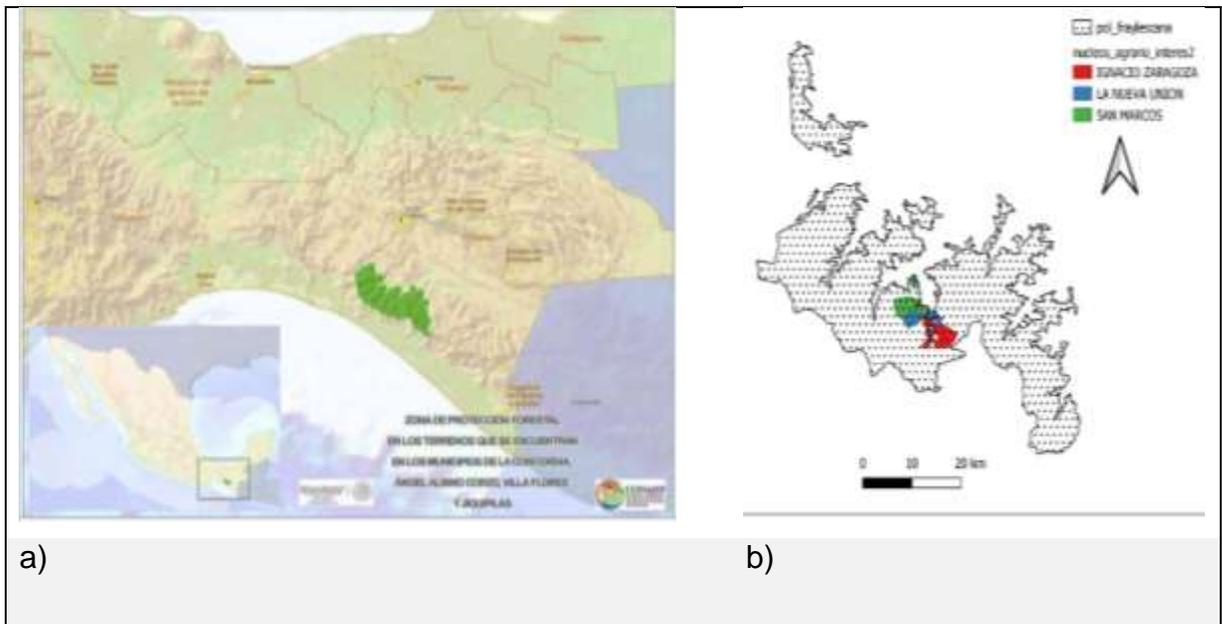


Figura 1. Ubicación del área natural protegida La Frailecana (a) y de los ejidos Ignacio Zaragoza, La Nueva Unión y San Marcos (b), municipio de Villa Corzo, Chiapas. Fuente: a) CONANP (2015). b) Creación propia con insumos de cortes de capas digitales del RAN⁷ (2016) y CONANP (2015).

2.2 Materiales, equipos y programas

Los materiales, equipos y programas utilizados fueron distintos de acuerdo a los objetivos específicos (Cuadro 1).

⁷ Registro Agrario Nacional

Cuadro 1. Materiales, equipos y programas utilizados para conocer la degradación de praderas en un área ganadera en el ANP La Frailescana, Chiapas.

Actividades para el logro de los objetivos	Clase	Descripción
Estimación de áreas degradadas a través de herramientas de análisis de sistemas de información geográfica.	Materiales	Libreta y lápiz
	Equipos	Computadora CORE i5
	Programas	Microsoft Office [®] , Word [®] , Excel [®] , R [®] , SAS [®] , (Versión 9.2, 2004). QGis (Versión 3.14 [®] , 2017) ArcView [®] (versión 3.3, 2002).
Análisis de las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y el impacto a la biodiversidad	Materiales	Papel, impresora, lápiz, Encuestas.
	Equipos	Cámara digital, computadora CORE i5
	Programas	Microsoft Office [®] , Word [®] , Excel [®] , Bases de datos del RAN-PHINA de libre acceso en Internet [®] , Google Earth [®] Google Earth Pro [®] (Vistas 2015, 2016, 2020), Bases de datos RAN de libre acceso en Internet [®] .
Evaluación de variables físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas para establecer los niveles degradación de praderas.	Materiales	Hojas de registro de entrevistas, tabla de campo, lápiz, Pizarra, plumo gis, botas, impermeable, cubeta, pala de jardinería, barreno, martillo con punta en forma de estilete, plumones indelebles, bolsas de papel, estacas, rafia, cinta métrica, detector manual de humedad y luz, penetrómetro Lang de proveedores forestales, modelo Green Generation [®] , bolsas de plástico, hielera, etc.
	Equipos	Cámara digital, computadora CORE i5
	Programas	Microsoft Office [®] , Word [®] , Excel [®] , R [®] , SAS [®]
Análisis entre el nivel de degradación y la provisión de los servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación, soporte y hábitat que brinda la pradera	Materiales	Papel, impresora, lápiz, Encuestas.
	Equipos	Cámara digital, computadora CORE i5
	Programas	Microsoft Office [®] , Word [®] , Excel [®] de Windows [®] (versión 10, 2015). Bases de datos del RAN-PHINA de libre acceso en Internet [®] , Google Earth Pro [®] (Vistas 2015, 2016, 2020), Bases de datos RAN de libre acceso en Internet [®] .

2.3 Flujograma de actividades

Cada acción realizada se enfocó al logro de los objetivos; discernir sobre la degradación desde la caracterización social, física, biológica y química de áreas ganaderas, con herramientas digitales que permitieran establecer la distribución espacial de praderas y discernir el impacto hacia la biodiversidad y la provisión de los servicios ecosistémicos que brinda la pradera. Los pasos seguidos se presentan en los diagramas de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

La determinación taxonómica de las especies de plantas encontradas en cada área de pastoreo fue realizada por personal del herbario “Chip” de la SEMAHN⁸.

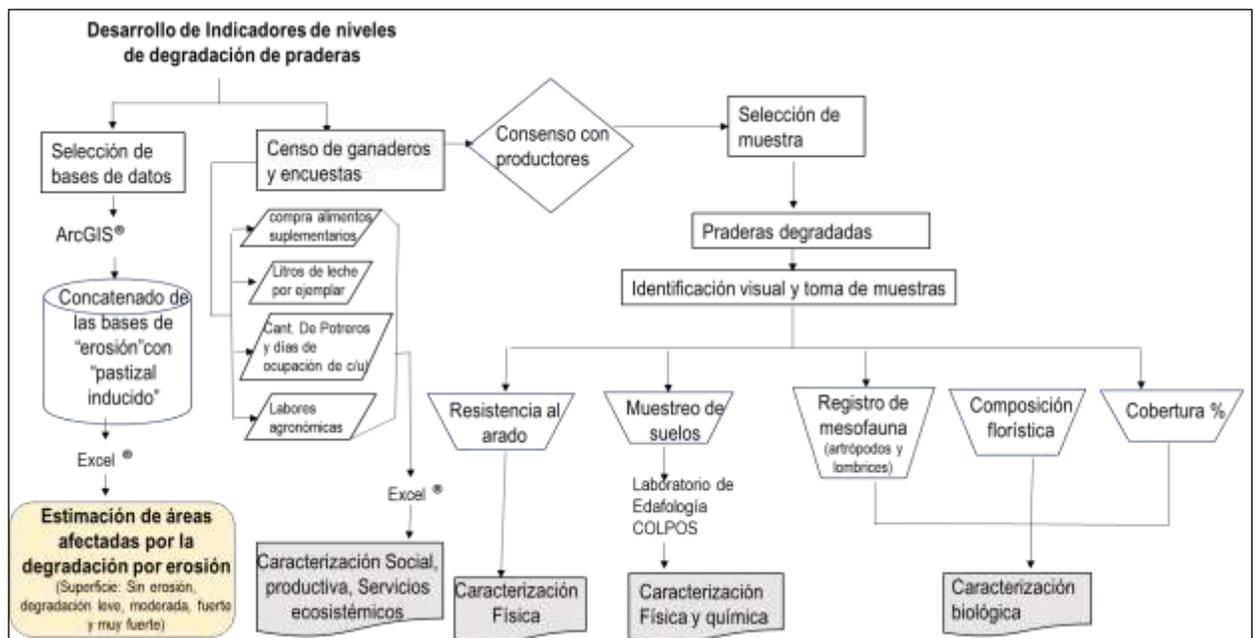


Figura 2. Flujograma metodológico para determinar los indicadores de niveles de degradación de praderas en un área ganadera.

⁸ Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural del gobierno de Chiapas.

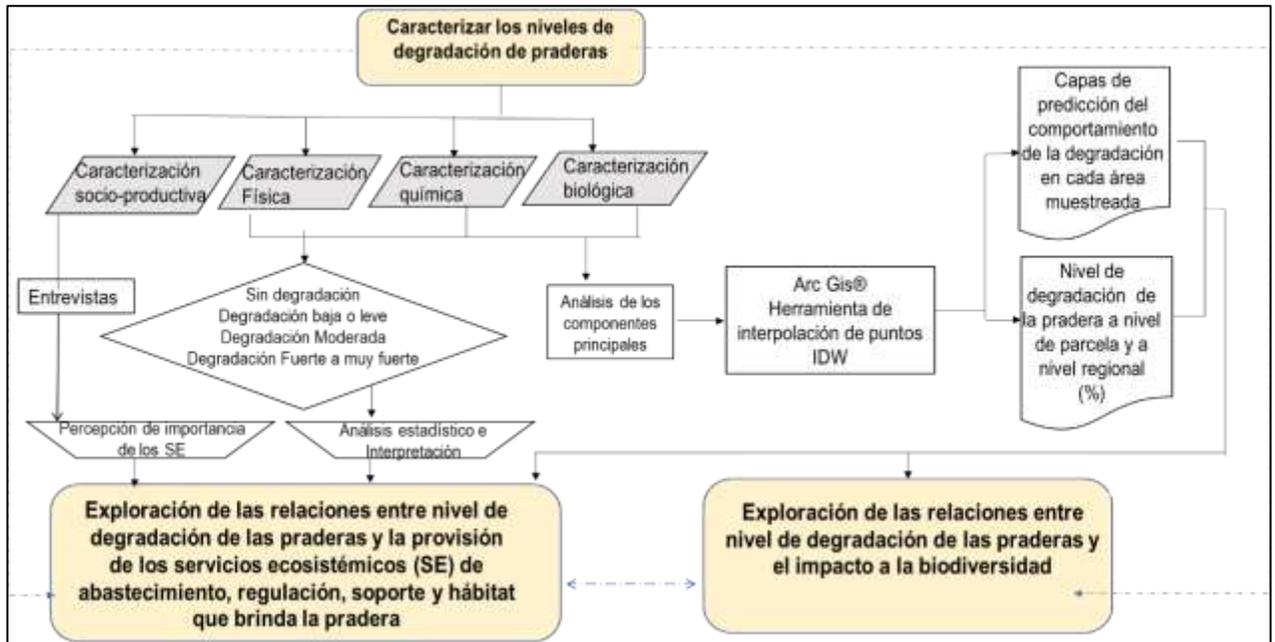


Figura 3. Flujograma metodológico para explorar las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas, la biodiversidad y la provisión de los servicios ecosistémicos que brindan las praderas en un área ganadera.

2.4 Selección de los sitios de los diferentes muestreos

Para seleccionar los sitios en los cuales se realizaron las distintas evaluaciones, se consultaron fuentes oficiales y referencias según el criterio de expertos. Así también se realizó un censo de productores para conocer las características y la disponibilidad para participar en la investigación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Selección de sitios de muestreo para el logro de los objetivos.

Objetivo (número de identificación)	Actividad	Criterio	Referencia
1.1.2.2 1.1.2.3 1.1.2.4	Selección de sitios de muestreo	1. Tamaño, forma, contexto geográfico y actividad prioritaria	1. PHINA-RAN (2020) QGis 3.14®
		2. Tipo de propietarios (Fundadores o avocindados) y características del área	2. RAN, 2016
	Conocimiento del uso actual de la superficie total de cada parcela registrada, así como los cambios temporales previstos en la superficie dedicada al pastoreo o ganadería.	Censo de ejidatarios que realizan ganadería y posteriores entrevistas semiestructuradas focales.	Adaptación según Hollman (2004) y recomendaciones de: Masera, <i>et al.</i> , (1999); Astier <i>et al.</i> (2008)
	Selección de los sitios con diferente temporalidad de uso	1. La degradación de praderas es un fenómeno que se agudiza con los años. 2. Ocurre una degradación de praderas después de 5 a 7 años de establecida como sistema productivo y llega a tener degradación severa cuando ha rebasado los 10 años.	1. Pezo (1999) 2. Holmann <i>et al.</i> (2004)
	Selección de las áreas según el historial de manejo	La productividad de una pradera depende de diferentes factores, entre ellos de tipo agronómico y zootécnico	Merchant y Solano (2016)
	Selección con el consenso comunitario y el interés personal	1. Propietarios de los sitios con amplia disponibilidad para participar en la investigación. . 2. Los individuos están facultados para ejercer su soberanía.	1. Barrasa y Reyes (2011) 2. Dermizaky (2005)
1.1.2.1 1.1.2.2 1.1.2.3 1.1.2.4		3. Están convenientemente disponibles para el investigador de acuerdo a la capacidad de recolección y análisis, así como al entendimiento del fenómeno bajo estudio	3. Battaglia (2008)

Los criterios y referencias permitieron seleccionar los sitios de colecta, y clasificarlos de acuerdo a la distinta temporalidad de uso, que los hizo comparativos (Figura 4).

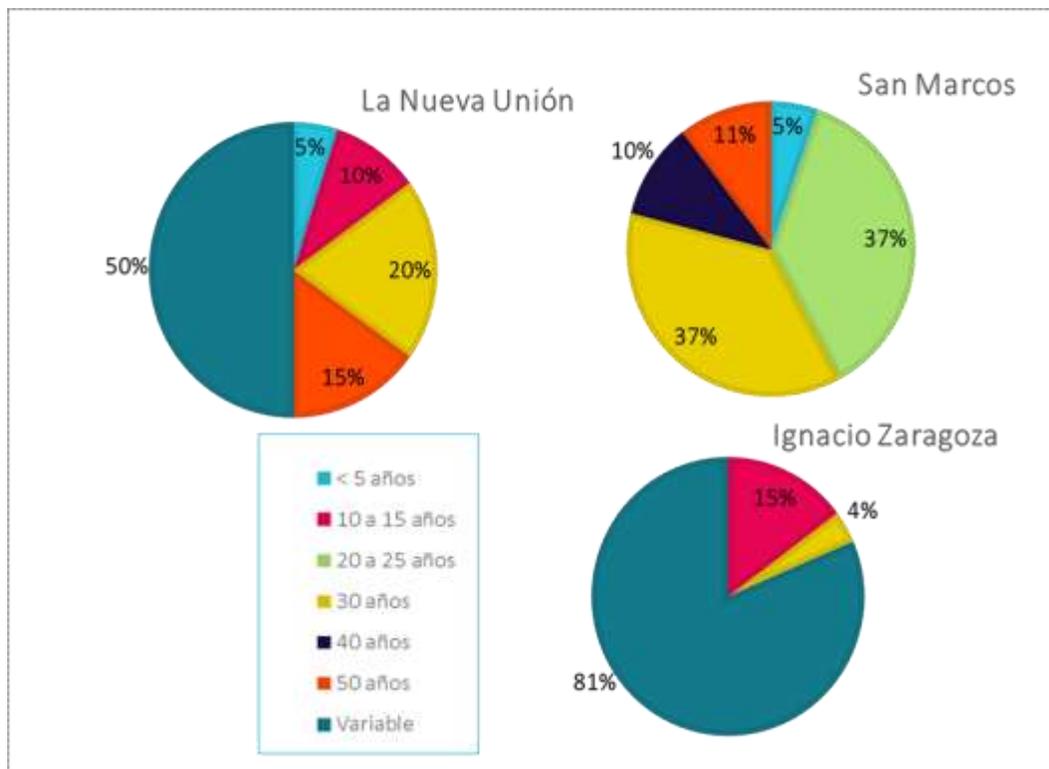


Figura 4. Temporalidad de uso ganadero de cada sitio productivo en los ejidos seleccionados en el ANP La Frailescana, Chiapas.

Fuente: Creación propia basada en el censo ejidal y las entrevistas semiestructuradas focales.

Las áreas ganaderas con categoría de “Variable” fueron descartados de la investigación, ya que se refiere a aquellas áreas que cambian de uso continuamente según las necesidades de cada productor o según la política de mercado; varían entre agricultura y ganadería. Las categorías seleccionadas según la temporalidad de uso ganadero fueron:

- Temporal, que recientemente inició su uso con este fin, pero mantendrá su uso durante un corto periodo, al menos mientras dura el estudio: 5 años de uso.
- Estable: Se crearon con una finalidad económica-productiva, pero si se requiere podrían cambiar su uso: 10, 20 y 30 años de uso.
- Permanente: Están cumpliendo con una finalidad económica-productiva y a la fecha los dueños no han considerado cambiar su utilidad: 40 y 50 años de uso.

2.5 Métodos y técnicas

2.5.1 Experimento 1. Evaluación de la degradación de praderas, mediante la estimación de áreas afectadas a través de herramientas de análisis de sistemas de información geográfica.

Una forma de entender la degradación de praderas a nivel regional es a través del análisis geográfico del paisaje, el cual permite obtener variables geoespaciales, que son aquellas que se puedan representar a través de datos puntuales o lineales, mediante cartografía (mapas o croquis) y representar en el tiempo y en el espacio algún fenómeno terrestre material o no material (Urquijo y Bocco, 2011). Por tanto, para entender una de las formas de degradación del suelo más intensas, como es la erosión, se pueden plantear predicciones de la ocurrencia de dicho fenómeno temporal o espacialmente mediante un parámetro o un índice (Bertrand, 2008).

2.5.1.1. Estimación de la degradación por erosión

Consistió en la evaluación del sitio mediante el análisis de información de segunda mano, derivada de mapas digitales proveniente de fuentes oficiales que permitió ubicar los sitios de pradera inducida y las distintas formas de degradación por erosión que presentan, a una escala de 1:250 K.

El análisis se basó partiendo de una de las formas más agresivas de la degradación, tal como es la erosión, mediante la comparación de los datos derivados de fuentes oficiales, de distribución libre: Mapa Nacional de Erosión del Suelo, Escala 1:250 000 del INEGI (2008) en formato digital el cual fue cortado para delimitar los dos polígonos más grandes de los nueve que conforman el área natural protegida La Fraileskana, así como al través del uso del programa de libre distribución QGis[®] Versión 3.14 para lo cual se utilizaron técnicas propias de la cartografía automatizada en el marco de sistemas de información geográfica.

Del mismo modo se cortaron la Capa Unión de Uso de Suelo y Vegetación, Serie VI del INEGI (2017), los datos espaciales del ANP La Fraileskana de CONANP (2017) y el modelo digital de elevación del CEIEG⁹ (2020).

Se seleccionaron los datos de degradación por erosión presente en el Diccionario del Mapa Nacional de Erosión del suelo (INEGI, 2008).

- Leve: Con cárcavas entre 50 y 100 cm de profundidad
- Moderada: Con cárcavas entre 100 y 200 cm de profundidad.

⁹ Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas

- Fuerte o Extrema: Con cárcavas mayores a 200 cm.
- Sin erosión

Se seleccionó el concepto de “pastizal inducido” de la Capa Unión de Uso de suelo y Vegetación (INEGI, 2016), ya que por definición corresponde con la definición de “pradera”, en el presente estudio:

- Comunidad dominada por gramíneas o graminoides aparece como consecuencia del desmonte de cualquier tipo de vegetación.
- Puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o por incendios frecuentes.
- Fase de la sucesión normal de comunidades vegetales, cuyo clímax es por lo común un bosque o un matorral
- Interés ganadero o aprovechamiento de materia prima con diversos usos
- Regularmente sobrepastoreado o sobrepisoteado con altura no mayor a 5 cm.

Los datos vectoriales de los cortes realizados a las capas antes mencionadas fueron sobrepuestos y analizados para determinar valores cuantitativos de la superficie degradada por erosión a nivel general y específicamente en las áreas coincidentes con praderas.

Con base en las mismas categorías definidas previamente por el INEGI (2017), se establecieron niveles de degradación por erosión. Este procedimiento se realizó a través del programa QGis 3.14[®] de libre distribución.

El análisis de la información incluyó una revisión de los pisos altitudinales, para poder entender las razones por las cuales se presenta la degradación por erosión, para ello se usó el recorte de la capa vectorial del gradiente altitudinal del CEIEG-GeoWeb Chiapas (2020).

Se estimó la degradación por erosión en las distintas categorías de degradación a nivel regional (en las praderas de los nueve polígonos más grandes de la reserva “La Fraileskana”), así como a nivel local, de cada uno de los ejidos.

2.5.2. Experimento 2. Explorar las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y el impacto a la biodiversidad a nivel local y regional

Para entender los procesos ocurridos en un proceso como la degradación de praderas de uso pecuario, se requiere de entenderlo tanto geográfica como históricamente, por ello se realizó un análisis de paisajes y territorios en base a la visión de Dolfus (1978) y de Urquijo y Bocco (2011); además de interpretaciones y predicciones mediante herramientas digitales.

Se analizó en el contexto regional y local. Se realizó investigación documental de datos territoriales e historia de cada ejido, con fuentes secundarias de INEGI 2006, INEGI (2010, 2015a y 2015b), datos ejidales digitales del Padrón e Historial de Núcleos

Agrarios del Registro Agrario Nacional PHINA¹⁰-RAN (2020), corte de las capas digitales de parcelas agrarias de cada ejido del RAN (2016) y CONAFOR¹¹ (2020). Además, se usó el modelo digital de elevación CEIEG-GeoWeb Chiapas (2020), el mapa de Altitud del INEGI (2017), los mapas de Edafología y Geomorfología del INEGI (2017).

También se realizaron entrevistas a los pobladores de cada ejido. Las entrevistas focales semiestructuradas fueron interpretadas en base a la metodología propuesta por Guevara (2007) y Guevara *et al.* (2008) que consiste en reconstruir colectiva o individualmente las percepciones locales a partir de un enfoque socio-antropológico, mediante un método cualitativo para la colecta e integración de la información, en este caso la historia y la gestión del proceso productivo.

Este análisis permitió delimitar las zonas agropecuarias, así como los cambios geográficos, sociales y de paisaje, para identificar tendencia de cambios y posibles amenazas a la biodiversidad basadas en las formas de vida, tomando como premisa que las decisiones y formas de producción de una población, tal como indica Rodríguez (2009) pueden alterar a la biodiversidad y a la provisión de los servicios ecosistémicos que brinda la pradera.

2.5.3. Experimento 3. Desarrollar indicadores de niveles o etapas de degradación de praderas, con base en la evaluación de variables físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas.

Se realizó una evaluación de las características socioeconómicas, físicas, biológicas y químicas a variables indicadoras de degradación, en praderas dedicadas a la producción pecuaria localizadas en un área natural protegida conocida como La Frailescana. Se sistematizó información secundaria de expertos, para conformar indicadores de niveles o etapas de degradación de praderas; los cuales fueron utilizados para dar una valoración del nivel de degradación de cada variable evaluada.

2.5.3.1. Conocimiento de indicadores de niveles o etapas de degradación de praderas con base a la evaluación de variables socioeconómicas

La caracterización socioeconómica y de indicadores de niveles o etapas de degradación de variables socioeconómicas, se realizó tomando como referencia el

¹⁰ Padrón e Historial de Núcleos Agrarios

¹¹ Comisión Nacional Forestal

análisis de Holmann (2004) y las recomendaciones de Masera, *et al.* (1999) y Astier *et al.* (2008) adaptándolo a la época y situación actual. Se utilizó como herramienta metodológica a las encuestas semiestructuradas de tipo focal dirigidas a productores según lo establecido por Flick (2012) y su interpretación se hizo bajo los criterios de Guevara (2007) y Guevara *et al.*, (2008).

Las variables evaluadas fueron:

- a) Litros de leche por animal (vaca).
- b) Dependencia de insumos externos tal como la compra de alimentos suplementarios.
- c) Número de potreros, días de ocupación y días de descanso de cada potrero.
- d) Labores agronómicas realizadas relacionadas con la degradación del suelo, tales como las quemadas intencionales y la aplicación de plaguicidas.

2.5.3.2. Determinación de indicadores de niveles o etapas de degradación de praderas con base a la evaluación de variables físicas, químicas y biológicas

2.5.3.2.1. Toma de muestras

2.5.3.2.1.a. Toma de muestras mediante un monitor de tendencias de áreas clave.

Mediante sistemas de información geográfica, se llevó a cabo la georreferenciación de los sitios seleccionados. En el campo se ubicaron dichos sitios mediante la documentación de los ejidatarios y se verificó con un georreferenciador GPS Garmin®. La toma de muestras se realizó mediante la técnica de análisis temporal (Hernández, *et al.*, 2014), que permitió la comparación de las variables que indican la degradación del área de pastoreo en dos momentos contrastantes 1.-temporada de sequía y 2.-temporada de lluvias (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cantidad de sitios de muestreo y muestras analizadas.

Ejido	Número de identificación de sitio de muestreo (ID)	Años de establecida	Área ganadera (ha)	Área (% que representa)	Núm. De Muestreo	No. De muestras
La Nueva Unión	1	5	7.27	13.4	1	30
					2	30
					Parcial	60
La Nueva Unión	2	10	7	12.9	1	30
					2	30
					Parcial	60
San Marcos	3	20	10.92	20.2	1	30
					2	30
					Parcial	60
San Marcos	4	30	7	12.9	1	30
					2	30
					Parcial	60
San Marcos	5	50	15	27.7	1	30
					2	30
					Parcial	60
La Nueva Unión	6	60	7	12.9	1	30
					2	30
					Parcial	60
			54.19	100	Total	360

Para lo anterior, se utilizó un monitor de tendencia de áreas clave y críticas (McCawley y Lamar, 1986). El diseño e instalación del monitor fue adaptado de un método estándar utilizado por Hacker, *et al.* (1992) (Figura 5) y permitió evaluar visualmente el paisaje en general desde el poste fotográfico; así como establecer los 30 puntos de muestreo, los indicios de degradación en la estructura del suelo del horizonte 0 y A, la vegetación sustentada en él y la toma de muestras de suelo.

En cada punto de muestreo se estableció la delimitación utilizando un marco cuadrado de aluminio de 0.5 x 0.5 m; en el interior se realizó la observación de la vegetación sustentada en él y se midieron algunos parámetros físicos, se eliminó la vegetación sobre el suelo y se realizó un corte superficial de aproximadamente 0.3 m de profundidad, cuidadosamente para observar características físicas y biológicas en el suelo extraído.

Se extrajeron submuestras de aproximadamente 200 g del horizonte A del suelo, que fueron vaciadas a un contenedor de plástico; las cuales se homogenizaron con una

vara de madera, se extrajo una muestra de cada sitio de colecta de aproximadamente 1 kg (Figura 5).

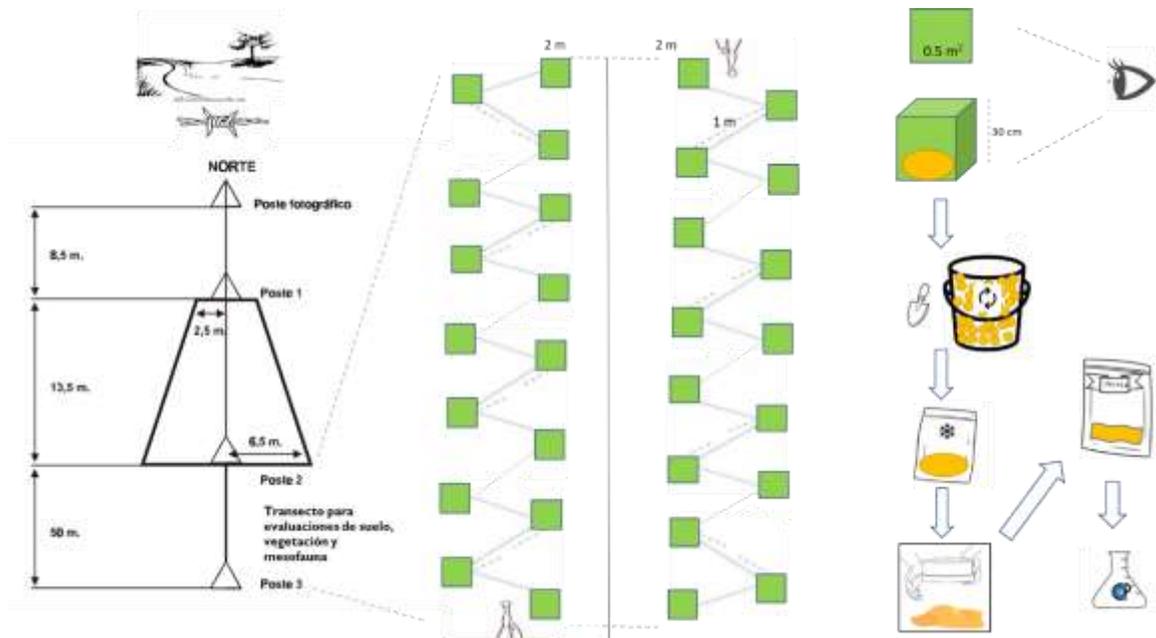


Figura 5. Modelo de observación biológica, evaluación física y toma de muestras de suelo y vegetación en los sitios de muestreo.

Fuente: Método estándar utilizado por Hacker, *et al.* (1992) con modificaciones propias.

2.5.3.2.1.b Toma de muestras para la estimación de la degradación de praderas según las unidades de paisaje establecidas.

Se realizó un muestreo a finales de la temporada de lluvias en septiembre-octubre de 2021 (a finales de la época de lluvias y principio de la temporada de sequía); los resultados de las observaciones físicas, biológicas y análisis químico fueron comparados con los resultados de los análisis realizados en la temporada de sequía y de lluvias; con la finalidad de complementar la interpretación del comportamiento de la degradación de praderas a nivel local y a nivel regional; en ambos casos permitió dilucidar el impacto a la biodiversidad y a los servicios ecosistémicos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cantidad de sitios de muestreo y muestras compuestas de suelo analizadas en áreas ganaderas del ANP La Frailescana, Chiapas.

Ejido*	Número de identificación de sitio de muestreo (ID)	Años de establecida	Área ganadera (ha)	Área (% que representa)	No. De sitios de muestreo	Cantidad de muestras compuestas de suelo (1 por sitio)
LN	1	5	7.27	13.4	25	5
LN	2	10	7	12.9	25	5
SM	3	20	10.92	20.2	25	5
SM	4	30	7	12.9	25	5
SM	5	50	15	27.7	25	5
SM	6	60	7	12.9	25	5
		Total	54.19	100	150	30

*LN: La Nueva Unión SM:San Marcos

Mediante sistemas de información geográfica (SIG) se realizó una preselección utilizando el método de muestreo aleatorio simple (Hernández, *et al.*, 2014), donde los sitios de verificación presentaron la misma probabilidad de ser seleccionados siempre y cuando se encontraran equidistantes entre 50-70 m entre sí. En campo fueron ubicados dichos puntos con una variación propia de la ubicación satelital de (± 5 m) distribuidos homogéneamente en las praderas dedicadas al pastoreo en cada una de las seis parcelas elegidas (Figura 6). Cada sitio se convirtió en un punto central; se anotó la georreferencia de este punto mediante un navegador GPS (Sistema de posicionamiento global) marca Garmin Etrex 10 ®. A partir del punto central, se procedió a medir 10 m hacia los cuatro puntos cardinales. En el punto central y cada punto cardinal, se colocaron marcos de aluminio, cuadrados de 0.5 x 0.5 m, en donde se realizaron las observaciones de cobertura, frecuencia de especies de plantas y se evaluaron las variables físicas estructurales antes mencionadas. En las seis parcelas se realizaron en total 150 registros (Cuadro 4). En el punto central y en cada punto cardinal se tomó una submuestra de suelo de aproximadamente 200 g para conformar una muestra compuesta de 1 kg.

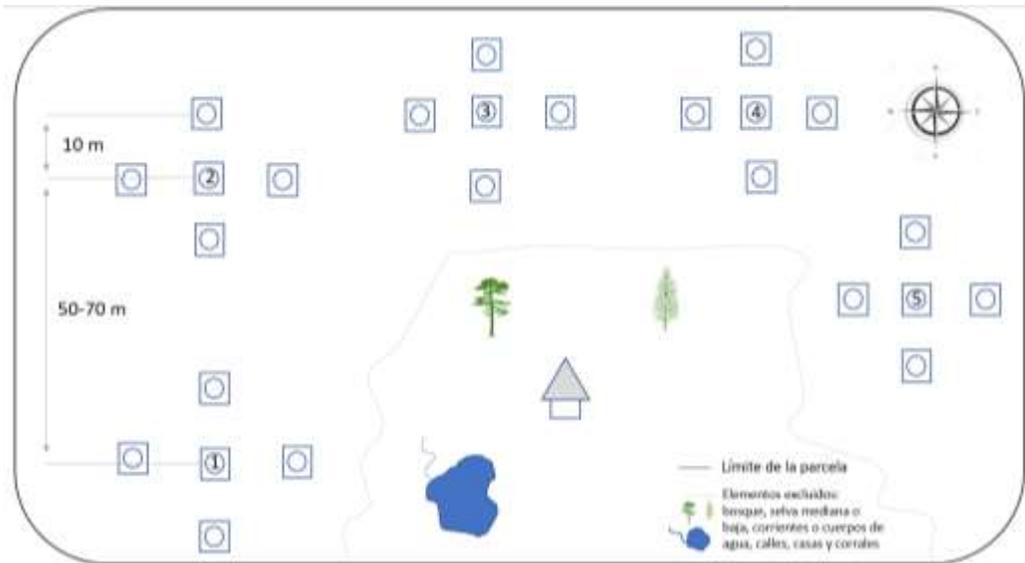


Figura 6. Estrategia de muestreo para el análisis regional en áreas ganaderas del ANP La Fraileskana.

2.5.3.2.2. Análisis físico, químico y biológico

Se realizaron observaciones físicas y biológicas mediante el método de evaluación visual de la estructura del suelo (VESS), modificado por Guimarães *et al.* (2011) y adaptado a los fines de la presente investigación; herramienta práctica y confiable a nivel mundial según Soares, *et al.* (2019) que es muy sensible para proveer una indicación de alerta temprana de algún cambio o declive en la calidad del suelo (Guimarães, *et al.*, 2011); los datos observados son registrados en un formato, con un valor que indica las características cualitativas (presencia; cantidad -muchas, pocas-; forma -finas, gruesas-). Las muestras de suelo colectadas en ambos casos, se enviaron al Laboratorio de Física del Colegio de Posgraduados para realizar análisis de variables seleccionadas de tipo físico: “densidad aparente” y de tipo químico: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), carbono orgánico (C) y materia orgánica (MO). Estos análisis se basaron en las técnicas indicadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (DOF¹², 2002).

2.5.3.2.3. Análisis comparativo

Para establecer las diferencias entre las parcelas, se realizaron análisis estadísticos para conocer si cuando menos una de las parcelas analizadas difería de las demás en cuanto a los valores registrados de cada una de las variables. Primero se determinó la normalidad y una vez verificada, se les realizó análisis paramétrico Análisis de varianza

¹² Diario Oficial de la Federación

(ANOVA) o al no verificarla, se les realizó análisis no paramétrico Kruskal-Wallis. Para poder determinar las similitudes o diferencias estadísticas entre las parcelas, se compararon las medias estadísticas mediante el análisis Tukey[®].

2.5.3.2.4. Conocimiento de especies

En todos los casos, las especies de plantas fueron recolectadas y colocadas en prensas botánicas con papel secante (periódicos), para ser enviadas al herbario Chip de la Secretaría de Medio ambiente e Historia Natural, para su posterior determinación taxonómica.

2.5.3.2.5 Variables seleccionadas para integrar los indicadores de niveles de degradación de praderas

Las variables evaluadas correspondieron a indicadores de la calidad del suelo; tal como lo sugiere Astier, *et al.* (2002) y otras variables fueron indicativos de la calidad de la pradera en general según los estudios de Dossman, *et al.* (2009); Giraldo *et al.* (2011) y Chara, *et al.* (2015).

2.5.3.2.5.a. Variables físicas

- Para determinar indicadores visuales se usó el método de evaluación visual de la estructura del suelo (VESS), modificado por Guimarães *et al.*, (2011) y adaptado a las condiciones de este experimento:
 - Presencia y forma de agregados, Humedad, Charcos, grietas y cárcavas.
- Mediante medición manual se determinó:
 - Resistencia a la penetración o resistencia al arado. Característica físico-estructural que determina la compactación del suelo debida al pisoteo o al uso de implementos de labranza y/o tránsito de maquinaria (Jiménez, *et al.*, 1992). Se expresa como fuerza por unidad de área en KPa o MPa (Toledo y Millán, 2016) o bien en libras por pulgada cuadrada (PSI por su abreviatura en inglés).
- Mediante análisis en el laboratorio de Física del Colegio de posgraduados, se determinó:
 - Densidad relativa y densidad aparente, porosidad, textura y tipo de suelo.

2.5.3.2.5.b. Variables biológicas

- Mediante el método VESS modificado por Guimarães *et al.* (2011), se determinó:
 - Presencia y cantidad de raíces, que indica la capacidad de enraizamiento.
 - En el caso de la vegetación sustentada en el suelo, se evaluaron la cobertura de especies de plantas palatables y no palatables.
 - Riqueza de especies de plantas.
 - Macrofauna edáfica: lombrices y otros animales (diferenciando entre los que son y no son plagas potenciales).

2.5.3.2.5.c. Variables químicas:

- potencial hidrógeno (pH),
- Nitrógeno (N), y
- Potasio (K).
- Fósforo (P)
- Contenido de Carbono total (C) y
- materia orgánica (MO).

2.5.3.2.6 Definición de los indicadores de degradación.

Se analizó la información para definir los indicadores de degradación. Una vez que se realizó la caracterización de cada sitio evaluado y tomando como referencia el método VESS modificado por Guimarães *et al.* (2011), se interpretó con el criterio de hacer evidente la degradación o su ausencia; a diferencia de otras investigaciones, en las cuales se determina la calidad estructural (Estructural quality=Sq). Se registraron indicadores visuales clave y se registraron en formatos ex profeso con apoyo de las cartas de puntaje del mismo método.

Los resultados fueron analizados para su interpretación, según cada objetivo.

Tanto las variables visuales como las verificadas en laboratorio, fueron comparadas con los datos que diferentes autores señalan como óptimos para mostrar condiciones del suelo que favorecen o no, el crecimiento de las plantas. Las características más lejanas a los valores óptimos recibieron los valores más altos de degradación, de forma que cuanto más alta fuera la sumatoria de valores de cada característica, obtuvo un nivel de degradación mayor.

2.5.3.2.6.a. Indicadores físicos de la degradación.

- Estimación visual de los agregados. Consistió en observar sus características visual y manualmente. Los agregados se comprimieron para estimar la resistencia al quiebre. Según la fragilidad o resistencia, se les asigna un número con base al Método para la calificación de la calidad estructural (Stivers, 2017; Bennie, 1996) el cual se integra a la sumatoria total de la evaluación física para ser evaluado estadísticamente.

- Presencia de grietas y cárcavas. Se registró la presencia con el número 1 y la ausencia con el número 0 y se le asignó un valor de degradación.

- Presencia de charcos. Se registró la presencia con el número 1 y la ausencia con un 0 y se asignó el valor de degradación.

- Humedad del suelo. Estimada con un instrumento manual llamado medidor de tierra de tres vías (3 way soil meter ®) que se inserta al suelo. Se calificó en base a la

referencia del punto de marchitamiento permanente (PMP) que es el valor debajo del cual algunos cultivos son incapaces de recuperar su turgencia, aún después de colocarse en una atmósfera saturada por un periodo de 12 horas. (1 debajo del PMP, 0 arriba del PMP) (Catalán, *et al.*, 2006).

- Resistencia al arado o a la penetración. Se registró la mediante un instrumento de uso mecánico llamado penetrómetro Lang[®] de proveedores forestales, modelo Green Generation[®], con una escala de compactación calibrada y codificada por colores de lecturas que permiten calcular la compactación del suelo de 0 a 630.77 libras por pulgada cuadrada (PSI). El instrumento mide 18-3/4" de largo y cuenta con una escala que se lee del 1 al 20; La interpretación se realizó a través de una tabla de conversión de dicha escala a "fuerza libras". El valor de degradación fue establecido de acuerdo a la tabla de interpretación de la resistencia del mismo aparato de medición.

2.5.3.2.6.b. Indicadores biológicos de la degradación.

-Capacidad de enraizamiento.

Esta observación fue de tipo cualitativo a través de la presencia de las raíces. Se determinó el grosor de las raíces (Valor registrado-característica: 1-finas y pequeñas, 2- moderadas, 3-gruesas) y la cantidad de las raíces (0=Ausencia, 1=pocas 1-3, 2=moderada 4-7, 3=muchas>7), se asignó este valor para el registro y posteriormente se reasignó una numeración según la condición de degradación de la variable de acuerdo con los criterios de Colombi *et al.* (2017a); Colombi y Walter (2017) y Chen *et al.* (2014).

-Presencia y cantidad de lombrices, presencia de otros animales que no son y de los que son considerados plagas potenciales presentes en el suelo.

La valoración en campo fue visual y los criterios en el caso de la ausencia y la cantidad de lombrices para determinar el valor de degradación se asignó según los criterios de Shepeherd (2006; modificado por Guimarães, *et al.*, 2011) así como de Edwards y Bohlem (1996).

En el caso del registro de fauna (distinta a lombrices) se les asignó un valor de 1 a la presencia y 0 a la ausencia; posteriormente según cada grupo faunístico se les reasignó un valor de degradación en base a los criterios de Lavelle *et al.* (1993); Salamanca y Chamorro (1994); Lavelle, *et al.* (1997).

-Evaluación de la Composición botánica.

Se determinó la proporción de las especies de plantas están presentes en el forraje bajo oferta alimenticia (Mendoza y Lascano, 1984). Este criterio permitió determinar el número de especies que componen la pradera, el cual se realizó mediante una evaluación de frecuencia de especies con base en lo sugerido por Borrelli y Oliva (2001). En cada punto de muestreo se registró la presencia de las

especies de plantas que están dentro de cada uno de los sitios de muestreo delimitados por el marco cuadrado de 0.5 x 0.5 m, y se registró en un formato preestablecido (Anexo 3).

La frecuencia de cada especie es el porcentaje de ocurrencia de esa especie en relación al total de muestras tomadas (eq. 1). Los análisis estadísticos fueron la comparación de medias mediante prueba de Tukey (Hernández, *et al.*, 2014), con el programa R (versión 3.6.2., 2019).

Fórmula para evaluar la frecuencia de cada especie:

$$\text{Frecuencia Sp.} = \frac{\# \text{ de marcos donde se registró la especie}}{\text{total de marcos evaluados}} \times 100 = X\% \quad \text{--eq. 1}$$

En el caso de la composición de especies, se registró el % de grupos botánicos presentes (pastos forrajeros sembrados *ex profeso* -pastos palatables u otras especies -no palatables) y los valores de degradación para estos registros, se asignaron según los criterios sugeridos por Rincón, *et al.* (2015).

En el caso de la cobertura de especies, se determinó que la cobertura es toda aquella cubierta viva -palatables o no-, residuos, hojarasca y se estableció como valores de degradación, según el porcentaje de cobertura total que presentaba cada muestra observada, con referencia a los estados de degradación sugeridos por Rincón, *et al.* (2015).

2.5.3.2.6.c. Indicadores químicos de la degradación.

- Contenido de materia orgánica y de carbono en el suelo.

Los valores de degradación se establecieron por comparación con el valor del potencial para la producción (óptimo para el desarrollo de las plantas) y no se consideró el tipo de textura de cada suelo, según Walkley-Black (en Echeverría y García, 2015).

- Contenido de nitrógeno en el suelo.

Los valores de degradación se establecieron con base al valor de disponibilidad de nitrógeno (%) estimado de acuerdo al método Kejl Dahl (Echeverría y García, 2015). (Anexo 6-3)

- Contenido de potasio (K+) en el suelo.

Los valores de degradación se establecieron con base al valor de disponibilidad (en % y $\text{Cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$) según Echeverría y García (2015) así como las características que establece la FAO (2019).

- Contenido de fósforo (P) en el suelo.

Los valores de degradación se establecieron con base al valor de disponibilidad (ppm y $\text{Cmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$) según Bray-Kurtz (Echeverría y García, 2015).

- Potencial hidrógeno (pH) en el suelo.

Los valores de degradación se establecieron por comparación con las características y los valores establecidos en USDA (1993); Thompson y Troeh (1988) así como Smith y Doran, (1996).

Para conocer las diferencias entre las parcelas, según las variables químicas entre las muestras observadas o recolectadas a finales de la temporada de lluvias, con los resultados de los análisis químicos, se utilizó un diseño experimental completamente al azar y pruebas de medias de Tukey® con el programa Software de análisis estadístico SAS® (Versión 9.2, 2004).

2.5.4. Experimento 4. Explorar las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y la provisión de los servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación, soporte y hábitat que brinda la pradera.

2.5.4.1. Importancia de los servicios ecosistémicos mediante una evaluación cualitativa, según la percepción de los productores

A través de las entrevistas se determinaron los servicios ecosistémicos que brindan las áreas de pastoreo, de acuerdo a criterios descritos y modificados por Castañeda (2013). Cada parcela fue evaluada por separado, según las respuestas del dueño de la misma y complementada por su familia y las observaciones directas a las actividades y al entorno en que se desarrolla la ganadería.

Se conjuntaron los criterios y valores de los servicios ecosistémicos y fueron interpretados desde la percepción individual y la visión local.

2.5.4.2. Impacto a los servicios ecosistémicos según los análisis físicos, químicos y biológicos

Para reflejar con precisión la degradación de las praderas y determinar las áreas con diferentes niveles de degradación, se aplicó la metodología de muestreo indicada previamente (Cuadro 4 y Figura 6) al final de la temporada de lluvias (mes de octubre). Se seleccionaron 150 puntos correspondientes a los sitios evaluados (25 sitios distribuidos homogéneamente en cada parcela), dentro del área de pastoreo de cada parcela. A las variables seleccionadas físicas, químicas y biológicas, les fue asignado un valor de degradación bajo el criterio de diferentes autores, los cuales fueron integrados en una tabla que fue capturada en una hoja de Excel®.

Se seleccionó un método estadístico que ha sido utilizado por diversos autores, como Yang, *et al.* (2020) para evidenciar las características de diversos problemas ambientales y que aportó la relación entre las distintas variables evaluadas con mayor precisión arrojando información más precisa del comportamiento de dichas variables ante la degradación de las praderas en la región. El método seleccionado fue el análisis de componentes principales (PCA), un método estadístico multivariado, que Arslan (2013) utilizó para identificar la relación entre las variables indicadoras originales y transformarlas en componentes principales independientes.

El método de extracción, análisis de los componentes principales, se realizó mediante el programa SAS® (Versión 9.2, 2004). y para establecer la intensidad de la relación se usó la referencia indicada en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Referencia para establecer la intensidad de la correlación entre variables (Rowntree, 1984).

Intensidad	Perfecta	Alta	Medio-alta	Media	Medio-baja	Baja	nula
Valor	1	0.81-0.99	0.61-0.80	0.41-0.60	0.21-0.40	0.01-0.20	0

Este método permitió la eliminación de la correlación entre los indicadores de evaluación y redujo en gran medida la carga de trabajo de selección y cálculo de indicadores (Loska y Wiechuła, 2003).

Se obtuvieron los factores correlacionados entre sí y que fueron los más representativos, relacionados con la degradación de las praderas. Esto permitió hacer un análisis interpretativo de las afecciones a la biodiversidad y a los servicios ecosistémicos afectados de las praderas en la región.

2.5.4.3. Impacto de la degradación de praderas a los servicios ecosistémicos mediante modelos de predicción digital

Con los datos obtenidos de los 150 puntos de muestreo previamente indicados, se establecieron unidades de paisaje (U) que corresponden a las posiciones en el paisaje que presenta cada uno de los niveles de degradación de las praderas.

Se realizaron cortes digitales mediante el programa ArcGIS® (10.7 versión 2019) y se usaron imágenes de satélite Landsat 2015, obtenidas gratuitamente de la página NASA¹³® (2015), para realizar una interpretación espacial más que espectral, tal como la realizada por Ortiz y Pérez (2009) en la clasificación de imágenes útiles en la interpretación del territorio.

¹³ Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio

Se estableció un polígono que incluía la delimitación parcelaria como unidades de muestreo. La base de datos del RAN en formato vectorial de forma consistente, fue usada como un mapa de referencia. Para establecer la clasificación se asumió que los datos siguen una función de distribución normal o Gaussiana dirigida a la asignación de la probabilidad de que cualquier píxel corresponda a cada una de las clases asignadas.

Los límites de cada parcela representan los límites de propiedad de cada productor, según el Registro Agrario Nacional (2016) y las áreas en donde no se aprecian puntos negros (de colecta) corresponden a zonas de difícil acceso o en ese momento se encontraban ocupadas por matorral, selva baja, cultivo agrícola o corresponden a cárcavas derivadas de erosión hídrica, arroyo o cuerpos de agua.

Una vez que se tuvieron determinados los componentes principales, la correlación entre las variables y los factores más representativos de la degradación de praderas, se procedió a seleccionar en una tabla de Excel® (Versión 15 de 2013), los valores de degradación de dichos factores. La tabla estuvo integrada por los 150 puntos de muestreo, la georreferencia de cada uno, las columnas con los datos de cobertura de especies de pastos palatables, de plantas no palatables y suelo descubierto. La tabla de Excel® (Versión 15 de 2013), se convirtió a formato *.xls y se manipuló con herramientas del programa ArcGIS® (10.7 versión 2019) y mediante una herramienta del mismo, se realizó el análisis del método de distancia inversa ponderada (IDW), para calcular el modelo determinístico de interpolación aplicado específicamente a los componentes principales que previamente mostraron correlación en el método de los componentes principales PCA.

La herramienta IDW (Distancia inversa ponderada) asume que los valores más cercanos están más relacionados entre sí y de ese modo estima valores desconocidos al especificar la distancia de búsqueda. Esta herramienta estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Como resultado se presentó una imagen con una predicción visual, a través de la cual se buscó un valor estimado de los niveles de degradación de las praderas.

Se buscó obtener imágenes que representaran visualmente el área muestreada en cada sitio, los colores fueron establecidos por la herramienta para asignarlos a una clasificación seleccionada que corresponden a la intensidad de la degradación de cada parcela. Con el nivel de degradación calculado, así como la predicción de extensión de la misma a nivel local, según sus características. Se realizaron digitalmente las mediciones y se evaluaron los porcentajes de cada unidad de paisaje y de esta forma fue posible identificar las áreas más afectadas por la degradación. Esto permitió dilucidar las afecciones a la biodiversidad, así como a los servicios ecosistémicos de la pradera a nivel local. Del mismo modo abre la posibilidad de que a mediano plazo se puedan esbozar las posibles acciones inmediatas para frenar la degradación de las praderas en las zonas estudiadas.

IV. RESULTADOS

4.1 Evaluación de la degradación de praderas, mediante la estimación de áreas afectadas a través de herramientas de análisis de sistemas de información geográfica

La degradación de los ecosistemas, es un problema que enfrentan muchas áreas naturales protegidas ya que dicho decreto promueve la tendencia destructiva de algunos actores, que lo consideran como una herramienta legal importante, pero como instrumento normativo, también requiere del consenso con los diferentes actores sociales y productivos, entre ellos del sector ganadero.

4.1.1. Estimación de la degradación por erosión

4.1.1.1. Análisis a nivel regional

El análisis de la estimación de áreas degradadas a través de herramientas de análisis de sistemas de información geográfica, en dos de los nueve polígonos, seleccionados por ser los más grandes y compactos del área natural protegida conocida como La Fraileskana, indicó que de una superficie analizada de 113,892.26 ha, el porcentaje de degradación por erosión fue del 65.18%, cifra que no había sido reportada como un problema o amenaza para el ANP en cuestión, por la CONANP (2017). También fue más alta con respecto a lo reportado para las ANP en México durante el año 2011 (CONANP (2015); donde reportaron superficies muy pequeñas de alteración con niveles altos (3%) y muy altos (1%) y únicamente las áreas urbanas o periurbanas tenían altos porcentajes, razón por la cual no coincide con el presente caso en estudio. Este dato, es congruente con lo indicado por FAO (2015) cuando señala que la degradación de los suelos de América Latina y el Caribe, está más acentuada en México y Centroamérica, aunque esta fuente no hace referencia a las áreas protegidas específicamente.

Del área total evaluada del ANP La Fraileskana antes mencionada, se determinó que un total de 12,988.31 ha, corresponde exclusivamente al ecosistema de praderas; de las cuales un 88%, equivalente a 11,431.406 ha, está afectada bajo algún nivel de degradación (Figura 7). La superficie afectada en porcentaje, sería: leve 27.18, Moderada 29.42 y Fuerte a extrema 31.39; que en conjunto representan el 88% (Figura 7). Comparativamente esta cifra es más alta a una evaluación realizada a otra ANP, la Reserva de la Biosfera Mapimí en donde la degradación en el suelo de predios ganaderos fue mayor al 52% de la degradación encontrada en 275 sitios evaluados con la metodología de degradación de áreas (Ramírez-Carballo, *et al.*, 2011). También

es más alto, que los porcentajes reportados para las praderas en otros casos: el 73.9% para las praderas de México por Alemán *et al.* (2007); el 80% de degradación por erosión que la FAO (2015) reportó para las zonas andinas de Colombia y el reportado por Pieri (1989), quien indicó que el 70% de las tierras de pastoreo en el mundo están degradadas.

Las actividades productivas no sustentables o las acciones de fraccionar y urbanizar los terrenos (algunas personas propietarias/ejidatarias, empresarias y en búsqueda de viviendas fuera de la ciudad) aumentan la degradación de praderas en esas zonas (Hensler y Mercon, 2020). Aunado a esto, no existe un órgano de gobernanza a nivel del área natural protegida y según la FAO (2015) tampoco a nivel internacional, que abogue por evitar la degradación del suelo y tampoco por los ecosistemas relacionados intrínsecamente, como lo es la pradera.

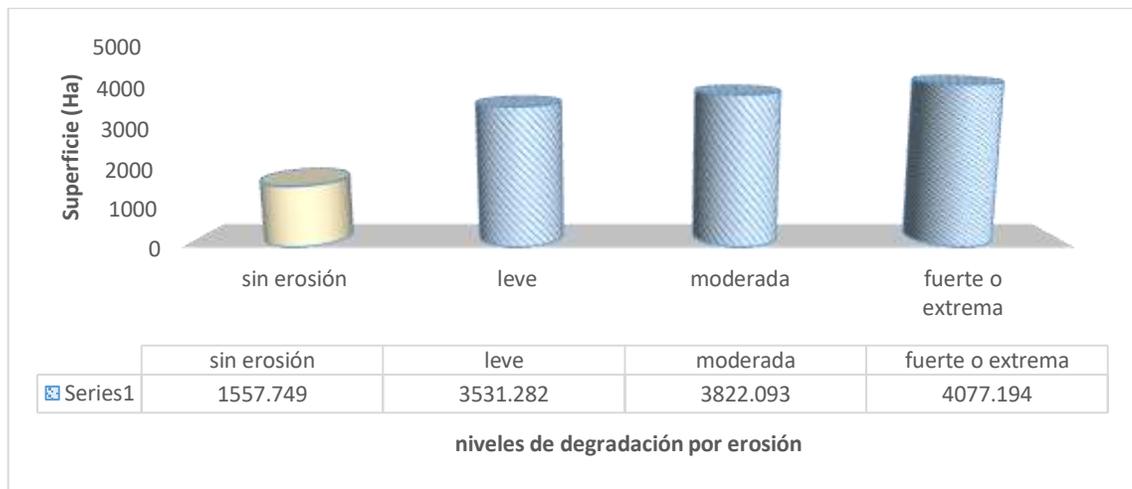


Figura 7. Superficie (ha) de praderas en diferentes niveles de degradación por erosión en el ANP La Fraileskana.

4.1.1.2. Análisis a nivel local (ejidal)

La degradación por erosión en los tres ejidos evaluados: San Marcos, La Nueva Unión e Ignacio Zaragoza, se manifestó tanto en las praderas como en las áreas que cuentan con otros tipos de uso de suelo y/o vegetación. Sin embargo, el porcentaje de degradación por erosión en áreas de praderas con respecto a la superficie ejidal evaluada, fue más bajo en todos los casos (Figura 8). Al respecto, la FAO (2015) indica que en América Latina, los factores con mayor responsabilidad de la degradación del suelo (y por ende de los ecosistemas relacionados), es el sobrepastoreo, la agricultura que además suele ejercer mayor presión debido a la mecanización de algunos

procedimientos de la misma y la urbanización (FAO, 2015). Aunado a lo anterior, el tipo de suelo en estos ejidos es de tipo Regosol eútrico (INEGI, 2016), por tanto es joven con escasa evolución edafogénica, que es considerado como no apto para actividades agrícolas, pero sí apto para el pastoreo en áreas montañosas según Bautista, *et al.* (2010).

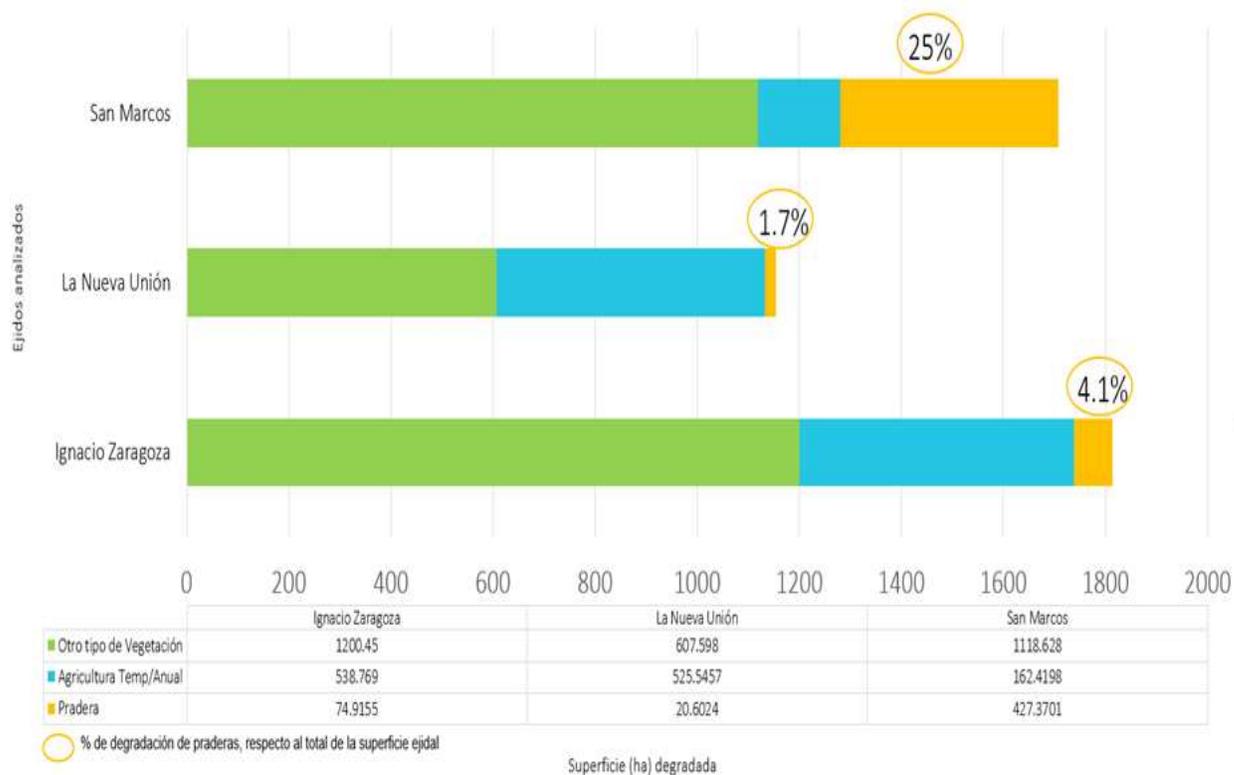


Figura 8. Superficie (ha) degradada según el uso del suelo en tres ejidos del ANP La Frailescana.

Según Andablo, *et al.* (2015), esto ocurre en muchas regiones rurales, dado que las familias tienden a buscar la forma de insertarse en las cadenas productivas regionales o inclusive nacionales y con ello pierden autonomía en cuanto al uso que darán a sus recursos naturales, los cuales pueden sufrir diversos grados de deterioro. Por tanto, las diferencias a nivel regional y ejidal, pueden ser producto de una diferenciación en cuanto a la gestión temporal o debido a las condiciones ambientales y económicas (Teague y Kreuter, 2017).

En el ejido San Marcos se observó mayor cantidad de zona de praderas y comparativamente con los otros ejidos cuenta con mayor superficie con degradación

por erosión; presentándose en mayor superficie la degradación con un nivel de alto. El ejido Nueva Unión fue el que menor superficie con degradación por erosión presentó (Figura 9). Al igual que la comparación a nivel regional con la ejidal; se considera que las condiciones económicas de ambos ejidos son diferenciadas en términos de una gestión productiva (Teague y Kreuter, 2020), por tanto, será diferente la condición de un proceso que deriva, como es la degradación de praderas. En el caso del ejido San Marcos, cuentan con mayor superficie dedicada al pastoreo de bovinos, por ende, tal como indica Giraldo *et al.* (2011), esto va a redundar en tener una pastura degradada, en caso de que no tenga un manejo adecuado.

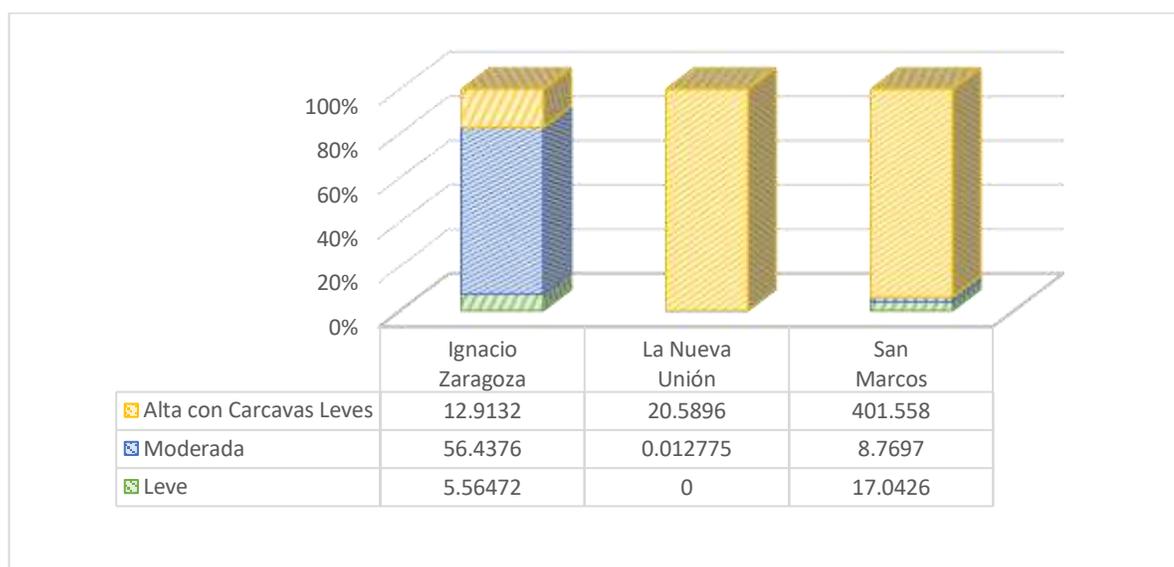


Figura 9. Superficie (ha) de praderas degradadas por erosión en tres ejidos del ANP La Frailescana.

Sin embargo, los diferentes niveles de degradación por erosión encontrados tanto a nivel regional como ejidal en esta zona, hacen necesario que tal como se ha indicado en el manejo de otras áreas protegidas, a mediano plazo se optimicen las prácticas productivas para frenar la degradación paulatina del ecosistema de praderas y con ello el impacto a los servicios ecosistémicos que brindan (Guevara *et al.*, 2009).

4.2 Relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y el impacto a la biodiversidad a nivel local y regional

Como resultado del estudio del paisaje y del territorio mediante investigación documental digital en el contexto regional y local, así como las entrevistas focales

semiestructuradas; se identificó la tendencia de cambios en los sistemas de producción que pueden representar posibles amenazas a la biodiversidad (Figura 10). Dicha información, permitió identificar las causas próximas o inmediatas para la toma de decisiones acerca de los cambios en las actividades productivas, así como se determinaron los cambios geográficos, sociales y de paisaje que han ocurrido a lo largo del tiempo, en especial se determinó el área máxima de zonas dedicadas al pastoreo, a nivel regional y dentro de cada ejido. Además, se reconstruyó la percepción local acerca de la historia y la gestión del proceso productivo.

En cuanto a la regionalización de actividades, se identificaron los medios de vida que los llevan a obtener recursos y se determinaron las razones en la toma de decisiones sobre los procesos y formas de producción. Se encontró que en todos los casos han realizado rotación productiva en el uso del territorio, es decir, mencionaron que intercalaban entre uso agrícola y uso pecuario y que una de las razones que los lleva a pasar del uso como potrero al uso agrícola (principalmente maíz) es el precio del producto agrícola, si aumenta, hay mayor reconversión. Del mismo modo, cuando la producción agrícola ya no es económicamente atractiva o el rendimiento baja, consideran que la conversión de área agrícola a potrero es benéfica para el área, porque hay recuperación de vegetación que a su vez protege al suelo. Al respecto Valdiviezo-Pérez, *et al.* (2012) indican que en efecto dicha recuperación del suelo, puede ocurrir, siempre y cuando entre las decisiones de los productores se incluyan estrategias de pastoreo como la regulación espacial y temporal de la carga animal.

Los productores que mantienen el área como un sistema de pastoreo, también indicaron que están obteniendo más ganancias con dicha actividad que sembrando algún producto agrícola, lo cual coincide con lo que la FAO (2019) describió como una decisión orientada a reducir la vulnerabilidad y para aumentar el bienestar.

Arshad, *et al.* (1996) ha documentado que esta práctica de intercalar temporalmente el cultivo de maíz con el pastoreo (que además es un medio de vida), ya forma parte de la gestión propia de cada productor y en base a ello deciden qué actividad realizarán sobre su territorio productivo.

Anteriormente Gómez-Ruiz (2010), indicó que la producción agrícola en esta región de estudio, especialmente la de maíz, no ha sido rentable por el alto costo de los insumos e ineficiente por lo que prácticamente es de subsistencia o autoabastecimiento. Otros medios de vida fueron registrados por el SIAP¹⁴ (2016), quienes indican que, en la región, muchos ejidos se dedican a la cría de bovinos, porcinos, ovinos y aves para ser vendidos en pie y como carne en canal, así como para aprovechar los productos derivados como la leche, huevos además de miel y cera; ya que con estas actividades reciben más del doble de ingresos que de la producción agrícola. De igual forma, otro sector mencionado y que es redituable de ingresos a las comunidades en la región, es el forestal, ya sea mediante autorizaciones de manejo de plantaciones como los que

¹⁴ Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

mantienen ejidos vecinos al área de estudios; o bien manteniendo la cobertura forestal a que los obligan los programas de pago de subsidios, tales como el Pago por servicios ambientales que la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), implementó desde hace cinco años en los ejidos donde se realizó el estudio (Díaz¹⁵, comunicación personal).

Los medios de vida o subsistencia, relacionados con la gestión de recursos a nivel local o a nivel de ejidos también incluyen las decisiones sobre la división u ordenamiento del territorio, sobre todo respecto al régimen de propiedad del ejido cuya modalidad es privada (según la Ley Agraria modificada en 1992) en donde se identifiquen las áreas comunes, ya que a decir de diversos autores como Fernández (2012), el concepto de “área común o comunes” no solo se refiere a bienes sino a recursos y su forma de relacionarse con la apropiación de la naturaleza. Estas áreas comunes pueden ser como los bosques (considerados así a nivel global) o las áreas de pastoreo (a nivel local) que, en su mayoría, se perciben como indivisibles por ser en muchos casos, de propiedad o de interés colectivo. Cuando ocurre de esta forma, la gestión colectiva permite que se generen conocimientos ecológicos locales, los cuales favorecen la diversidad biológica que albergan y la diversidad cultural que representan (Fernández, 2012).

Bajo esta premisa, el análisis del territorio realizado con la información de PHINA-RAN (2020) indicó que el ejido Ignacio Zaragoza presenta el 95% de su territorio parcelado. A diferencia de éste, los ejidos La Nueva Unión y San Marcos, aun presentan más del 20% de territorio con la categoría de “uso común” (Figura 10), que hasta el momento cuenta con cubierta forestal principalmente de pino y encino.

¹⁵ Ing. Raúl Díaz. Ex subdirector del área natural protegida conocida como La Fraileskana, CONANP.

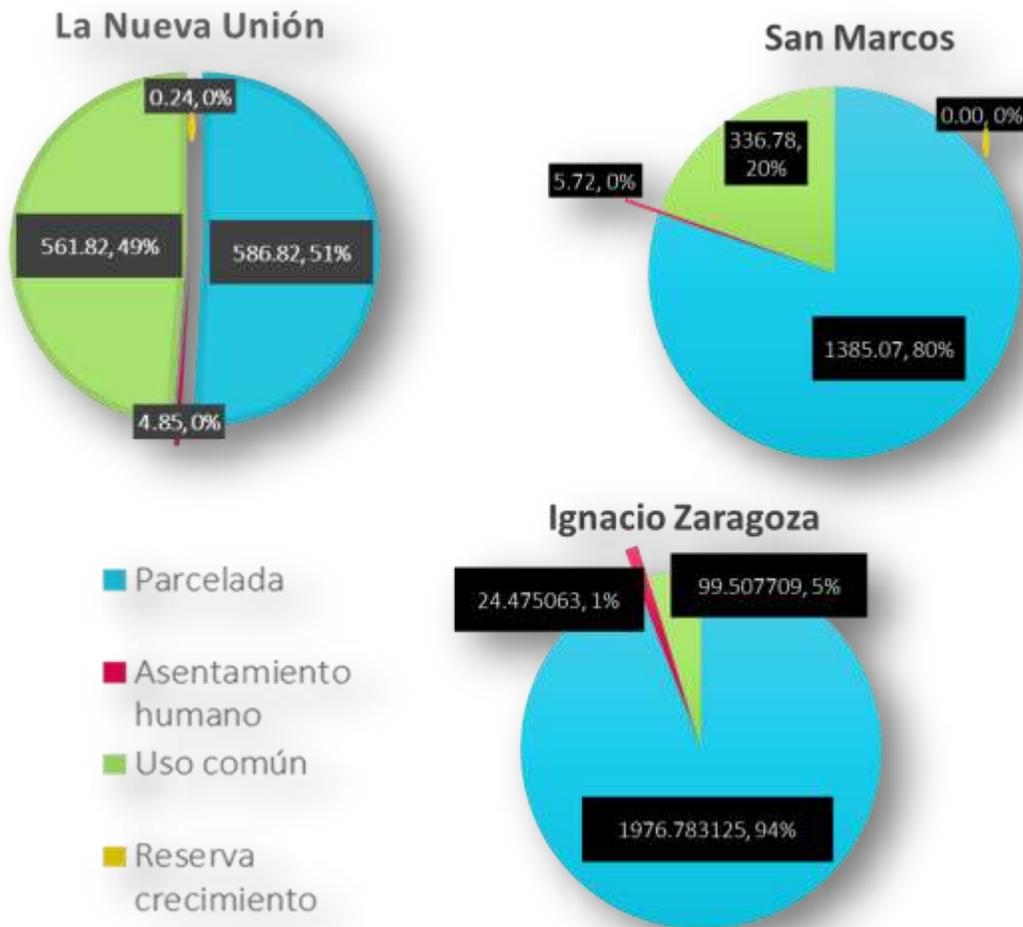


Figura 10. Características del territorio de tres ejidos prioritarios para el ANP La Fraileskana.

Fuente: Creación propia con los datos de PHINA-RAN (2021). Los datos se representan en Ha y se indica el por ciento, respecto al total del territorio.

El ejido Ignacio Zaragoza tiene la mayor superficie que se encuentra parcelada, lo que predispone a la posibilidad de transformar el paisaje actualmente forestal (ecosistema de pinar y encinar) a un paisaje agropecuario o asentamiento urbano, ya que tampoco cuenta con terrenos de reserva para el crecimiento poblacional; tal como hace referencia Fernández (2012) y que coincide con lo indicado por Brunet (1974), respecto a que el paisaje cambiará debido a las acciones humanas y lo que indica Dolfus (1978) respecto a que las selecciones y juicios de valor que tomen los usuarios en un paisaje, darán como resultado una modificación e inclusive una degradación del mismo.

Las características del ordenamiento territorial actual del ejido Ignacio Zaragoza y las razones manifestadas por los productores, quienes indicaron que tenían previsto un cambio de uso del suelo de sus áreas ganaderas a agrícolas u otros usos; ocasionó

que el territorio en la localidad de Ignacio Zaragoza, no fuera considerado para realizar el análisis a nivel de parcelas productivas. Y dentro de los otros dos ejidos únicamente fueron considerados aquellos productores con parcelas permanentes o estables, que no cambiaran el área de pastoreo a agrícola, al menos durante el tiempo de la investigación.

Es evidente que para entender los procesos que dan lugar al cambio en el uso del suelo, se debe conocer la dinámica poblacional, para poner en evidencia la intensidad de uso a que un territorio puede estar sometido, tal como lo han hecho evidente Gómez y Kaus (1992) quienes mencionan que se requiere de una visión a largo plazo y por ello es relevante el hecho de que los ejidos seleccionados La Nueva Unión y San Marcos, cuentan con bajo o nulo incremento poblacional (Figura 11 y Figura 12), al igual que como sucede en las poblaciones inmersas o cercanas a otras áreas naturales protegidas, como es el AP La Frailecana, que puede ser debido a la presión normativa existente o conciencia conservacionista propia. Sin embargo, por mínimo o nulo que parezca el aumento poblacional, llega a ser motivo de presión hacia la biodiversidad debido a las actividades productivas que tienden a aumentar tal como lo indica Porter-Bolland, *et al.* (2008) y como se reporta en otras áreas naturales protegidas (Arriola, *et al.*, 2014), en donde la sola presencia poblacional generó cambio de uso de suelo, introducción de especies exóticas, contaminación, entre otros deterioros a los recursos naturales.

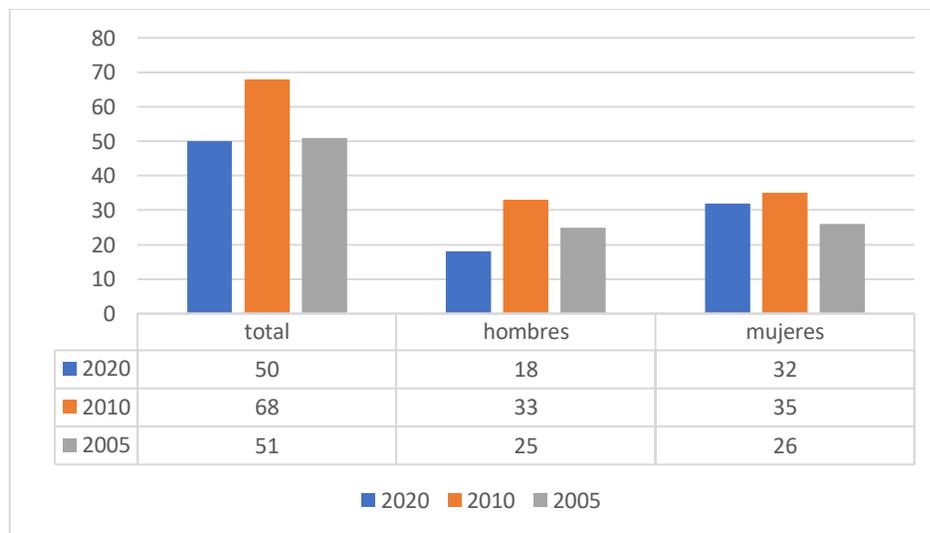


Figura 11. Población total y por género en el ejido La Nueva Unión, Villa Corzo, Chiapas, México.

Fuente: INEGI (2020)

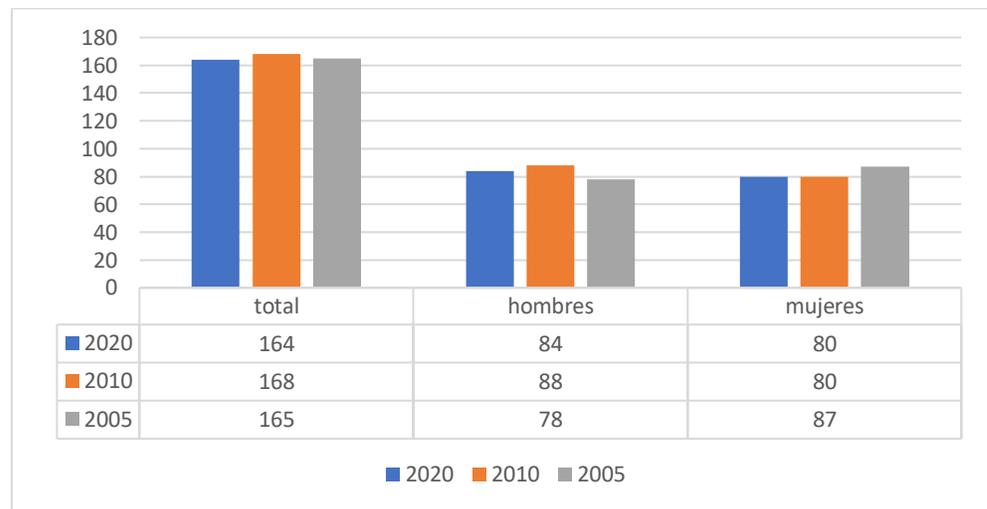


Figura 12. Población total y por género en el ejido San Marcos, Villa Corzo, Chiapas, México.

Fuente: INEGI (2020)

El análisis de paisaje tal como menciona Foch y Bru (2017) es resultado de la geografía, del contexto social y de la historia y permite conocer las tendencias hacia la degradación. Por ello un análisis geográfico digital, en seis parcelas seleccionadas de los ejidos La Nueva Unión y San Marcos, donde cada parcela se representó por un polígono que estableció sus límites de propiedad, así como la delimitación de los subpaisajes al interior (frontera agropecuaria, forestal, urbana, etc.) en dos momentos (2016 y 2020) permitió observar los cambios geográficos y del paisaje que pudieran representar junto con el contexto social de los ejidos, posibles amenazas a la biodiversidad (Cuadro 6).

Cuadro 6. Caracterización del paisaje y del territorio en las parcelas evaluadas.

Ejido ¹	No. Identificación (Núm. parcela según RAN) ¹	Años de pastoreo ^{***}	2016 uso del suelo o vegetación ³	2016 degradado por erosión ²	Actual Google satélite híbrido (dic 2019-abril 2020) ¹ y verificación en el sitio
La Nueva Unión	1 (33)	5	área agropecuaria	Sin degradación por erosión	Con escasa vegetación de árboles, casi toda el área es pastizal.
La Nueva Unión	2 (36)	10	Área agropecuaria	Sin degradación por erosión	Con 50% área de pastizal, 50% matorral con árboles o arbustos.
San Marcos	3 (56)	20	Pastizal inducido en su totalidad	Fuerte o Intensa (H3)	Sin cubierta forestal en aprox. 41148 m ² . En el resto hay pocos árboles.
San Marcos	4 (38)	30	30% era bosque de pino encino	Sin degradación por erosión	Cubierta forestal en un 10% de la parcela. 20% dedicada a actividades agrícolas temporales de maíz y frijol.
San Marcos	5 (84)	40	Con 92788 M ² de bosque de pino encino.	Fuerte o Intensa (H3)	Con 145281 m ² de pastizal y 73890 m ² de bosque.
La Nueva Unión	6 (9)	50	Área agropecuaria	Sin degradación por erosión	Con 89710 m ² de área agropecuaria; 2 ha para pastoreo, el resto es área de agricultura temporal (maíz). 54369 m ² con vegetación arbolada, semi compacta.

¹ Análisis personal, mediante programa QGis (versión 2.14[®], 2017) ²Análisis mediante herramientas SIG, con información de INEGI (2016) programa QGis (v. 2.14[®], 2017) ³. Análisis personal con información INEGI (2016) y PHINA-RAN (2000).

La frontera agropecuaria no ha avanzado, lo cual puede tener una raíz social, dada la restricción normativa federal a que están sometidas las localidades por encontrarse inmersos en un ANP, así como a los arreglos institucionales locales que permiten que las acciones de conservación prevalezcan, incluso en las decisiones de desarrollo productivo. Lo anterior, aunado a las formas de vida, bajo incremento poblacional, la

historia y el ordenamiento del territorio y el ordenamiento territorial actual. Esto coincide con Gibson *et al.* (2005) quienes indican que en años pasados las localidades en donde se desarrolló la investigación así como otras vecinas, han recibido un apoyo económico mediante un programa de subsidios llamado “pago por servicios ambientales agua por parte de la CONAFOR, además de diversos proyectos de desarrollo rural con enfoque de sustentabilidad asignados por la CONANP ha realizado con dichas localidades que podrían estar influenciando en frenar el cambio de uso del suelo y a su vez la degradación. Por tanto, se considera que la presión sobre la biodiversidad actualmente es moderada a nivel de ecosistemas, específicamente de las praderas y sus recursos. Este método de evaluación de las superficies mediante imágenes satelitales permitió estimar el impacto de los factores analizados, tal como lo sugieren Pérez y García (2013), razón por la cual es posible contribuir a la mitigación, tal como indica Arriola, *al et.* (2014) y como lo sugiere Guevara, *et al.* (2011) para otras ANP.

4.3 Desarrollo de indicadores de niveles de degradación de praderas con base a la evaluación de variables físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas

La degradación de un ecosistema como las praderas, se puede determinar, mediante indicadores que puedan aportar información sobre los servicios ecosistémicos que pueden estar comprometidos o en riesgo, tal como indican Astier *et al.* (2008).

Los indicadores pueden ser de diferente tipo, tales como económico, productivo, social y/o ambiental; por lo cual pueden ser útiles a los ganaderos para tomar decisiones que le permitan mantener en óptimas condiciones su sistema de producción; así como a los tomadores de decisiones de la dependencia de gobierno para ejecutar acciones o determinar programas que favorezcan la producción sin deteriorar a este importante ecosistema.

4.3.1 Determinación de indicadores de niveles de degradación de praderas con base a la evaluación de variables socioeconómicas

Se obtuvieron las características socioeconómicas relacionadas con la producción a los que se les asignó un nivel de degradación con base a referencias de diversos autores. Con base a ello se eligieron como variables: Litros de leche por animal (vaca), dependencia de insumos externos tal como la compra de alimentos suplementarios, número de potreros, días de ocupación y días de descanso de cada potrero y labores agronómicas realizadas y relacionadas con la degradación del suelo, tales como las quemadas intencionales y la aplicación de plaguicidas (Cuadro 7)

Cuadro 7. Variables socio-productivas determinadas en las parcelas ganaderas evaluadas.

No. De identificación (ID) de las parcelas	Temporalidad o años de uso pastoril continuo	Valores o características de las variables socio-productivas				
		Litros de leche por vaca	Compra alimentos suplementarios	División de potreros o cantidad de potreros	ocupación/descanso del potrero (Días)	Labores (actividad)
1	5	6 a 7	si	2	240/125	Picoteo*, poda y herbicidas.
2	10	6 a 7	si	2	90-275	Picoteo y deja descansar.
3	20	8 a 12	si	3	30/30	Picoteo, poda, herbicidas, fertilización y deja descansar.
4	30	4 a 6	Si	4	10-15 días en temporada de lluvias, 30/30 días en temporada de sequía.	Picoteo, poda, herbicidas, quemas, leguminosas.
5	40	6 a 8	si	4	30 / 30	Picoteo, poda, herbicidas y deja descansar.
6	50	4.16	si	4	15 / 45	Picoteo, poda, herbicidas y deja descansar.

*El picoteo es la acción de cavar y hacer canaletas en terrenos compactados, quebrar y arrancar piedras con una herramienta llamada “pico” que tiene punta y pala angosta. Fuente: Creación propia con datos del según censo, entrevistas y análisis con Qgis (v. 2.14®, 2017) e información secundaria del RAN (2016)¹

Los indicadores de niveles o etapas de degradación socioeconómicos, fueron seleccionados según recomendaciones de Astier *et al.* (2002) con referencia al contexto, la época y la situación evaluada; razón por la cual fueron seleccionados los criterios de investigadores que previamente analizaron la degradación desde dicha

perspectiva, tal como Holmann (2004). Los cuales se indican de acuerdo a la valoración de la degradación, es decir aquellas características que indican las condiciones menos adecuadas para la sostenibilidad del sistema (Cuadro 8).

Cuadro 8. Indicadores socioeconómicos de degradación en praderas de uso ganadero en el ANP La Frailescana.

Valor de degradación	Características			
	Productividad	Dependencia de insumos externos	Labores de manejo	
	*leche (L por vaca, diarios)	**Compra de alimentos suplementarios	***Cantidad de potreros y días de uso/descanso	****Quema y aplicación de herbicidas en el área de pastoreo
0 nula	8 o más	No compran	5 potreros o más que permitan un uso continuo por 8 días cada uno.	No queman ni aplican herbicidas
1 baja	6 a 7	A veces compran	4 potreros, que permiten rotación	Aplican herbicidas
2 moderada	6	Compran frecuentemente	2-3 potreros usados durante 1 mes cada uno.	Aplican herbicidas y queman ocasionalmente
3 alta	< 6	Siempre compran	2 potreros, cada uno con más de 90 días de uso continuo.	Siempre aplican herbicidas y queman

Fuente: Creación propia con la información generada y los criterios de referencia de los autores: *Camacho, *et al.* (2021) y Holmann *et al.* (2004); **Teague y Keuter (2020); Andablo, *et al.* (2014); Crespo (2001); Fernández, *et al.* (2006); Frank y Viglizzo, (2010); *** Tague y Kreuter (2020); Teague y Barnes (2017); ****Incendios, Kim *et al.* (2011); herbicidas, Rodríguez, *et al.* (2019).

Una vez que se compararon los resultados con los indicadores de degradación, se encontró que los valores de degradación fueron de altos a moderados para cada

variable excepto en el caso de la producción de leche y las labores de quemas y aplicación de herbicidas (Figura 13).

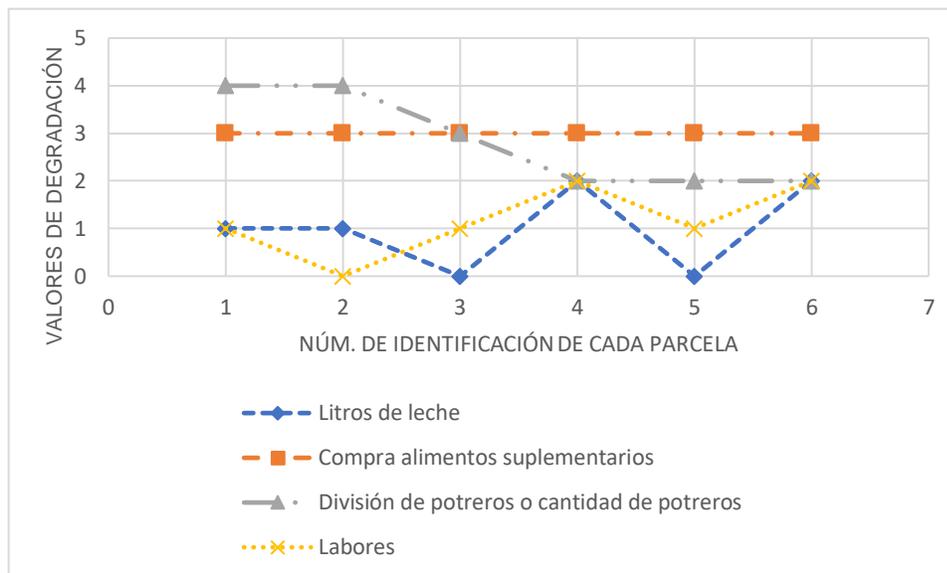


Figura 13. Valores de degradación de las variables socioeconómicas en las parcelas evaluadas, en el ANP La Frailescana.

Nota: Los valores son puntuales y se indican con una línea no continua para efectos de identificación visual.

Tanto en la parcela 3 y 5, donde se observan bajos valores de degradación, se encontró satisfacción por parte de los productores, debido a que los animales aportan mayor cantidad de litros de leche. Sin embargo, el resto de los productores, mostraron inconformidad y deseos de incrementar la producción; mejorar su economía y poder realizar la transformación de dicha leche a derivados. Los valores encontrados coinciden con la producción registrada en un municipio colindante, tal como lo refieren Camacho, *et al.* (2021) para el municipio de Villaflores, en el que describen valores de 6.8 ± 3.6 y 8.0 ± 4.7 para las unidades de producción local (UPL) pequeñas y medianas respectivamente. Al respecto Holmann *et al.* (2004) indicaron que una merma en la producción de leche hasta de 48% del promedio anual, corresponde a una degradación severa ya que es un reflejo de la pérdida de la productividad de las pasturas.

En todos los casos los productores entrevistados, indicaron que compran alimentos suplementarios como sales minerales que acostumbran mezclarlas con sal gruesa blanca, paca de pastura, suplementos vitaminados, lo cual complementan con otros derivados de la misma parcela o de vecinos, como caña de azúcar o residuos de la cosecha de maíz. La razón que reportan es porque el pastoreo no es suficiente, especialmente durante la época de sequía. Así mismo indican haber observado

hábitos como el lamido de piedras por parte de los animales en el campo. Lo observado, coincide con lo que reporta Holmann, *et al.* (2004) como un indicio de degradación porque hace evidente que el sistema no es autosuficiente, lo cual también es reportado por Crespo (2001) quien relaciona la dependencia de insumos externos con una disminución de la disponibilidad del pasto o como indicó Frank y Viglizzo (2010) con el deterioro del mismo. Esto además de impactar en la economía de los productores puede estar relacionado con causas sociales o productivas, ya que puede hacer evidente que los productores no siempre tienen metas de producción, tal como indica Andablo, *et al.* (2014) y por ello se presenta la subutilización o disminución de la disponibilidad de los recursos locales.

En cuanto a la división de potreros o la cantidad que indican tener para el pastoreo, en tres casos (1, 2 y 4), se refieren a que el tiempo que dejan ahí a los animales se relaciona con la temporada de lluvias o ausencia de las mismas; tiempo en el que deciden mover a los animales para consumir pasto en la pradera o para darles suplementos externos. Esta variable está relacionada con la anterior, ya que según Teague y Barnes (2017) y Teague y Keruter (2020), señalan que, si un sistema productivo cuenta con menos de ocho potreros, se encuentra en una condición de pradera muy pobre con potencial de desertificación muy severa. Por tanto, una alternativa recomendable en estas áreas estudiadas, es precisamente aumentar la cantidad de divisiones o potreros y con ello, favorecer la recuperación de las áreas pastoreadas mediante la cobertura permanente del suelo con hojarasca y plantas que son eficaces para reducir la erosión del suelo y acumular carbono biofísico tal como indica Teague y Kreuter (2020).

Las acciones como la aplicación de herbicidas y quemas controladas, no fueron explícitas por los dueños o poseedores de la parcela, sin embargo, se observaron evidencias, razón por la cual fueron registradas. Las praderas en donde se aplicaron herbicidas y/o se realizaron quemas, recibieron valores altos de degradación; como en el caso de la parcela número 4 con 30 años de edad (uso pastoril continuo), en donde se encontraron evidencias físicas como residuos vegetales carbonizados. Así como la parcela número 6 con 50 años, en donde aparte de la evidencia de haberse observado material carbonizado, el hijo del dueño, indicó que principalmente se realiza para eliminar ectoparásitos como las garrapatas, así como para favorecer el rebrote del pasto forrajero. Al respecto Iglesias (1993), indica que las quemas, pueden llegar a degradar la estructura del suelo incrementar su susceptibilidad a erosionarse y disminuir la fertilidad sobre todo si son frecuentes, y coincide con Martínez *et al.* (1991) quienes reportan que las altas temperaturas que pueden alcanzar las llamas en una pradera (200°C), son suficientes para modificar las propiedades del suelo. De este modo puede impactar a la biodiversidad local existente en un sitio (Wilson *et al.*, 2012).

Los herbicidas más usados son Aminopyralid (Pastar®), Ácido 2,4 - Dicloro Fenoxi Acético en forma de éster butílico (Galope®) y Picloram sal triisopropanolamina. (Tordon®) y los usan de forma alterna en diferentes años, lo cual

coincide con la acción de otros productores que deciden realizar estos cambios periódicos de herbicidas para minimizar la aparición de resistencia en algunas especies de hierbas, como lo indica Powles y Howat, (1990) que podrían ser no palatables por el ganado bovino. El herbicida Pastar[®], que fue uno de los más usados (4 de 6 productores), según la etiqueta comercial del mismo, es un producto que puede permearse a través del suelo especialmente si éste es permeable (arenoso) o absorbente (arcilloso), y contaminar el agua subterránea, además de ser tóxicos para plantas acuáticas (vasculares o algas), así como a otras especies de plantas que son importantes para los ecosistemas de praderas; esto coincide con lo indicado por Amador, *et al.* (2001) quienes observaron que el uso de herbicidas en potreros, puede ser una amenaza potencial de contaminación de la leche, así como de daños a la salud humana, aunque indican la necesidad de mayor investigación al respecto.

Los resultados previos, coinciden con lo observado en la sumatoria de los valores de degradación de las parcelas evaluadas en donde las parcelas en este estudio, en donde las parcelas 1, 4, y 6, con aplicación de herbicidas y quemas, así como falta de división de potreros y rotación temporal adecuada, presentan la suma de valores de degradación más alta, coincidiendo con lo indicado por Teague y Barnes (2017) quien mencionan que la consecuencias económicas y de recursos dependen de la adopción de diferentes estrategias de manejo (Figura 14).

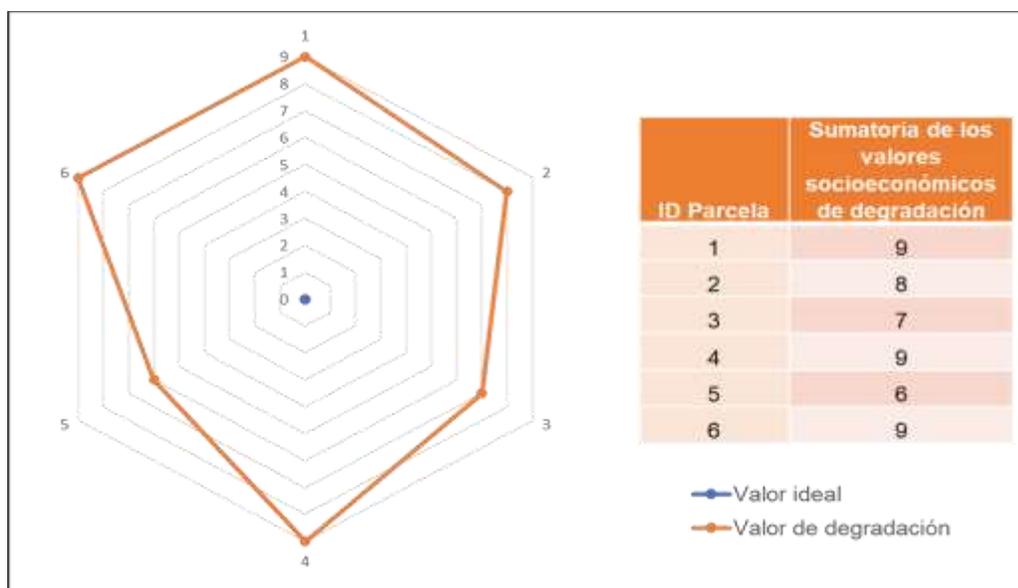


Figura 14. Comparación de la degradación de praderas según las variables socioeconómicas, entre áreas ganaderas.

4.3.2 Determinación de indicadores de niveles de degradación de praderas con base a la evaluación de variables físicas.

Previo a la determinación de los indicadores de degradación, se evaluaron las variables físicas de la pradera, mediante el conocimiento de algunas propiedades estructurales del suelo que la sostiene, mediante la observación, la medición y el análisis de muestras de suelo compuestas, en laboratorio, provenientes de cada parcela. Todas las muestras evaluadas corresponden a la clasificación de textura, descrita como Francos con variaciones notables de arenas, limos y arcillas (Cuadro 9).

Cuadro 9. Composición de la textura y características físicas del suelo en parcelas ganaderas en el ANP La Frailescana.

Número de Identificación de las parcelas	Arenas (%)	Limos (%)	Arcilla (%)	Clasificación textural (Buyoucus)	Temporada de sequía		Temporada de lluvias	
					Color en húmedo	Color en seco	Color en húmedo	Color en seco
1	56.92	23.28	19.80	<i>Franco arcilloso arenoso</i>	Café amarillento	Café amarillento	Café amarillento oscuro	Café amarillento
2	42.92	26.56	30.52	<i>Franco arcilloso</i>	Café amarillento oscuro	Café amarillento	Café amarillento oscuro	Café amarillento
3	46.92	22.56	30.52	<i>Franco arcilloso arenoso</i>	Café amarillento oscuro	Pardo amarillento oscuro	Café rojo oscuro	Café rojizo
4	42.92	28.56	28.52	<i>Franco</i>	Café amarillento	Café amarillento	Rojo amarillento	Café amarillento
5	74.92	12.56	12.52	<i>Franco arenoso</i>	Café oscuro	Café amarillento	Café muy oscuro	Café pálido
6	52.92	24.56	22.52	<i>Franco arcilloso arenoso</i>	Café amarillento oscuro	Café amarillento	Café amarillento oscuro	Café amarillento

Nota: Análisis realizados a partir de muestras compuestas de suelo.

Según el USDA¹⁶ (1993), los suelos Francos se encuentran en proporciones óptimas con características de elevada productividad o muy próximas a ellas; salvo en los casos en que predominan las arcillas o las arenas; que es cuando toman propiedades intermedias o mezcladas. En el caso de los suelos arenosos, son ásperos y secos con

¹⁶ Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (en inglés: *United States Department of Agriculture*; acrónimo: *USDA*)

alta infiltración. Los suelos arcillosos se compactan fácilmente cuando se pisotean, sobre todo cuando están húmedos y suelen agrietarse. Se espera, por tanto, que tengan una mezcla de estas características, dada su composición, como puede observarse en el cuadro 9.

En la temporada de sequía, se observaron diferencias (<0.05) en las variables de “resistencia al arado o a la penetración”, “humedad” y agregados; entre las seis parcelas evaluadas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Evaluación de las variables físicas estructurales en temporada de sequía.

Núm. de identificación de la parcela	Porosidad total* (%)	Densidad aparente* (Mét. AS-3 03) g/cm ³	Valores promedio ± Error estándar					
			RA (lb/cm ²)	Humedad (PMP**)	Agregados (Ce***)	Charcos (P´)	Grietas (P´)	Cárcavas (P´)
Sig. de la varianza			F=2.29 P=0.0004	F = 2.20 P = 0.0007	F = 1.55 P = 0.04		F= 1.83 P= 0.007	F= 1.16 P=0.27
1	53.57	1.31	73.00 ^a ± 1.1	0.00 ^c ± 0.0	2.1 ^a ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.06 ± 0.0	0.0 ± 0.0
2	51.85	1.31	73.39 ^a ± 1.3	0.10 ^{cb} ± 0.0	1.93 ^a ± 0.1	0.0 ± 0.0	0 ± 0.05	0.06 ± 0.0
3	50.00	1.25	69.83 ^{ba} ± 1.3	0.66 ^a ± 0.1	2.23 ^a ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.13 ± 0.0	0.0 ± 0.0
4	50.00	1.31	68.98 ^{ba} ± 1.7	0.23 ^{bc} ± 0.0	1.9 ^a ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
5	49.46	1.38	72.61 ^a ± 1.7	0.00 ^c ± 0.1	2.03 ^a ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0
6	48.15	1.42	65.22 ^b ± 0.5	0.35 ^{ba} ± 0.0	1.4 ^b ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

Nota: Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias entre tratamientos (Tukey p<0.05). RA: Resistencia al arado o a la penetración. *Análisis realizado en una muestra compuesta (n=30) de suelo. **Punto de marchitamiento permanente. ***Valores de la calidad estructura según el método VESS (Shepherd, 2006 modif. Guimarães *et al.*, 2011): 0= Frágil o intacto; 1= firme; 2=Compacto y 3=muy compacto. ´Presencia (0=Ausencia, 1=presente, 2=presente con escurrimientos).

Durante la temporada de lluvias también se observaron diferencias (p<0.05) en las variables “Resistencia al arado” y “humedad”, además en la de “agregados” (Cuadro 11).

Cuadro 11. Evaluación de las variables físicas estructurales en temporada de lluvias, en el ANP La Frailescana.

Núm. de identificación de la parcela	Porosidad total* (%)	Densidad aparente (Mét. AS-03) g/cm ³	Valores promedio + error estándar					
			RA (PSI lb/cm ²)	Humedad (PMP**) (PMP**)	Agregados (Ce***) (Ce***)	Charcos (P') (P')	Grietas (P') (P')	Cárcavas (P') (P')
			F=2.39 P=0.04	F = 3.46 P < 0.0001	F = 6.29 P < 0.0001			
1	43.04	1.51	53.44 ab ± 2.4	3.5 b ± 0.2	1.0 b ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
2	42.12	1.46	56.48 ab ± 1.6	3.16 bc ± 0.2	1.0 b ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
3	37.12	1.55	55.44 ab ± 1.4	4.06 b ± 0.3	2.0 a ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
4	41.95	1.51	61.06 a ± 1.6	2.20 c ± 0.2	0.9 b ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
5	28.75	1.85	52.72 b ± 2.2	5.7 ^a ± 0.2	1.0 b ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
6	47.08	1.43	56.29 ab ± 1.3	4.23 b ± 0.33	1.0 b ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

Nota: Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias entre tratamientos (Tukey $p < 0.05$). Análisis realizado en una muestra compuesta ($n=30$) de suelo. **Punto de marchitamiento permanente. ***Valores de la calidad estructural según el método VESS (Shepeherd, 2006 modificado por Guimarães *et al.*, 2011): 0=Frágil o intacto; 1= firme; 2=Compacto y 3=muy compacto. 'Presencia (0=Ausencia, 1=presente, 2=presente con escurrimientos). RA: Resistencia al arado o a la penetración.

En la evaluación a finales de la temporada de lluvias, los resultados mostraron diferencias ($P < 0.05$) en la densidad aparente y la resistencia al arado (Cuadro 12).

Cuadro 12. Evaluación de las variables físicas estructurales en las praderas a finales de la época de lluvias.

Núm. de identificación de la parcela	Valores promedio + error estándar					
	Densidad aparente* (Mét. AS-03) g/cm ³		RA (PSI lb/cm ²)		Agregados (Ce ^{***})	
	KW'	P=0.03	F= 29.7	P=0.00	F=2.1	P=0.1
1	1.21 ^{ab}	+ 0.01	67.78 ^a	+ 1.68	1.24	+ 0.12
2	1.22 ^{ab}	+ 0.01	67.37 ^a	+ 1.06	1.16	+ 0.12
3	1.12 ^b	+ 0.00	54.15 ^b	+ 1.67	2.20	+ 0.20
4	1.11 ^b	+ 0.02	49.27 ^b	+ 2.29	1.08	+ 0.17
5	1.15 ^b	+ 0.01	48.20 ^b	+ 2.38	1.60	+ 0.16
6	1.19 ^{ab}	+ 0.00	65.64 ^a	+ 1.89	1.32	+ 0.10

Nota: Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias entre tratamientos (Tukey $p < 0.05$). RA: Resistencia al arado o a la penetración. KW'=Prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. *Análisis realizado en 5 muestras compuestas de suelo por cada parcela ($n=5$), en el laboratorio del COLPOS. ***Valores de la calidad estructura según el método VESS (Shepeherd, 2006 modif. Guimarães *et al.*, 2011): 0= Frágil o intacto; 1= firme; 2=Compacto y 3=muy compacto.

Con base a los valores obtenidos y los criterios de diferentes autores, se generaron los indicadores físicos de degradación, en donde el valor "0" (cero) corresponde a una degradación nula, indicando condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas o el suelo no pierde su capacidad de brindar sus servicios de soporte, "1" (uno), corresponde a una degradación baja con condiciones regulares para el crecimiento de las plantas y el suelo brinda moderadamente sus servicios de soporte; "2" (dos) indica una degradación moderada, por lo que el suelo presenta malas condiciones para brindar sus servicios de soporte por dos razones: a) Suelo duro o seco o b) suelo demasiado húmedo o suave y "3" (tres) con degradación fuerte a muy fuerte, donde el suelo presenta en muy malas condiciones de servicios de soporte (Cuadro 13).

Cuadro 13. Indicadores físicos de la degradación en praderas de uso ganadero.

Valor de degradación	Variables físicas						
	Resistencia al arado o a la penetración*	Densidad aparente DA (nivel de disponibilidad según el tipo de textura del suelo. (mg m ⁻³)**	Porosidad 1-(DA del suelo % 2.65) (% de su volumen)***	Agregados del suelo (Calidad estructural)****	"Humedad (PMP, punto de marchitamiento permanente)	"Charcos	"Cárcavas y grietas
0 Nula.	PSI <200. 38.15-71 lb.	1)Arenoso<1.5 2)Franco arenoso <1.40 3)Franco <1.30 4) Franco arcilloso <1.30 5)Arcilloso <1.20	40-60	a) Frágil, quebradizo b) Intacto	>0.3	Ausentes	Ausentes
1 Baja	PSI 0-200/13.61 ATM. Dureza baja a 27.68-37.64 lib. Fuerte: y 71.30 a 75.22 lb.	1)Arenoso (1.50-1.80), 2)Franco arenoso (1.40-1.60), 3)Franco (1.30-1.50), 4) Franco arcilloso (1.30-1.40), 5)Arcilloso (1.20-1.29)	20-39	Firme.	0.19-0.0.2	Presentes	Presentes
2 Moderada	2 condiciones: a) PSI 200-300, dureza muy fuerte, 79.09-83.01 lib. b) 12.93-24.70 lb., dureza nula.	1)Arenoso (>1.8) 2)Franco arenoso (>1.6 / 1.6 x 109) 3)Franco (>1.4) 4) Franco arcilloso (>1.3) 5)Arcilloso (>1.3)	<20	Compacto	0-0.1	'Presentes , con escurrimientos.	
3 Fuerte a muy fuerte	PSI >300. Dureza muy fuerte, 86.88 lb.			Muy compacto.			

Fuente: Creación propia con la información generada y los criterios de referencia de diferentes autores: *Lang (1987); ** Arshad *et al.* (1996) y ONU (2015) 'USDA (1999); ***Stivers (2017) y Bennie (1996). "Shepherd, (2006 modificado por Guimarães *et al.*, 2011).

En los resultados de la temporada de sequía, las variables de “resistencia al arado o a la penetración” y “humedad” entre las seis parcelas evaluadas, mostraron valores de degradación moderada y baja respectivamente en las parcelas 1, 2 y 5. La resistencia al arado también tuvo valores bajos en las parcelas 3 y 5 (Figura 15). Ambos fueron medidos en la capa superficial (horizonte 0) e indicaron una respuesta deprecativa hídrica de esta capa del suelo que puede ser atribuido a la ausencia de precipitación y un alza en la temperatura durante esta temporada (Pantano, *et al.*, 2013).

Sin embargo, tanto la porosidad como la densidad aparente (DA), indicaron condiciones óptimas del suelo en el horizonte A. Esta condición diferencial en cuanto a las condiciones del suelo; coinciden con lo indicado por Ratto (2000), quien menciona que el sistema edafológico presenta contrastes estructurales, así como de textura en los diferentes horizontes, lo cual influye en la distribución del agua, la velocidad de infiltración, así como en el contenido de materia orgánica, el crecimiento desparejo de las plantas y distribución de las raíces. Según Wolf y Snyder (2003), la DA está asociada con las prácticas de manejo por tanto los valores óptimos encontrados, indican, tal como lo sugiere Valencia (1999) que el área de estudio, se encuentra en buenas condiciones productivas.

En la temporada de lluvias (Figura 15), la DA tuvo valores de degradación que van de moderados a bajos, coincidiendo con lo reportado por Salamanca *et al.* (2005), quienes indican que cuando aumentan las precipitaciones, también incrementan los contenidos de materia orgánica por lo que los valores de la DA disminuyen y aumenta la retención de agua disponible. Al respecto Burbano-Orjuela (2016) y Primavesi (1984), indican que, al disminuir la resistencia a la penetración, derivado de la agregación del suelo que genera la materia orgánica, además se facilita el flujo de aire, se retiene la humedad, y con todo ello, mejoran las condiciones físicas, lo cual puede ser favorable para el crecimiento de las raíces.

Se determinaron valores de degradación moderada en la variable “porosidad”, en las parcelas 3 y 5. Autores como Klein y Liberdi (2002), indican acerca de la estrecha relación entre esta variable y la DA. Es congruente porque indican que el principal efecto de la compactación causada por algunas labores de uso y manejo del suelo sobre la DA, se reflejan en la porosidad; al aumentar la DA, disminuyen los macroporos y aumentan los microporos, al menos en periodos de tiempo cortos.

La evaluación realizada en el mes de octubre, presentó valores con degradación nula en los promedios determinados para casi todas las variables, con excepción de la presencia de “grietas-cárcavas” y “charcos” en la parcela 2, en donde se presentó valor de degradación baja. La segunda variable “charcos” también se presentó en las parcelas 1 y 3 con el mismo nivel de degradación (Figura 15). Esto puede explicarse debido a la textura de un suelo, ya que según el USDA (1993), la textura determina o afecta la permeabilidad, por tanto un suelo Franco arcilloso (como en la parcela 2) tiene una velocidad de infiltración de 5-10 mm/hr y es más lento el drene, por lo que tiende a agrietarse cuanto mayor es la cantidad de arcilla presente, esto ocasiona que

se retenga más agua dado que la porosidad es menor; por tanto, la degradación aumenta bajo estas características. Caso contrario sucede en los suelos Franco-arcillo-arenosos, donde el encharcamiento no se presenta ya que la velocidad de infiltración aumenta debido a tener mayor porcentaje de arenas.

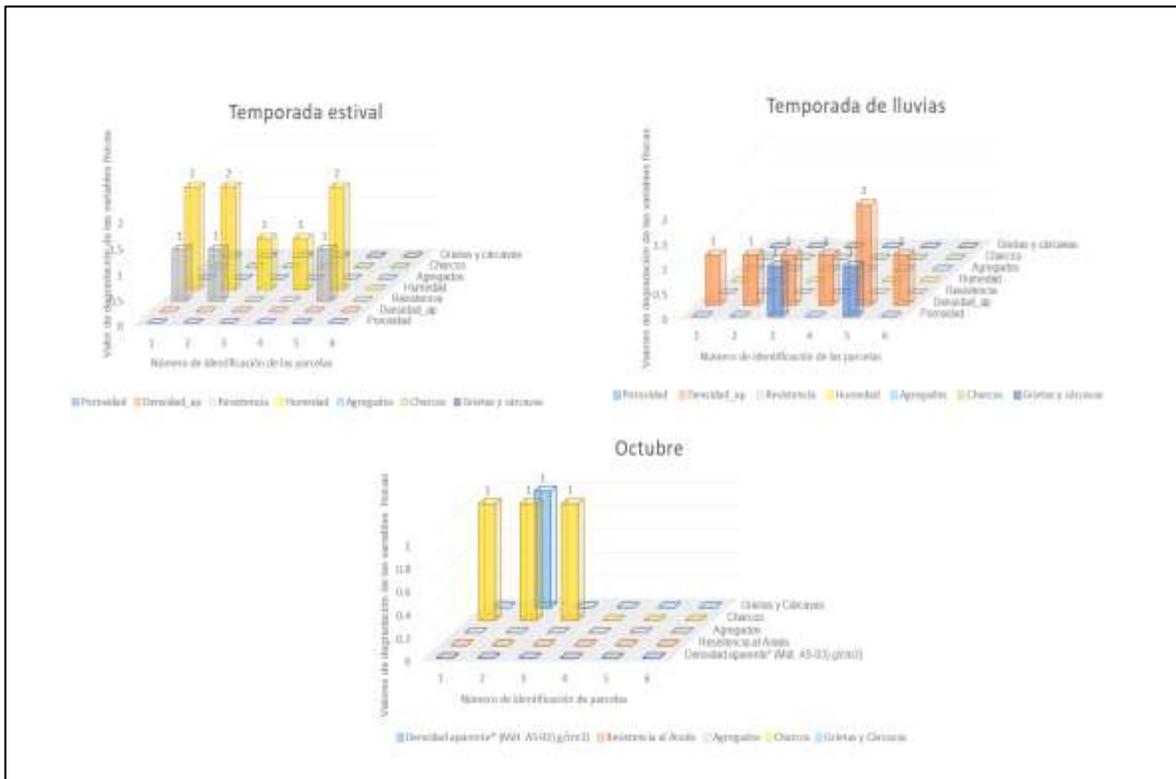


Figura 15. Comparación temporal de los valores de degradación de las variables físicas de seis parcelas ganaderas en el ANP La Frailescana.

El nivel de degradación fue distinto según la variación estacional (que implica cambios de temperatura y humedad) al igual como registraron Valdivieso-Pérez, *et al.* (2012) para el ANP La Sepultura, en donde evaluaron la transición de áreas agrícolas a potreros. La comparación de la sumatoria de valores de degradación durante las tres temporadas evaluadas, mostró que las parcelas 2 y 5 tienen los valores más altos, seguidos por valores más bajos de las parcelas 1, 3, 4, 6 (Figura 16). En las parcelas 1 y 2 con menos años de establecidas con la finalidad de pastoreo de ganado bovino se considera que podría estar ocurriendo lo que indicaron Valdivieso-Pérez, *et al.* (2012) que la transición de área agrícola a pecuaria no mejoró el proceso de degradación y en la parcela 5, al igual que en las anteriores, el pisoteo del ganado esté afectando **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

4.3.3 Indicadores de niveles de degradación de praderas basados en variables biológicas

Dentro de la amplia biodiversidad que rodea un sistema productivo, es posible identificar algunas especies y otras características biológicas, que dan indicios acerca de la calidad del hábitat que se brinda, por lo que se puede determinar el estado en que se encuentra dicho sistema, tal como indica Vergara (2015) y González *et al.* (2016), por tanto, es posible establecer niveles o etapas de degradación.

Se conocieron y evaluaron las variables biológicas en la temporada de sequía (abril), la temporada de lluvias (junio), que fueron comparados entre sí, así como con el valor promedio de una evaluación realizada a finales de la temporada de lluvias, en octubre.

En la temporada de sequía, se observaron diferencias ($p < 0.05$) entre parcelas en las variables: cantidad y grosor de raíces, cobertura de pastos comestibles y suelo expuesto (Cuadro 14).

Cuadro 14. Evaluación visual de las variables biológicas en las diferentes parcelas, en temporada de sequía en áreas ganaderas.

Núm. de Identificación de la parcela (tratamientos)	Valores promedio \pm error estándar							Riqueza de especies (Cantidad mínima-máxima)
	Raíces y mesofauna (unidades)			Cobertura (% en 0.5 m ²)				
	Cantidad de raíces (0=Ausencia, 1=pocas 1-3, 2=moderada 4-7, 3=muchas>7)	Grosor de raíces (1 finas y pequeñas, 2, moderadas, 3 gruesas)	Cantidad de lombrices	pastos palatables	otras spp	hojarasca	suelo expuesto	
	F=2.31 P=0.0003	F=14.87 P<0.0001	F=1 P=0.47	F=4.52 P<0.0001	F=3.13 P<0.0001	F= 6.73 P<0.0001	F=0.79 P=0.01	F=1.4 P<0.08
1	1.96 ^a \pm 0.12	2 ^a \pm 0.0	0 \pm 0.0	40.1 ^c \pm 6.35	23.8 ^a \pm 6.12	1 ^b \pm 1.0	35.2 ^a \pm 6.82	2.2 (0-7) \pm 0.3
2	1.4 ^{bdc} \pm 0.1	2 ^a \pm 0.0	0 \pm 0.0	66.3 ^b \pm 3.66	14.7 ^{ab} \pm 2.93	2.17 ^b \pm 1.26	16.8 ^{bc} \pm 4.23	3.6 (1-7) \pm 0.31
3	1.13 ^d \pm 0.09	2 ^a \pm 0.0	0 \pm 0.0	78.67 ^{ab} \pm 0.0	16.5 ^{ab} \pm 3.84	0.0 ^b \pm 3.8	5.0 ^{bc} \pm 2.27	2.1 (1-4) \pm 0.17

4	1.6 ^{bac} ± 0.1	2 ^a ± 0.0	0 ± 0.0	33.77 ^c ± 6.79	19.53 ^a ± 5.79	48.1 ^a ± 7.4	11.13 ^{bc} ± 4.7	1.1 (0-4) ± 0.17
5	1.33 ^{dc} ± 0.14	1.23 ^b ± 0.0	0 ± 0.07	94.9 ^a ± 1.32	0.5 ^b ± 0.5	0 ^b ± 0.0	4.53 ^c ± 1.29	1.0 (1) ± 0.07
6	1.83 ^{ba} ± 0.1	2 ^a ± 0.08	0.06 ± 0.0	61 ^b ± 3.85	18 ^{ab} ± 5.33	0 ^b ± 0.0	22.3 ^{ab} ± 3.61	2.5 (1-5) ± 0.21

Nota: Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias entre tratamientos (Tukey $p < 0.05$)

En la temporada de lluvias, se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre parcelas en todas las variables biológicas evaluadas (Cuadro 15).

Cuadro 15. Evaluación visual de las variables biológicas en temporada de lluvias en áreas ganaderas.

Núm. de Identificación de la parcela (tratamientos)	Valores promedio \pm error estándar							Riqueza de especies de plantas Núm. de individuos (Cantidad mínima-máxima)
	Raíces y mesofauna (Unidades)			Cobertura (% en 0.5 m ²)				
	Cantidad de raíces (0=Ausencia, 1=pocas 1-3, 2=moderada 4-7, 3=muchas>7)	Grosor de raíces (1 finas y pequeñas, 2, moderadas, 3 gruesas)	Cantidad de lombrices	pastos palatables	otras spp	horajasc a	suelo descubierto	
F= 10.15 P<0.0001	F= 12.49 P<0.0001	F=1.44 P>0.07	F= 8.02 P<0.0001	F=6.24 P<0.0001	F=16.43 P<0.0001	F= 2.53 P<0.0001	F=5.45 P<0.0001	
1	1.4 ^b \pm 0.09	1.1 ^b \pm 0.06	0 ^b \pm 0	28 ^{cd} \pm 4.12	62.17 ^a \pm 5.05	1.33 ^b \pm 0.79	8.5 ^{bc} \pm 3.02	6.7 (3-11) \pm 0.34
2	1.06 ^c \pm 0.05	1.13 ^b \pm 0.06	0.26 ^a \pm 0.08	52 ^b \pm 4.35	36.8 ^b \pm 4.20	0 ^b \pm 0.0	12.17 ^b \pm 2.43	5.8 (2-10) \pm 0.34
3	1.6 ^b \pm 0.09	1.03 ^b \pm 0.03	0.13 ^{ab} \pm 0.06	44.3 ^{bc} \pm 5.59	49.0 ^{3ab} \pm 4.73	0 ^b \pm 0.0	8 ^{bc} \pm 2.6	4.9 (2-9) \pm 0.32
4	0.53 ^d \pm 0.10	0.5 ^c \pm 0.09	0.13 ^{ab} \pm 0.06	18.36 ^d \pm 3.17	20.07 ^c \pm 3.9	52.43 ^a \pm 5.03	5.63 ^{bc} \pm 2.62	3.1 (1-6) \pm 0.26
5	2 ^a \pm 0	2 ^a \pm 0	0 ^b \pm 0.0	98.16 ^a \pm 0.2	1.80 ^d \pm 0.21	0 ^b \pm 0	0 ^c \pm 0	2.5 (1-5) \pm 0.16
6	1 ^c \pm 0	1 ^b \pm 0	0 ^b \pm 0.0	50.3 ^b \pm 4.51	21 ^c \pm 3.7	0 ^b \pm 0.0	28.3 ^a \pm 4.18	4.6 (3-7) \pm 0.21

Nota: Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias entre tratamientos (Tukey $p < 0.05$)

A finales de la temporada de lluvias, la toma de muestras realizada, permitió un análisis abarcando 25 sitios de colecta homogéneamente dispersos, en cada uno de ellos se tomaron 5 submuestras para hacer una muestra compuesta con cada una.

Las observaciones de raíces y lombrices que fueron registradas en campo, según la metodología VESS (modificado por Guimarães *et al.* (2011) con una valoración de degradación de acuerdo al cuadro 17 y cuya media fue comparada estadísticamente entre parcelas; determinó que existen diferencias ($p < 0.05$) en las variables: cantidad de raíces, grosor de raíces, cobertura con otras especies (especies no palatables) y suelo descubierto (Cuadro 16).

Cuadro 16. Evaluación visual de las variables biológicas a finales de la temporada de lluvias.

Núm. de Identificación de la parcela	Valores promedio \pm error estándar										
	Cantidad de raíces*	Grosor de raíces**	Presencia de lombrices*	Cantidad de lombrices*	Presencia de animales no plagas potenciales*	Presencia de animales plagas potenciales (<i>Phyllofaga</i> sp. y <i>Helicoverpa</i> sp.)**	Riqueza de especies de plantas (Número)	Cobertura (% en 0.5m ²)			Suelo descubierto (% en 0.5 m ²)
								Pastos palatables	Otras especies	Hojarascas	
	F=5.7 P=0.001	F= 5.9 P=0.0009		F= 0.92 P=0.5	F= 2.3 P=0.14	F= 0.96 P= 0.5	F= 0.81 P=0.5	F= 0.1 P=0.9	F= 2.53 P= 0.05	F= 0.7 P=0.5	F= 5.5 P=0.001
1	1.84 ^b ± 0.18	1.44 ^{ab} ± 0.10	0.04 ± 0.04	0.04 ± 0.04	0.2 ± 0.04	0.16 ± 0.07	3.6 ± 0.26	61.12 ± 6.23	25.08 ^{ab} ± 5.23	0 ± 0.00	13.8 ^a ± 5.0
2	1.2 ^b ± 0.10	1.04 ^a ± 0.04	0.04 ± 0.04	0.04 ± 0.04	0.24 ± 0.13	0.08 ± 0.06	4.4 ± 0.37	53.8 ± 6.45	37.6 ^a ± 5.9	0 ± 0.00	8.6 ^a ± 2.53
3	2.12 ^c ± 0.17	1.84 ^{bc} ± 0.09	0.16 ± 0.07	0.16 ± 0.07	0 ± 0.0	0 ± 0.0	3.8 ± 0.24	56.84 ± 5.68	35.4 ^{ab} ± 6.15	2 ± 1.29	5.76 ^a ± 1.42
4	2.48 ^c ± 0.12	2.08 ^c ± 0.10	0.48 ± 0.09	0.28 ± 0.17	0.24 ± 0.0	0.28 ± 0.09	4.28 ± 0.31	58.84 ± 6.29	31.16 ^{ab} ± 5.96	7.52 ± 3.84	3.28 ^a ± 1.08
5	2.2 ^c ± 0.13	1.48 ^{ab} ± 0.10	0.28 ± 0.08	0.2 ± 0.14	0.08 ± 0.04	0.04 ± 0.04	3.84 ± 0.35	58.8 ± 5.4	29.84 ^{ab} ± 05.46	0.56 ± 0.42	10.8 ^{ab} ± 3.02
6	1.64 ^a ± 0.15	1.44 ^{ab} ± 0.10	0.08 ± 0.06	0.08 ± 0.06	0.04 ± 0.0	0.04 ± 0.04	3.56 ± 0.25	52.56 ± 5.71	10.44 ^b ± 2.55	2.16 ± 1.63	34.84 ^b ± 4.86

Nota: *Se comparó la media de la valoración asignada según metodología VESS modificada por Guimarães *et al.*, (2011) con base a la Cantidad de ejemplares. **Se registró la presencia con valor 1 y ausencia 0. Valores con letras distintas en la misma columna, indican diferencias entre tratamientos (Tukey, P>0.05)

Con base a los valores obtenidos y los criterios de diferentes autores, se generaron los indicadores biológicos de degradación que llevaron a establecer los niveles de degradación (Cuadro 17).

Cuadro 17. Indicadores biológicos de degradación en praderas de uso ganadero.

Valor de degradación	Variables evaluadas										
	Raíces*		Lombrices**		Fauna (distinta a lombrices) que no es plaga potencial***	Fauna (distinta a lombrices) que es plaga potencial***	riqueza y composición de las especies de plantas	*Cobertura del suelo	Composición (pastos palatables)* u otras especies) y la cobertura (%) ⁺		
	Características (grosor)	Cantidad por unidad específica	Cantidad por unidad específica	Presencia					Cobertura total (%)	Pastos palatables	Otras especies
0 Nula	Raíces gruesas (más de 5 mm de diámetro) y finas ⁺	Muchas. Más de 7 ⁺	Buena. Más de 7	Presencia de ≥ 1 ejemplares	Presencia de ≥ 1 ejemplares	Ausencia de ejemplares	Dominancia de los pastos palatables (0 especies no deseables).	$\geq 80\%$	>80%	$\leq 15\%$	0-4%
1 Baja	Raíces finas de 2-5 mm de diámetro. ⁺	Frecuentes de 4-6 ⁺	Escasas	Ausencia de ejemplares	Ausencia de ejemplares	Presencia ≥ 1	Presencia media de especies no deseables, alta competencia (1-2 especies presentes).	55-75%	70-75%	20-30%	5%
2 Moderada	Raíces muy finas de menos de 1 mm de diámetro, poco desarrolladas y cortas. ⁺	Pocas 1-3 ⁺	Moderada				Dominancia de especies no deseables (3 ó más especies pres.)	$\leq 50\%$	60-50%	35-50%	10-20%
3 Fuerte		Ausentes ⁺ .	Pobre ⁺ .						25-45%	50-59%	21-40%
4 Muy fuerte			Ausencia de ejemplares ⁺ (0)						$\leq 20\%$	60-70%	$\geq 50\%$

Nota: Creación propia con la información generada según la observación con el método VESS modificado por Guimarães *et al.* (2011) y los criterios de referencia de los autores: *Colombi *et al.* (2017^a); Colombi and Walter (2017); Chen *et al.* (2014); Colombi and Walter (2017). **Shepherd *et al.* (2006); Edwards y Bohlem (1996). ***Lavelle *et al.* (1993); Salamanca y Chamorro (1994); Lavelle, *et al.* (1997). ⁺Rincón, *et al.* (2015). ^X(cubierta viva -palatables o no-, residuos, hojarasca).

Durante la temporada de sequía, los resultados indicaron que las variables de “cantidad de raíces” y “grosor de raíces” se presentaron en todos los casos con valores de degradación bajos a moderados. En las parcelas 1 y 6 en donde previamente se

observaron diferencias ($P < 0.05$) en la variable “suelo descubierto” se observó baja degradación, en el resto fue nulo. En la variable cobertura de pastos palatables o comestibles, previamente se observaron las diferencias ($P < 0.05$) en las parcelas 1 y 4, los valores indicaron fuerte degradación, en el resto de las parcelas varió de moderado a baja y nula. La riqueza de especies de plantas promedio, fue más alta en la parcela 2 y más baja en la 5, en esta última, hubo predominio del pasto estrella (*Cynodon sp.*). En todos los casos hubo escasez de lombrices, lo que se reflejó en una degradación moderada (Figura 17).

En estas parcelas, en donde las pasturas no son la vegetación nativa, ocurre una paulatina degradación, que incluye tanto el reemplazo de las especies florísticas autóctonas como la alteración del hábitat para grupos faunísticos (como las lombrices) dependientes de dichos recursos (Harvey, *et al.*, 2005). Específicamente durante la temporada de sequía, se ha indicado que la presencia de plantas no palatales o no deseadas, contribuyen al aumento en la competencia entre las especies presentes por el agua disponible, lo cual puede influenciar el patrón de infiltración y ser causa de degradación (Pezo, 2018). La presencia de macrofauna edáfica que interviene en los procesos de regulación del ecosistema con consecuentes beneficios a la conservación de la estructura del suelo, es un indicador de calidad del suelo según Lavelle *et al.* (1993) y Chamorro (1996). Por ende, su ausencia o disminución indican alteración del mismo, con una consecuente degradación del suelo que puede llevar a la disminución en la provisión de los bienes y servicios proporcionados (Lavelle *et al.*, 2006).

En la temporada de lluvias, en la variable “cobertura con pastos comestibles”, como antes se mencionó se observaron diferencias ($P < 0.05$) en las parcelas 1 y 4; sin embargo, solo la parcela 4 presentó un valor de degradación fuerte. Las variables “cantidad de raíces” y “grosor de raíces” en casi todas las parcelas, fueron de moderada degradación, excepto en la parcela 3 en donde la variable “cantidad de raíces” fue baja y para la parcela 5 en que ambas variables fueron de baja degradación. La cobertura con otras especies (distintas a las palatables) mostró que la parcela 1 tuvo degradación fuerte, a diferencia del resto, que tuvo valores entre moderada a nulo. Los valores de nulo a moderado en la mayoría de las parcelas, indican que hubo tal cobertura, que el suelo no se encontraba descubierto en la mayoría de los sitios de colecta lo cual puede ser atribuido a la precipitación abundante en esta temporada, que tal como indica Jansen (1993), podría actuar realizando la restauración del equilibrio suelo-agua; por lo que el hábitat para algunas especies también se beneficia, dada la acumulación de nutrimentos necesarios. Al igual que durante la temporada de sequía, se apreció un aumento de la cobertura con plantas no deseadas que según Pezo (2018), se encuentran compitiendo por espacio y acceso al agua disponible. Tanto la parcela 1 como la 4 que presentaron cada una, una variable que indicó degradación fuerte, se encuentra cercanas o rodeadas de áreas agrícolas; es posible que las semillas de las plantas no deseables frecuentemente se dispersen a través del viento, del agua y de los mismos animales, desde otros espacios de pastoreo, tal como

indica Lira *et al.* (2007) que ocurre en Veracruz y otras áreas pastoriles en el trópico mexicano.

En el análisis realizado en el mes de octubre, en cuanto a la cantidad y grosor de raíces, las parcelas en su mayoría, excepto la número 2 (que tuvo valor moderado), estuvieron con degradación baja. En cuanto a la macrofauna edáfica y específicamente lombrices, la baja cantidad en que se encontró, precisó darle una valoración de degradación moderada; que indicó que aunque deficiente, aún cumplen funciones de conservación del suelo; tal como indica Lavelle *et al.* (1993) así como Salamanca y Chamorro (1994), quienes mencionan que las lombrices son indicadores de la calidad del suelo.

En todas las parcelas, excepto en la parcela 3, se encontraron animales considerados como plagas potenciales, en estadíos larvales tales como el gusano cogollero (*Spodoptera sp.*) y la gallina ciega (*Phyllofaga sp.*). La variable en todos los casos tuvo valores de degradación moderada excepto en la parcela 3, donde fue nula. La presencia de estas especies, está relacionada con la historia y cercanía agrícola de los lugares, así como los hábitos de estas especies. En el caso del complejo *Spodoptera sp* que infestan los cultivos de maíz también han sido reportadas en 186 plantas hospederas de diversas familias como Asteraceae y Poaceae por Casmuz *et al.* (2010), las cuales son frecuentes en el área de estudio. En el caso de *Phyllofaga sp.*, las larvas conocidas como “gallinas ciegas”, suelen alimentarse de la raíz de las plantas de maíz, pero también de otras especies arbóreas o herbáceas y dependiendo de la especie, se ha reportado su prevalencia en meses o incluso hasta cuatro años bajo el suelo antes de convertirse en pupa y emerger como adultos en la primavera siguiente (Morón, 2010).

En todas las parcelas, excepto en la 3, se encontraron otros animales no agrupados como plagas, de los órdenes: Araneae, Coleoptera e Hymenoptera, considerados como indicadores de baja degradación, por utilizar el espacio para forrajeo y hábitat; correspondientes a servicios ecosistémicos ofrecidos por la pradera, según CONABIO (2020).

En cuanto a la cobertura con pastos comestibles y hojarasca, todos tuvieron valor moderado de degradación. La variable “suelo descubierto”, la cual indicó diferencias ($p < 0.05$) tuvo un valor de degradación fuerte (Figura 17). Esta degradación con valores de moderada a fuerte representa una pérdida de los beneficios brindados por los diferentes tipos de plantas y por la hojarasca sobre el suelo; aunque varían en intensidad, no dejan de contribuir, incluso para amortiguar las pisadas de los animales y por ende a la compactación del suelo, tal como lo indica la FAO (2022). La cobertura, no solo produce biomasa, además protege al suelo mientras mejora la estructura, rompiendo las capas compactadas, moviliza los nutrientes, produce exudados a través de sus raíces, inhibe la evaporación de la humedad, propicia la infiltración del agua y

previene la aparición de hierbas no palatables para el ganado. Los diferentes tipos de cubierta determinan la intensidad de dichos beneficios; por lo que la hojarasca también contribuye a dichos beneficios e incluso a amortiguar las pisadas de los animales y por ende a la compactación del suelo (FAO, 2022).

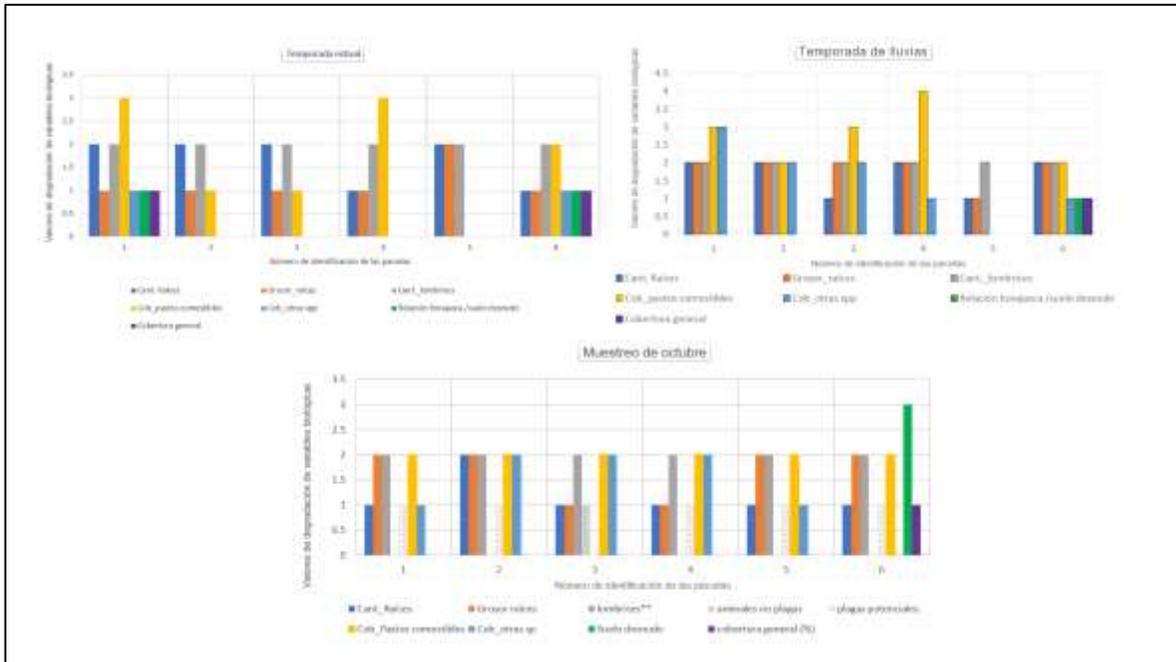


Figura 16. Comparación temporal de los valores de degradación de las variables biológicas de seis parcelas ganaderas.

En la mayoría de las parcelas (Figura 18) la información obtenida es congruente con lo indicado por Colombi, *et al.* (2017b) quienes reflejan la estrecha relación entre la estructura del suelo y la condición de las raíces en cuanto a su presencia y especialmente al largo y grosor de las mismas. Lo que significa que, actualmente en dichas parcelas, no hay tensión mecánica suficiente para disminuir la capacidad de las raíces para crecer, lo cual es favorable, aunque en un nivel moderado, para que el suelo brinde este servicio ecosistémico de soporte para las plantas que en él crezcan y a la pradera en general (Chen *et al.*, 2014; Colombi y Walter, 2017; Hernández-Ramírez *et al.*, 2014); del mismo modo que se propicia mayor oxígeno disponible para la vida microbiana del suelo y más facilidad de los nutrientes y el agua para penetrar a través del suelo (Colombi *et al.*, 2017b), por tanto, con ello, se está propiciando el mantenimiento del servicio ecosistémico de provisión de estos importantes recursos (Bradford,1986).

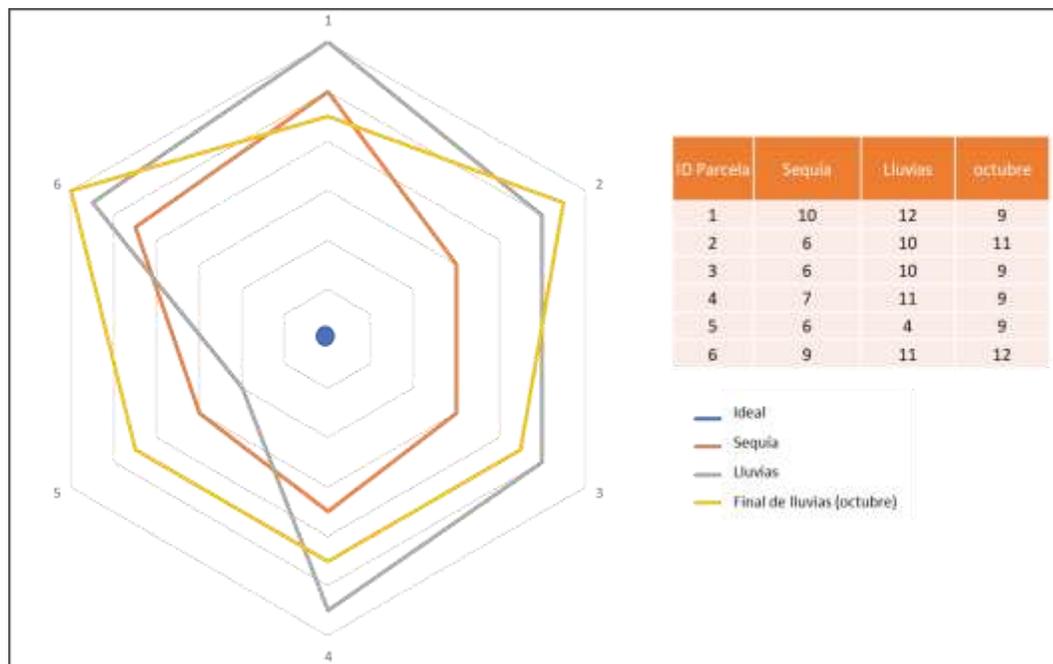


Figura 17. Comparación de la degradación de praderas según las variables biológicas, entre áreas ganaderas.

La determinación de alfa-diversidad o riqueza de especies de plantas encontradas indica que no hay diferencias entre las parcelas (<0.05), aunque se presentó mayor cantidad promedio en cuatro de las seis parcelas evaluadas, durante la temporada de lluvias; siendo diferente en las parcelas 4 y 5, donde la mayor cantidad promedio fue registrada en la evaluación realizada en el mes de octubre (Figura 19). Al respecto, Kemp y Dowling (1991), indican que cuando ocurren incrementos en la precipitación, también aumenta la cantidad de biomasa en la pradera, y son las especies de gramíneas y leguminosas algunas de las que aumentan su disponibilidad; por tal motivo influyen en la composición botánica y la productividad de este importante ecosistema.

La escala del estudio permitió el registro máximo de 11 especies por muestreo (Figura 19) y un máximo de 19 especies determinadas en las parcelas 1 y 2 (Cuadro A6); muy por debajo del récord de 89 por cada m^2 , o cinco por cm^2 de especies de plantas, que existe para las áreas de praderas bajo disturbio antropogénico, incluyendo el pastoreo con ungulados, reportados por Wilson *et al.* (2012).

La diversidad de plantas presentes en la pradera se considera como “diversidad funcional”, que según Elmqvist, *et al.* (2003), debido a que tienen en conjunto una diversidad de respuestas; toman agua de diferentes profundidades, crecen a diferentes velocidades, almacenan diferentes cantidades de carbono y nutrientes; por tal motivo puede contribuir en aumentar el rendimiento de una comunidad y le permiten seguir actuando de forma complementaria ante las tensiones y perturbaciones como el pastoreo y la sequía.

Por ello, a esta variable no se le asignó un valor de degradación, porque es controversial, ya que cualquier cobertura puede favorecer al cubrir al suelo, tal como indica la FAO (2022), brindándole beneficios y con ello la posibilidad de que se mantengan sus servicios ecosistémicos de soporte y provisión, así como de filtración del agua. Lo cual coincide con lo reportado por Meza, *et al.* (2017) quien en un estudio comparativo entre áreas con praderas y otros usos de suelo, indicó que estas áreas, mantenían la mayor cantidad de biodiversidad de composición florística, incluso que los bosques y los sistemas agrícolas, y que, de acuerdo a los parámetros de densidad aparente y porcentaje de suelo expuesto, encontró valores más altos en el índice de control de erosión.

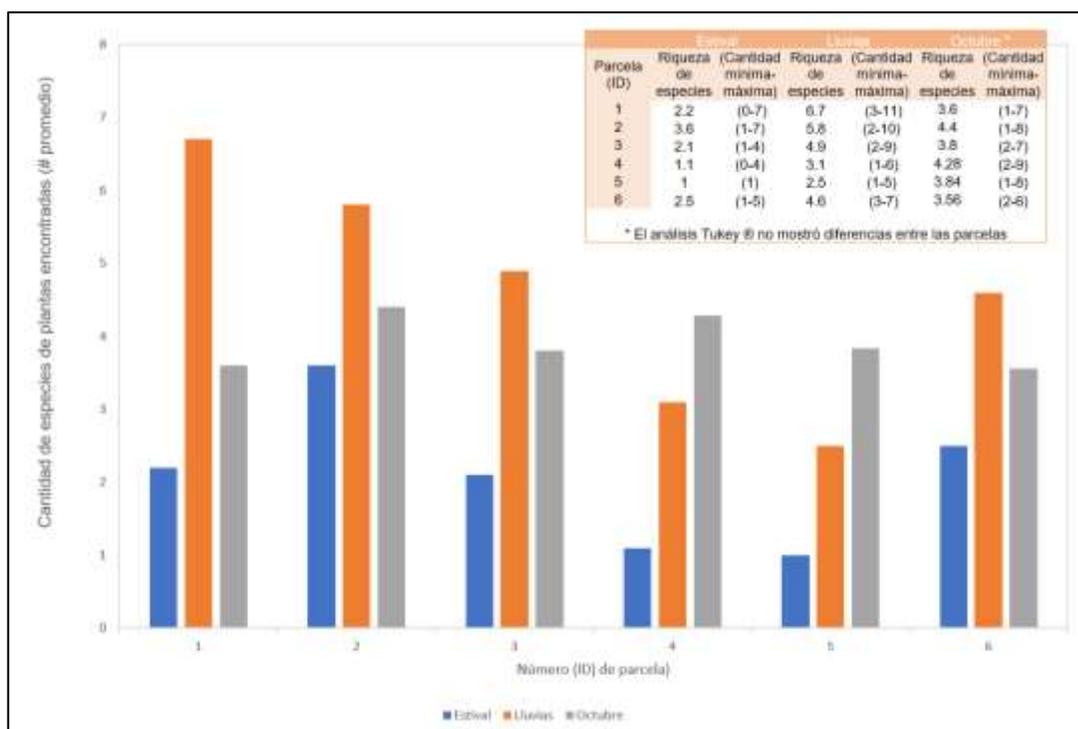


Figura 18. Comparación temporal de la diversidad alfa de las plantas encontradas en seis parcelas ganaderas.

4.3.4 Indicadores de niveles de degradación de praderas basados en variables químicas

Desde un punto de vista productivo, algunos autores consideran que los cambios en la composición florística, son adversos; ya que indican que el reemplazo de las especies florísticas autóctonas, principalmente en las áreas donde las pasturas no son

la vegetación nativa, pueden alterar el hábitat para grupos faunísticos dependientes de dichos recursos (Harvey *et al.*, 2005); además, se altera la dinámica de diversos procesos ecológicos que son claves en el funcionamiento de los ecosistemas, tales como la descomposición de materia orgánica, reciclaje de nutrientes y la regulación de las poblaciones de plagas, entre otros (Giraldo, *et al.*, 2011).

Por tal motivo, para dilucidar las posibles alteraciones o cambios a este nivel, se presentan los resultados de la evaluación de las variables químicas. Se detectó una elevación en las cantidades de la mayoría de las variables evaluadas; excepto en el contenido de materia orgánica y carbono orgánico en donde se detectaron bajas en las parcelas 1, 3 y 6 y un aumento mínimo en el resto. Se considera que, en este momento de la evaluación, la lluvia ha iniciado el aumento de la biomasa que se encuentra como cobertura del suelo; y aun no es evidente el aumento o los cambios a nivel de subsuelo; lo que sucederá paulatinamente a medida que las lluvias aumenten y se prolonguen, derivando en la acumulación de la materia orgánica (Toledo y Millán, 2016) (Cuadro 18).

Cuadro 18. Comparación temporal de los valores promedio de las variables químicas en praderas ganaderas.

Núm. de Identificación de la parcela	Temporada*	Valores promedio							
		pH (1:2)	Conductividad eléctrica 1:2 (dSm ⁻¹)	Capacidad de intercambio catiónico (AC NH ₄ , 1N, pH7) Cmol (+) Kg ⁻¹	Nitrógeno total (%)	Fósforo (Bray) Cmol (+) Kg ⁻¹	Potasio (ACNH ₄ , 1N, pH 7) Cmol (+) Kg ⁻¹	Carbón orgánico (Walkley-Black) (%)	Materia orgánica (Mét. De la mufa) (%)
1	S	4.2	0.02	0.52	0.06	0.006	Trazas	1.09	1.88
	L	5.0	0.03	2.80	0.56	0.010	0.0006	0.94	1.61
2	S	4.3	0.03	0.58	0.07	0.001	Trazas	0.47	0.81
	L	5.0	0.02	2.80	0.60	0.008	0.0006	1.17	2.02
3	S	4.5	0.08	0.40	0.10	Trazas	0.001	1.87	3.23
	L	4.9	0.05	2.54	1.18	0.015	0.0024	1.56	2.69
4	S	4.4	0.02	0.44	0.07	Trazas	Trazas	0.47	0.81
	L	4.8	0.01	3.16	0.59	0.006	0.0008	0.70	1.21
5	S	5.5	0.08	0.36	0.08	0.006	0.001	1.09	1.88
	L	5.1	0.14	2.04	1.12	0.012	0.0020	1.13	1.95
6	S	4.4	0.02	0.42	0.04	0.004	Trazas	2.42	4.17
	L	5.6	0.08	3.08	0.10	0.014	0.0006	0.23	0.40

Nota: *S=temporada de sequía; L=temporada de lluvias

El análisis de las variables químicas a finales de la temporada de lluvias, fueron tomados de 5 muestras compuestas, provenientes de cinco sitios de observación y colecta, en cada parcela, por lo que se procedió a la comparación, encontrando variación ($p < 0.05\%$) en las variables: pH, carbón y materia orgánica (Cuadro 19)

Cuadro 19. Evaluación de las variables químicas a finales de la temporada de lluvias (octubre).

Núm. de Identifi cación de la parcel a	Valores promedio \pm error estándar																	
	pH*	Nitrógeno total				Fósforo			Potasio		Carbón orgánico (Walkley-Black)*	Materia orgánica (Walkley - Black) *						
		(1:2)	*		Cmol (+) Kg ⁻¹	(Bray)**		Cmol (+) Kg ⁻¹	pH 7) **	(%)			(%)					
			F= 2.3	P=0.07		P=0.1	F= 1.34							P=0.2	F=8.4	P=0.00009	F=8.4	P=0.00009
1	4.44	ab	± 0.02	0.04	a	± 0.0	1.36	a	± 0.11	0.02	a	± 0.11	4.40	ac	± 0.12	7.58	ac	± 0.2
2	4.36	ab	± 0.02	0.06	a	± 0.01	1.37	a	± 0.13	0.03	a	± 0.0	3.46	ab	± 0.07	5.97	abc	± 0.13
3	4.74	b	± 0.03	0.07	a	± 0.01	1.55	a	± 0.23	0.11	a	± 0.02	2.23	b	± 0.16	3.85	b	± 0.27
4	4.28	a	± 0.05	0.10	a	± 0.01	0.30	a	± 0.01	0.03	a	± 0.0	5.35	c	± 0.37	9.22	c	± 0.64
5	4.43	ab	± 0.05	0.08	a	0.0	1.05	a	0.13	0.09	a	0.02	1.81	b	0.15	3.12	b	± 0.25
6	4.49	ab	± 0.03	0.03	a	0.0	1.12	a	0.21	0.02	a	0.0	3.19	ab	0.05	5.50	b	± 0.09

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias entre tratamientos (*Tukey, $p < 0.05$; **Kruskal Wallis, $\infty = 0.05$)

Los indicadores químicos de degradación en las praderas evaluadas, derivados de referencias de diversos investigadores, permitieron asignar valores de degradación a los resultados (Cuadro 20).

Cuadro 20. Indicadores químicos de degradación en praderas de uso ganadero.

Valor de degradación	Variables químicas evaluadas							
	MO*	C**	N***		K+		P**	pH [†]
	%	%	%	%	Cmol+kg ⁻¹	ppm	Cmol+kg ⁻¹	
0	>3.2	≥1.5	0.15-40	>0.3	0-0.3	>20 (Mayor a 30%)	>0.051	Ligeramente ácido 6-6.5 Ligera basicidad 6.8 Neutro a casi neutro. 6.6-7.3
1	2.6-3.1	0.6-1.4	0.13-0.15	0.2-0.29	0.2-0.29	16-20	0.041-0.050	Moderadamente ácido. (5.5-5.9) Alcalino. 7.4-8.0 Poco Inhibitorio
2	2-2.5	<0.5	0.10-1.13	<0.2	>0.2 Cmol+Kg ⁻¹	11-15	0.028-0.038	Fuertemente ácido (4.5-5.5) Muy alcalino. Inhibitorio. >8
3	1.0-1.9		0.05-0.10			6-10	0.015-0.025	Muy fuertemente ácido ≤4.4
4	<1.0		<0.05 >50.0			<6	0.015	

Nota: Creación propia con la información generada y los criterios de referencia de los autores: *Materia orgánica, ** Carbono orgánico; Walkley-Black (Echeverría y García, 2015). *** Nitrógeno; Kejl Dahl (Echeverría y García, 2015). *Potasio; Echeverría y García (2015) y FAO (2015). **Fósforo, Bray-Kurtz (Echeverría y García, 2015). †Potencial hidrógeno, USDA (1993), Thompson y Troeh (1988) y Smith, *et al.* (1996).

Al comparar los valores promedio de las variables entre las dos temporadas (estival y lluvias), así como con la realizada a finales de la temporada de lluvias (Figura 20), se encontró que el pH en todas las parcelas, mostró valores de degradación fuerte en época estival y en octubre, a diferencia de la época de lluvias, en que fue moderado. Esto coincide con los valores de los estudios de Thompson y Troeh (1988), quienes encontraron que el pH tenía tendencia al alza en la temporada de lluvias. Según estos autores, si la acidez se mantiene, puede llegar a afectar la disponibilidad de los nutrimentos, la actividad de microorganismos y la solubilidad de minerales presentes;

por lo cual indicaron que las variaciones se ven alteradas por la temperatura y las precipitaciones que controlan la intensidad del lixiviado y la meteorización de los minerales del suelo. Un pH declinante, puede ser un signo de un uso ineficiente del nitrógeno (Smith, *et al.*, 1996). Lo cual coincide con lo indicado por Dias-Filho (2015) respecto a que las praderas con avanzado estado de degradación, presentan suelos compactados que tienen altas pérdidas de nitrógeno.

Esto también puede explicar la razón por la cual nutrientes como el fósforo y potasio fueron registrados niveles altos de degradación, ya que es posible que estén presentes en bajas cantidades, pero no en la composición química que permita su disponibilidad porque la mayor disponibilidad para la mayoría de los nutrientes está en pH de 6 a 7 (USDA, 1970). En el caso del fósforo, que tuvo niveles de degradación altos en todas las parcelas, durante las temporadas estival y lluviosa, siendo nula en octubre; la razón de esta variación puede relacionarse con la acumulación de materia orgánica derivada de la época de lluvias, ya que como indica Sanzano (2019) la cantidad de fósforo depende de la mineralización de la materia orgánica, es decir de los fosfolípidos y fosfoazúcares, entre otros compuestos, que se adquieren de los residuos vegetales y animales, aunque puede llegar a ser lenta y de baja solubilidad.

Respecto a la materia orgánica y el Carbono, se encontró que, en todas las parcelas, la degradación fue desde baja en la época estival hasta nula, durante octubre (excepto el carbono en la parcela 6, que tuvo degradación baja). Ambos componentes son considerados como elementos de gran importancia para evidenciar la calidad o el deterioro de un suelo; y en caso de no estar en condiciones óptimas, se refleja en la afectación a otras propiedades del suelo como la estabilidad en suelos arcillosos, la formación de agregados, la actividad microbiológica, el pH, entre otros (FAO, 2019). Dado que después de la temporada de lluvias, se incrementó la disponibilidad de biomasa de pastos tal como indican Kemp y Dowling (1991), la descomposición derivada de las plantas y desechos animales contribuyó a su acumulación lo que coincide con Toledo y Millán (2016) quienes encontraron que los valores de esta variable, pueden fluctuar a lo largo del tiempo y aumenta, si también aumenta la cobertura.

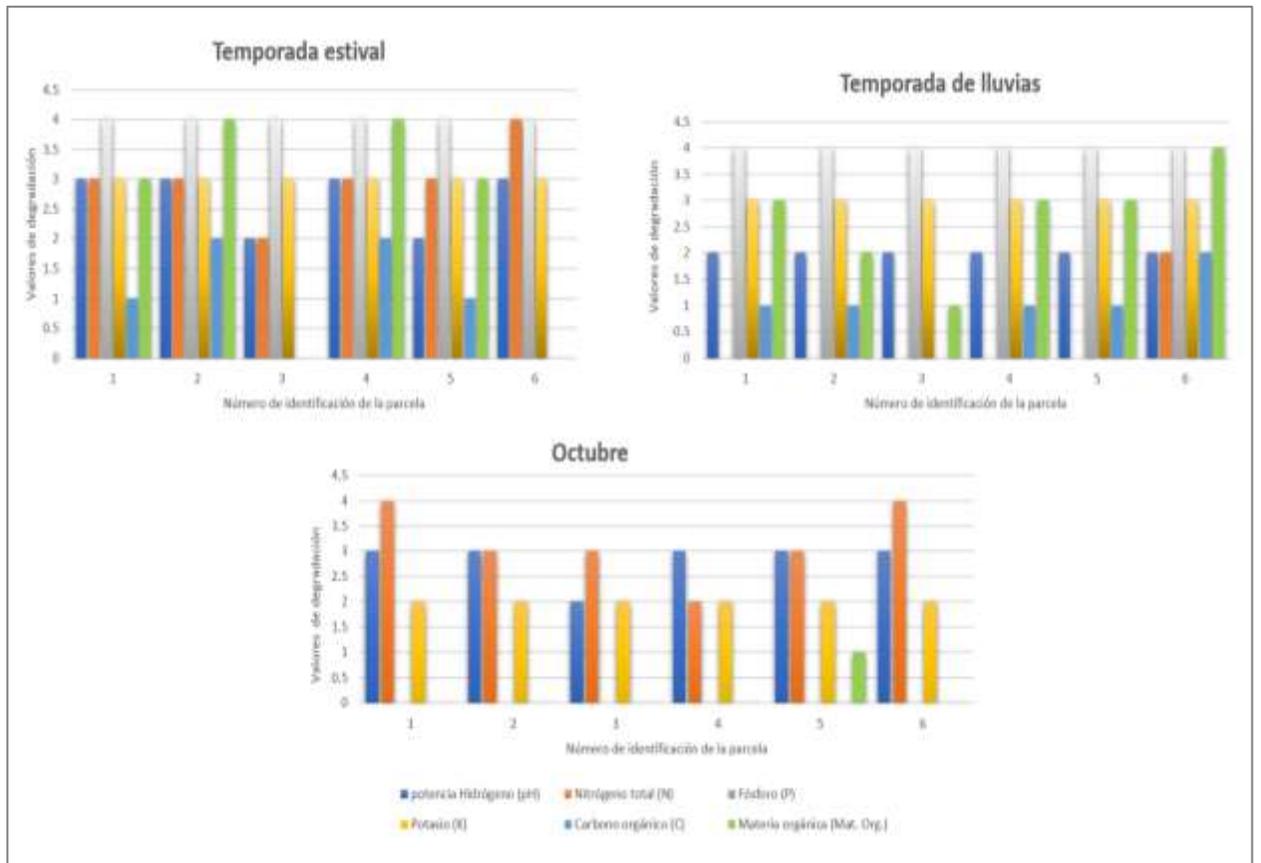


Figura 19. Comparación temporal de los valores de degradación de las variables químicas de seis parcelas ganaderas.

En todos los casos se presentó degradación en las praderas evaluadas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), por lo que se coincide con Holmann, *et al.* (2004) quienes indican que la degradación ocurre como un fenómeno natural después de 5 a 7 años de establecida como sistema pastoril. No se observó un aumento gradual de los niveles de degradación ni en el total de la sumatoria, con base a la edad de establecimiento como sistema pastoril de cada parcela, por lo que se difiere con lo reportado por Pezo e Ibrahim (1999) quienes indican que es un problema que se agudiza con el paso de los años.

La pradera de la parcela 3 (con 20 años de uso productivo), tuvo la sumatoria de valores de degradación más baja respecto a las demás parcelas por lo que coincide con lo reportado por Colmán *et al.* (2018) quienes indican que después de 15 años los cambios en las características físicas, podrían no afectar el uso de ciertas pasturas.

Las parcelas 4, 5 y 6 (con 30, 40 y 50 años de uso pastoril, respectivamente) también coinciden con lo observado por Colmán, *et al.* (2018) quienes indicaron que las

parcelas con más de 24 años, ya presentan cambios físicos que pueden limitar la productividad de los pastos. Sin embargo, en el caso de las parcelas 1 y 2 (con 5 y 10 años de uso pastoril, respectivamente) la degradación puede explicarse, desde su uso reciente como un sistema agrícola.

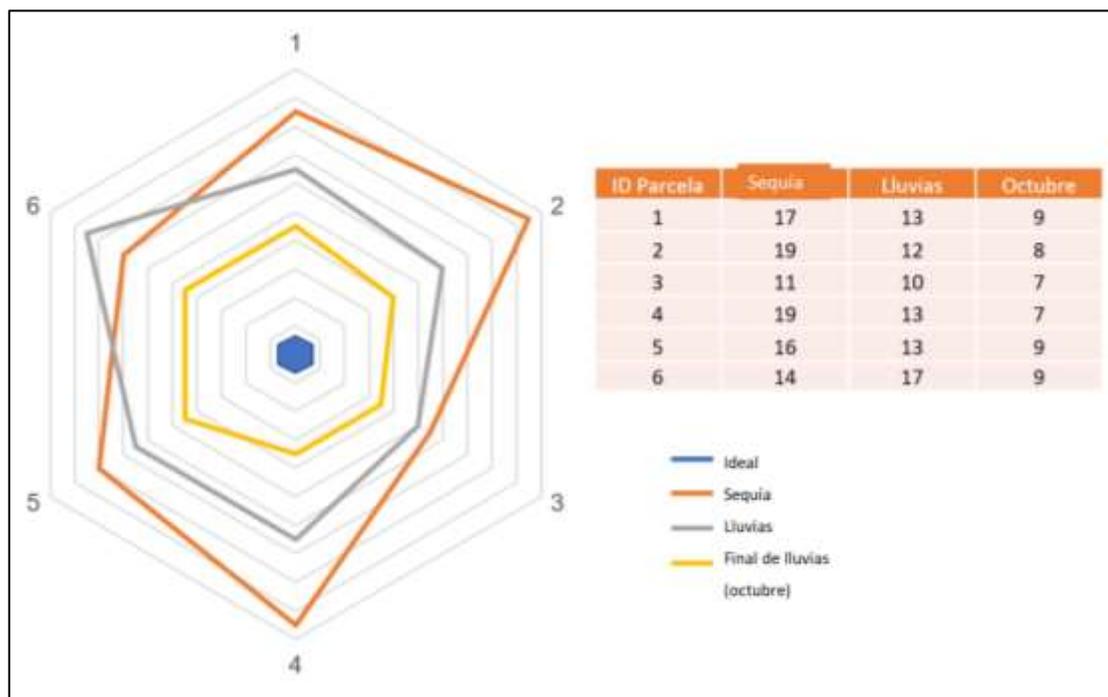


Figura 20. Comparación de la degradación de praderas según las variables químicas, entre áreas ganaderas.

En esta región de la ANP La Frailescana, al igual que en otros lugares, tal como indica Colmán, *et al.* (2018); la producción de leche desarrollada sobre praderas que muestran moderados a bajos niveles de degradación, en donde se da continuidad a las actividades de pastoreo; manifestando dicha degradación especialmente en el horizonte A. Esto lleva a afecciones de las condiciones físicas de los suelos y que consecuentemente podría repercutir en la sostenibilidad de la producción animal.

Aunque Müller, *et al.* (2004) sostienen que no se ha encontrado una relación directa entre los parámetros de fertilidad del suelo y los grados de degradación de los pastos (en la pradera), Giraldo, *et al.* (2011) mencionaron que cualquier cambio en los procesos ecológicos podría llevar a la disminución de los ciclos geoquímicos básicos, coincidiendo con Motta-Macedo (2000) quien indica que cuando se presenta el proceso de degradación de las praderas, las condiciones se alteran por completo, se presenta la disminución de la capacidad de recuperación natural de la pastura para

sustentar los niveles de producción exigidos por los animales (capacidad de sustento) y posiblemente como menciona Dregne y Chou (1992), que repercute en una disminución de la productividad.

La condición de degradación podría aumentar o mantenerse en los niveles actuales, lo cual es incierto, ya que algunos hallazgos como el de Thompson y Troeh (1988) se refieren a sistemas de praderas, donde la cantidad de nutrimentos es baja y la acidez moderada; por lo que en el estricto sentido se mantiene el bien ecosistémico, ya que aunque en baja cantidad, los nutrientes están presentes. Así mismo los niveles de acidez aun permiten la continuidad de los ciclos biogeoquímicos que corresponde al servicio ecosistémico de regulación.

4.4. Exploración de las relaciones entre el nivel de degradación de las praderas y la provisión de los servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación, soporte y hábitat que brinda la pradera

4.4.1. Importancia de los servicios ecosistémicos mediante una evaluación cualitativa, según la percepción de los productores

A través de las entrevistas (Cuadro A1), y con base a los criterios de Castañeda (2013), se determinaron los servicios ecosistémicos (Cuadro A6 y A7). Derivado del análisis y el conteo de puntuación para cada criterio (Cuadro A8 a Cuadro A13), se encontró que, en la pradera, el “abastecimiento del agua” es el servicio ecosistémico con mayor nivel de importancia, seguido del “uso para actividad productiva” y el “bienestar económico” (Cuadro 21). Esto coincidió con la evaluación realizada por Cervantes, *et al.* (2021), quienes indican que la provisión de agua deriva en una interdependencia con otros beneficios percibidos por la sociedad, entre los que pueden encontrarse una mejora de las políticas y prioridades de inversión relacionadas con este importante servicio ecosistémico; justamente los tres beneficios que se integraron en este sentir de los productores en la región.

El servicio con menor importancia fue la alimentación, interpretada como alimentación directa al humano. El hecho de considerarlo en un grado inferior de importancia coincide con lo que indica Burbano-Orjuela (2016), quien alude a la naturaleza humana de considerar a los ecosistemas como una vía para obtener recursos y cubrir la demanda de la sociedad, en ocasiones sin respeto ni métodos adecuados, lo que puede ser entendible porque en las praderas ven un medio para el sustento de los animales e indirectamente para el sustento humano.

Cuadro 21. Valoración de los servicios ecosistémicos bajo la perspectiva de cada productor y observaciones en el ANP La Fraileskana.

Servicios ecosistémicos desde la percepción individual. Concentrado total.			
Funciones ambientales del ecosistema pradera	Ecosistema transformado		
	Bienestar humano	Dimensión: E=Económica S=Social A=Ambiental	Nivel de importancia (sumatoria de todas las respuestas u observaciones)
Satisfacción de necesidades (sustento básico)	Alimentación	S	60
	Abastecimiento de agua	E	220
	Materias primas para construcción de vivienda	E	133
Para productividad	Bienestar económico	E	184
	Actividad productiva	E	202
	Materias primas	S	172
Proveedor de recursos naturales	Ganadería	E	146
	Extractos naturales de uso medicinal	S	98
	Recursos genéticos	A	114
Regulación del equilibrio ecológico	Mantenimiento de la biodiversidad	A	106
	Regulación de la erosión	A	102
	Disponibilidad de nutrimentos	A	98

4.4.2. Impacto a los servicios ecosistémicos según los análisis físicos, químicos y biológicos

Derivado del análisis realizado, se obtuvieron los indicadores de la degradación física, química y biológica de las praderas en 25 sitios distribuidos homogéneamente en cada parcela. Se utilizó el análisis de componentes principales (PCA) para evaluar holísticamente a la degradación. El objetivo fue extraer la información primaria representativa de las características típicas de la pradera a partir de una gran cantidad de datos y representarla como un nuevo conjunto de variables independientes del componente principal. PCA redujo la dimensionalidad de un conjunto de datos

multivariado a una pequeña cantidad de componentes principales independientes. Cada componente principal contiene toda la información variable, lo que reduce la omisión de información. Se evaluaron 18 variables por cada sitio de colecta; en resumen 150 puntos distribuidos en seis parcelas.

Los valores propios de cada componente principal se muestran en la Figura 21, la cual nos ayuda a elegir los componentes principales y comprender la estructura básica de los datos. Los dos primeros componentes principales, explicaron el 93.8% de la varianza en el conjunto de datos y la pendiente se vuelve plana después del tercer componente.

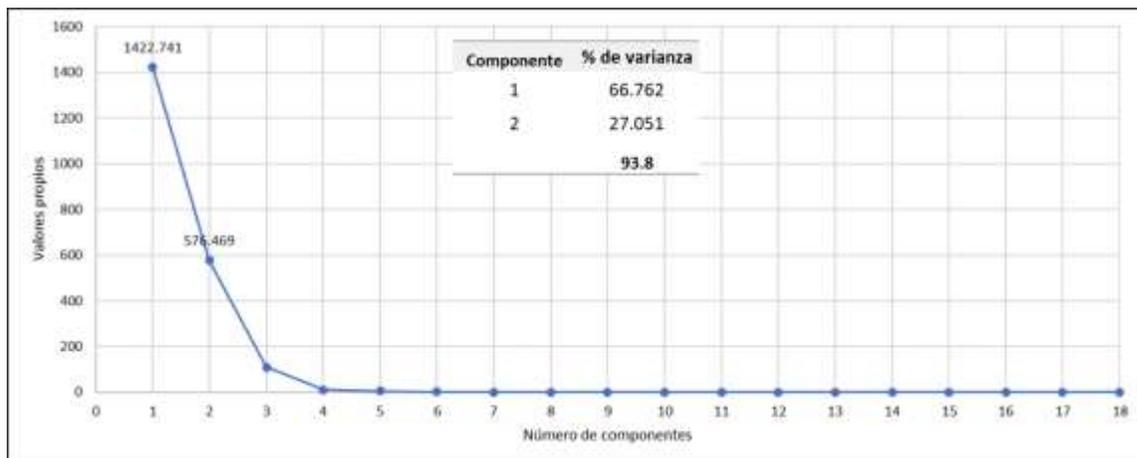


Figura 21. Selección de componentes principales en las praderas ganaderas en el ANP La Frailescana.

En el Cuadro 22, se presentan las cargas factoriales de los dos componentes principales para las 18 variables. El primer componente principal (PC1), que explicó el 66.7% de la varianza total, contiene una carga negativa, altamente relacionada: la “cobertura con pastos palatables” (COBPAS) y una con carga positiva: “cobertura con otras especies no palatables” (COPSP). El segundo componente principal, que explica el 27 % de la varianza total, está correlacionado con la variable “suelo expuesto”. La relación entre ambos componentes, significa que habrá menor superficie de suelo expuesto, a medida que haya mayor cobertura del mismo, ya sea con especies palatables o no palatables. Por otro lado, la cobertura con especies palatables aumenta a medida que disminuye la cobertura con especies no palatables; coincidiendo con lo reportado por Cárcamo y Rejas (2015), en otros análisis realizados mediante sistemas de información geográfica (SIG).

Cuadro 22. Análisis de dos componentes principales en 18 variables físicas, variables y químicas en el ANP La Frailescana.

Valores propios	1422.7	576.5
Varianza acumulativa %	66.8	93.8
Factor variable	Componente	Componente
	1	2
Resistencia al arado (RESIST)	0.041	-0.249
Agregados (TERRON)	0.049	0.059
Presencia de charcos (CHARC)	0.025	0.065
Presencia de cárcavas (CARC)	0.08	-0.101
Densidad aparente (DA)	0.039	-0.204
Presencia de raíces (RAIZPRE)	0.021	0.116
Cantidad de lombrices (LOMBCAN)	0.106	0.14
Animales potencialmente plagas (ANIMAPLA)	0.04	-0.083
Riqueza de plantas (SPPLA)	0.221	0.145
Cobertura pastos palatables (COBPAS)	-0.95	0.298
Cobertura especies no palatables (COPSP)	0.904	0.415
Cobertura hojarasca (COBHO)	0.079	-0.135
Suelo expuesto (S)	0.113	-0.977
Potencial Hidrógeno (pH)	-0.174	0.003
Materia Orgánica (MO)	-0.113	0.025
Nitrógeno (N)	-0.114	0.348
Fósforo (P)	-0.043	0.019
Potasio (K)	-0.033	0.211

Nota: Las letras resaltadas indican un coeficiente de relación fuerte, sin importar si es o no negativo el signo del mismo.

En cuanto a la variable “suelo expuesto”, en efecto es una variable que mostró valores de degradación muy fuerte, especialmente en aquellas parcelas o áreas en donde los productores indicaron que se realiza un tipo de pastoreo prolongado lo que según Colmán, *et al.* (2018), conlleva paulatinamente a una reducción en la cobertura y a un

aumento en la presión sobre el suelo, a tal grado, que inclusive se afectan las capas por debajo de los 15 cm.

Previamente en el análisis temporal comparativo, se mencionó que los análisis realizados a variables biológicas y físicas durante esta temporada (finales de la época de lluvia), arrojaron valores promedio que indicaban que existían las condiciones óptimas para el crecimiento de todo tipo de plantas (sin aludir a su palatabilidad), ya que se registró el promedio de riqueza de especies de plantas más alto, así como la cobertura. Del mismo modo, los resultados a las variables biológicas, indicaron que el servicio ecosistémico de provisión del hábitat era mayor, respecto a las evaluaciones durante la temporada de sequía o la de lluvias. Sin embargo la cobertura con pastos palatables (comestibles por el ganado bovino) estuvo entre el 52 y 62%, por lo cual se considera que el servicio ecosistémico de abastecimiento de alimento a los animales pastoreados es bajo, ya que todos los productores indicaron la necesidad de comprar insumos alimenticios complementarios, para su ganado bajo pastoreo; lo que previamente Crespo (2001) aludió como una relación entre la dependencia de insumos externos con la disminución de la disponibilidad del pasto o la degradación del mismo, como indicaron Frank y Viglizzo (2010).

Las puntuaciones positivas y negativas de los componentes principales no representan la degradación absoluta, sino su degradación relativa. El método PCA utiliza la puntuación integral para representar la degradación de las praderas usadas con fines de pastoreo y resalta los factores más representativos que en este caso estuvieron relacionados con la presencia o ausencia de los pastos palatables o no palatables. (Figura 23).

La temporada en que el estudio se realizó, fue a finales de la temporada lluviosa, de modo que la precipitación produjo el aumento de la disponibilidad o producción de biomasa de diversas especies de plantas. La importancia de la cobertura tanto con especies palatables o no palatables, en un sistema productivo, en donde cada grupo de plantas, aprovechan diferencialmente el agua, la luz, almacenan carbono y los nutrientes pueden ser competitivas, tal como indican Kemp y Dowling (1991) así como Betancourt (2006) o pueden llegar a complementarse entre sí, permitiendo la diversidad funcional como indica Elmqvist, *et al.* (2003), ante lo que se tienen dos escenarios, por un lado puede haber un predominio paulatino de especies no palatables, y con ello se presente una merma en el servicio ecosistémico de provisión de alimentos nutritivos para el ganado vacuno o bien debido a la perturbación causada por el pastoreo continuo, que indica Martorell y Martínez (2019), la biodiversidad se mantenga junto con la diversidad de respuestas y el ecosistema mantenga sus funciones y servicios.

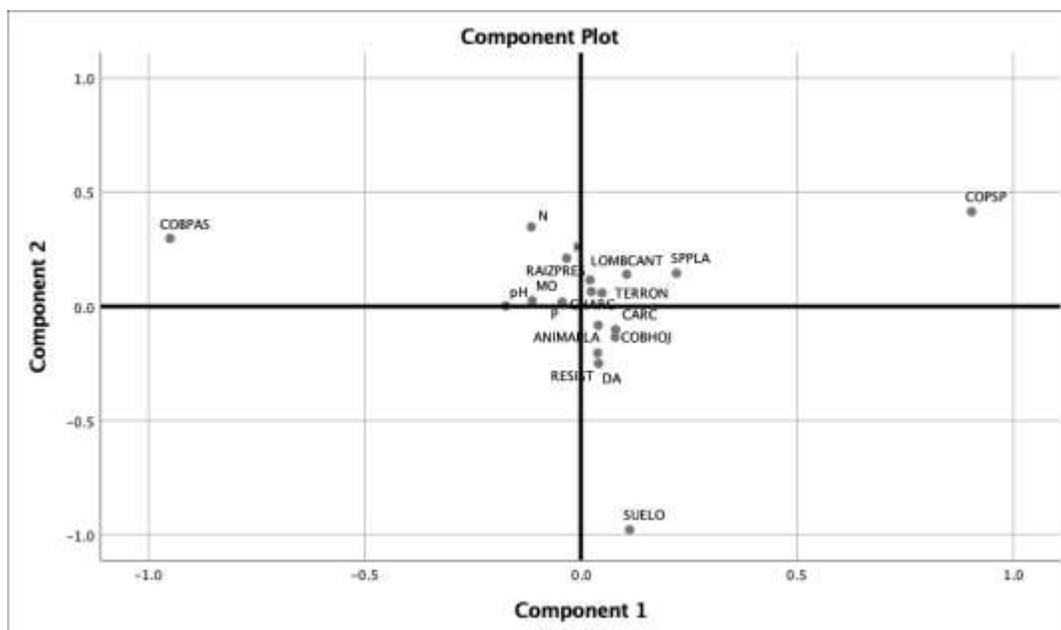


Figura 22. Análisis de los componentes principales de las variables físicas, biológicas y químicas de 150 sitios en parcelas de uso ganadero, Villa Corzo, Chiapas, México.

En el caso de las áreas en que se presentó el suelo expuesto, se indica que toda vez que un elemento se ve alterado en un ecosistema, el resto también pueden afectarse; tal es el caso de la cobertura sobre el suelo (Sanaei, *et al.*, 2018) que, en caso de estar ausente, puede conducir a la ausencia de la acumulación de carbono biofísico y posteriormente a la erosión y reducción de la fertilidad del suelo (Teague y Kreuter (2020).

En el caso del presente estudio, no se obtuvieron valores de degradación fuertes o muy fuertes en cuanto a los valores de carbono, ni materia orgánica por las razones previamente indicadas del aumento de biomasa debido a las recientes precipitaciones; pero sí de otras variables químicas evaluadas (N, P, K, pH), que obtuvieron valores de degradación de moderados a muy fuertes lo que es un indicio de que aunque están presentes, posiblemente no se encuentren en la forma de disponibilidad adecuada, por tanto la fertilidad del suelo se ve reducida (Teague y Kreuter, 2020) y con ello, también se reducen los servicios ecosistémicos de regulación y abastecimiento de nutrientes.

La correlación alta entre las variables mencionadas, puede causar impacto a las demás (Toledo y Millán, 2016), en este caso la falta de cobertura o la exposición del suelo, está reflejando cambios en los procesos ecológicos (Giraldo, *et al.*, 2011) que paulatinamente podrían llevar a la disminución de los ciclos geoquímicos básicos y posiblemente como menciona Dregne y Chou (1992), que repercute en una disminución de la productividad. No se sabe en qué medida esta condición se mantenga o empeore, dado que según Thompson y Troeh (1988) aunque la acidez

encontrada en las parcelas indique fuerte degradación, los nutrimentos están presentes y en el sentido estricto, aunque limitada, aún se manifiesta la continuidad de los ciclos biogeoquímicos que corresponde al servicio ecosistémico de regulación.

Por tanto, para evitar el avance del suelo descubierto o la ausencia de cobertura deberán incentivarse las prácticas culturales como sugiere Betancourt, (2006), tal como el manejo de la fertilidad de suelos que no es una práctica de uso común entre los productores ganaderos y que a decir de algunos investigadores como Haynes y Williams (1993) puede aumentar la producción de biomasa de los pastos.

Este escenario es preocupante para la región, pero también es un reto para incentivar prácticas que impidan el avance de la degradación de las praderas, que lleve a la pérdida de la cobertura, especialmente de la biodiversidad y los servicios prestados por la misma.

4.4.3. Análisis predictivo de la degradación mediante IDW

Mediante el modelo determinístico de interpolación, conocido como distancia inversa ponderada o método ponderado por distancia inversa (IDW) se interpoló la puntuación integral de los factores más relacionados, según el análisis de los componentes principales. Por tanto, se usaron los valores determinados de las variables: cobertura de pastos palatables, cobertura de otras especies y suelo expuesto. Este método tiene la capacidad de manejar parámetros que no se distribuyen normalmente (Chen y Liu, 2012) y supone que los valores de los puntos no muestreados son más similares a los valores de los puntos muestreados más cercanos; es decir, este método asume la variabilidad únicamente a nivel local y cercanías considerables (Haldar, *et al.*, 2020).

Dada la capacidad regenerativa natural de la cobertura sobre el suelo que según Vierira y Scariot (2006), depende de diversos factores fisiológicos o ambientales, este método se consideró el más adecuado.

El análisis de la estructura espacial de los niveles de degradación que existen en las praderas de cada parcela evaluada, ayudó a identificar áreas clave que requieren acciones inmediatas para disminuir la degradación de las praderas en la zona (Figura 24).

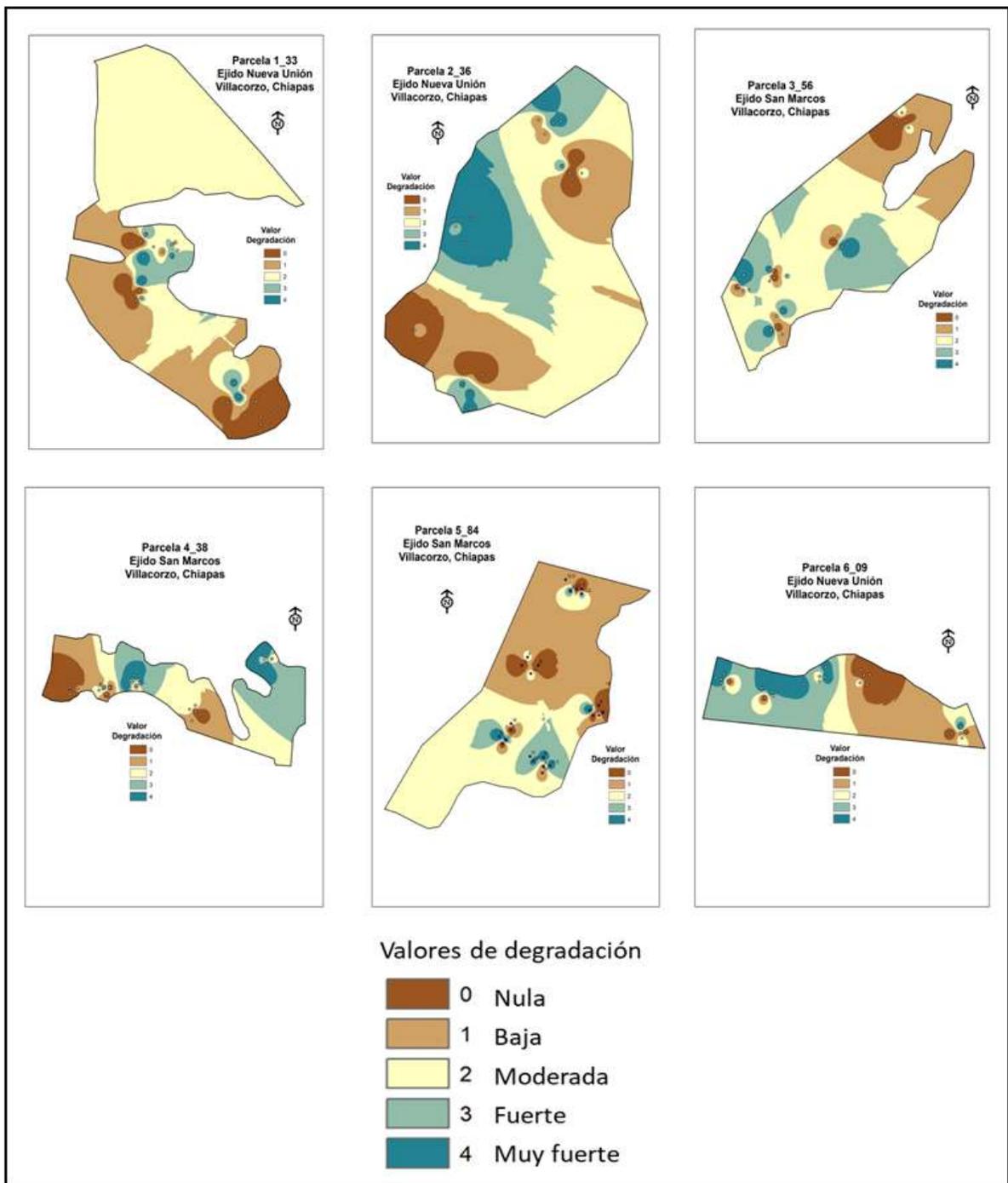


Figura 23. Distribución espacial de la degradación de praderas en áreas ganaderas del ANP La Frailecana.

Fuente: Resultados del análisis IDW y los valores de degradación según los indicadores determinados.

Los valores de degradación en general, arrojaron un porcentaje promedio para la región, similar al obtenido mediante el método de concatenación de bases digitales de INEGI (2016) e INEGI (2008), mediante el cual se obtuvieron los valores de degradación por erosión (Cuadro 23).

Cuadro 23. Degradación local y promedio regional en las praderas dedicadas al pastoreo de bovinos en el ANP La Frailescana.

parcela	Superficie (ha)	Degradación total	(%)
1	3.18		92.08
2	3.17		91.92
3	4.31		72.39
4	4.59		88.43
5	3.92		94.90
6	3.62		88.87
Total	22.79	Promedio regional	87.8

Se realizó una predicción del porciento de afectación que cada parcela evaluada, según el nivel de degradación de las praderas (Figura 25), y se estimó que cada parcela cuenta con una predicción alta de superficie, que está bajo algún nivel de degradación (desde bajo hasta muy fuerte).

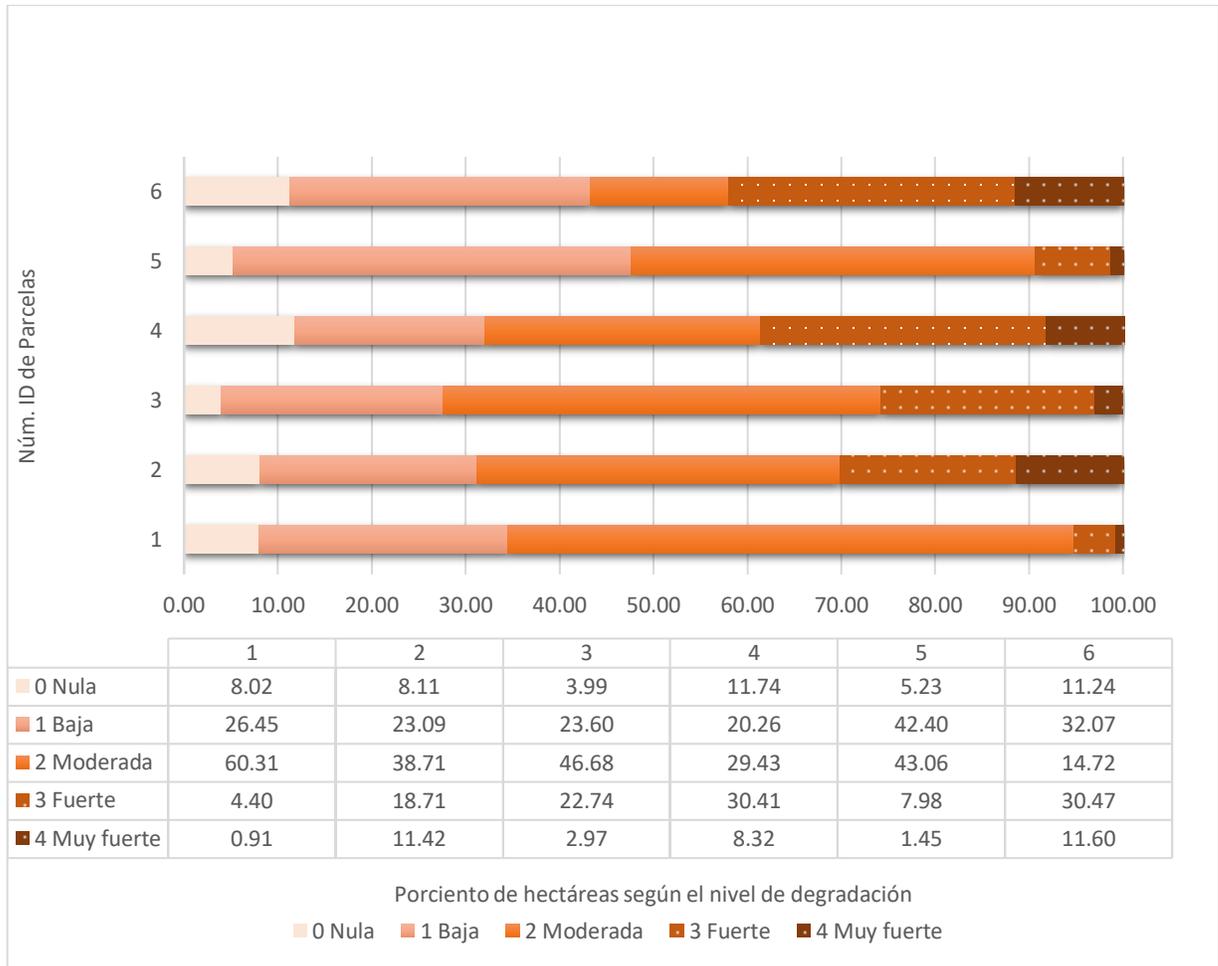


Figura 24. Nivel de degradación de las praderas dedicadas al pastoreo en el ANP La Frailescana.

Las praderas dedicadas al pastoreo en esta región de estudio, dadas las condicionantes principalmente físicas como la disponibilidad de hábitat entre la cobertura o dentro del suelo constituyen de acuerdo a lo que indica Sharp *et al.*, (2016), una posibilidad de sobrevivencia para la macrofauna edáfica. Los niveles de degradación que según el porcentaje predictivo van en su mayor parte de bajo a moderado, se interpreta como una habilidad que el ecosistema puede presentar y que bajo condiciones apropiadas permiten la resiliencia (Motta-Delgado, *et al.*, 2019).

Este modelo RDW fue el adecuado como referencia predictiva de los elementos considerados por el PCA como los más representativos de la degradación de las praderas en las áreas de pastoreo del ANP La Frailescana, que según Toro y Melo (2009), es capaz de aportar una localización adecuada como marco de referencia,

debido a la expansión de contraste y la conservación de elementos lineales y puntuales muy pequeños que presenta el modelo.

Este método predictivo indicó con mayor detalle las acciones que podrían estar influyendo para que la degradación se manifieste y junto con ella, se hagan evidentes los impactos a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que ésta brinda y también aquellos que la sustentan. De este modo se podrán identificar a mediano plazo, las prácticas de manejo adecuadas, en el caso de las praderas degradadas, si se da continuidad al pastoreo sin un manejo adecuado, se afectarán las condiciones físicas de los suelos y consecuentemente la sostenibilidad de la producción animal (Colmán, *et al.*, 2018).

4.4.4. Validación del estudio para evaluar la degradación.

Los métodos digitales utilizados tanto para estimar la superficie según cada nivel de degradación por erosión con base a información secundaria; así como el método de predicción con base a los datos evaluados *in situ*, respecto al uso del suelo y las coberturas, son una simplificación de la realidad utilizada frecuentemente para evaluar otros ecosistemas, especialmente bosques y selvas; sin embargo en futuros estudios podrían ser comparados con ecosistemas o localidades similares, para poder determinar el grado de fiabilidad del procedimiento y de los productos (mapas, estimaciones) así como establecer su nivel de certidumbre o incertidumbre y que pueda ser implementada como un método de monitoreo en las praderas de la región, o bien como indica Osorio, *et al.* (2015), para ser utilizado como modelo prospectivo.

La interpretación de los resultados de las variables presentó el inconveniente de no tener un punto de referencia local o regional; por tanto se determinó que correspondían a los diferentes niveles de degradación con base a lo que previamente han determinado los expertos a nivel mundial y en muchas ocasiones tomando como referente la productividad de las praderas; lo cual puede ser un sesgo, dadas las diversas características de la textura de los suelos, el efecto del relieve, la resiliencia natural, así como la impredecibilidad en la toma de decisiones por parte de los productores; acciones que no fueron abordados a profundidad; pero que son importantes y pueden ser considerados para la realización de futuras investigaciones.

V. CONCLUSIONES

En este estudio se demostró que el 88% del área de praderas del área natural protegida La Frailescana está sometida a procesos de degradación por erosión; lo que fue similar al 87.8%, de la predicción de degradación regional promedio, obtenido mediante el método ponderado por distancia inversa (IDW), para el área muestreada.

Los principales impulsores de cambios que pueden representar amenazas a la biodiversidad funcional y a los servicios ecosistémicos de la pradera, están relacionados con las formas de vida a nivel ejidal como el ordenamiento territorial, la gestión del proceso productivo y por el crecimiento poblacional; así como por la estacionalidad.

Se determinó que socioeconómicamente todas las parcelas se encuentran en un nivel alto de degradación, mientras que física, química y biológicamente el nivel es moderado a bajo; excepto durante la temporada de sequía, en donde se registraron incrementos.

No se demostró que el tiempo de establecimiento de la pradera con un uso pastoril, indicara el avance gradual de la degradación.

VI. REFERENCIAS

- Alayon, J.; Jiménez, G.; Nahed, J. y Villanueva, G. (2016). Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México. *Agroproductividad* 9(9), 10-15.
- Alemán, T.; Toral, J.N.; Ferguson, B.G.; Pinto, R.; Parra, M.R.; Ibrahim, M.; Gómez Castro, H.; Carmona, I.; Jiménez-Ferrer, G.; Medina, F. J.; Mora Delgado, J.; Martínez, B.; López, J.; Hernández, A. y Hernández, D. (2007). Ganadería, desarrollo y ambiente: una visión para Chiapas. (1ª. Ed.) Editorial: Fundación Produce Chiapas, AC.
- Amador, E.; Bredeson, T. y Severance, L. (2001). Pesticidas, herbicidas y salud. *Culture, Community, and Health [Monteverde Institute]*. 8. https://digitalcommons.usf.edu/community_health/8
- Andablo, A. C.; Hernández, M. C. y Catalán, C. G. (2015). Gobernanza e integración de familias rurales a cadenas pecuarias: el caso del ejido Cobachi, Sonora. *Economía: Teoría y práctica*. Nueva Época 42 (S/V), enero-junio, 105-135.
- Arriola Padilla, V. J.; Estrada Martínez, E.; Ortega-Rubio, A.; Pérez Miranda, R. y Gijón Hernández, A. R. (2014). Deterioro en áreas naturales protegidas del centro de México y del Eje Neovolcánico Transversal. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 60, 37-49.
- Arshad, M. A., Lowery, B. and Grossman, B. (1996). Physical tests for monitoring soil quality. (P. 123-142). In J.W. Doran and A.J. Jones (eds.). *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America. Special Publication. 49. SSSA, Madison, WI.
- Arslan, O. (2013). Método de análisis de componentes principales (PCA) ponderado espacialmente para el análisis de la calidad del agua. *Recursos hídricos*, 40, 315–324.
- Astier, M., Maass, M. y Etchevers, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605-620.
- Astier, M., Masera, O. y Galván, Y. (2008) Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. SEAE, CIGA, ECOSUR, CIECO, UNAM, GIRA, FIAES.
- Barrasa, S., y Reyes, F. D. J. (2011). Recuperación de saberes ambientales en comunidades campesinas en reservas de biosfera en Chiapas. En Reyes y Barrasa (Coordinadores). *Saberes ambientales campesinos. Cultura y naturaleza en comunidades indígenas y mestizas de México*. (pp 137-166 p). Edición Colección Jaguar UNICACH.
- Barrera J.A. (2005). Susceptibilidad de Erosión: VIII Región. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.
- Battaglia, M. P. (2008). Eyclopedia of survey research methods. Lavrakas, P. Edit. Thousand Oaks. 524-527. <http://dx.doi.org/10.4135/9781412963947.n337>

- Bautista Z. F., Palacio A. A. G., Mendoza V. J., Kú Q. V. M., Pool N. L. y Cantarell J. W. (2010). Suelos. en: Villalobos-Zapata. G. J. y Mendoza V. J. (Coord.). La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. (pp. 20-27) CONABIO, Gobierno del Estado de Campeche, UACAM y ECOSUR. México
- Bennie, A. T. (1996). Growth and mechanical impedance. In: Y. Waisel, A. Eshel, and U. Kafkafi (eds). *Plants Roots. The Hidden Half.* (pp. 453-470) Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Bertrand, G. (2008). Un paisaje más profundo. De la epistemología al método. *Cuadernos Geográficos*, 43 (2008-2), 17-27.
- Betancourt (2006). Evaluación bioeconómica del impacto de la degradación de pasturas en fincas ganaderas de doble propósito en El Chal, Petén, Guatemala. Tesis. Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. CATIE. Costa Rica.
- Betancourt, H; Pezo, D; Cruz, J; Beer, J. (2007). Impacto bioeconómico de la degradación de pasturas en fincas de doble propósito en El Chal, Petén, Guatemala. *Pastos y forrajes* 30:169-175.
- Borrelli, P.; Oliva, G. (2001). Evaluación de pastizales. (Cap. 6; pp 161-182) En: *Ganadería Sustentable en la Patagonia Austral.* Borrelli, P. y G. Oliva Ed. INTA Reg. Pat. Sur.
- Bow, S. T. 2002. *Pattern Recognition and Image Preprocessing.* (2nd ed. 698 p.) Edit. Marcel Dekker. New York.
- Braasch, M.; García, L.; Ramírez, N.; Cortina, H.; Huber, E. y G. García. (2018) ¿Resinar, pastorear y conservar pinares en una reserva de la biósfera? *Exploración socioecológica participativa.* México. Ecosur. 45 p.
- Bradford (1986). Penetrability en Klute, A. *Methods of soil análisis.* Part 1. Physical and mineralogical methods. Agronomy No. 9. American Society Agronomics. Ed. Madison WI; 463-478 pp.
- Brunet, R. (1974): Análisis de paisajes y semiología. Elementos por un debate, *El espacio geográfico*, III, 2, pp. 120-126. Traducción de Julio Muñoz Jiménez.
- Burbano-Orjuela, Hernán. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Camacho, J. H.; Vargas, J. M.; Quintero, L. y Apan, G.W. (2021). Características de la producción de leche en La Frailesca, Chiapas, México. *Revista Mexicana de las Ciencias Pecuarias.* 12(3); 845-860. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5375>
- Cano, V.; Cortina, S. y Soto, L. (2015). La construcción de la acción colectiva en una comunidad del Área Natural Protegida: La Frailesca, Chiapas, México. *Argumentos UAM Xochimilco*, México, 77, 79-95.
- Cárcamo, M. A. y Rejas, J. G. (2015). Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987 -2011. *Ciencias Espaciales*, 8(2), 259–271. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2081>

- Casmuz A, Juárez ML, Socías MG, Murúa MG, Prieto S, Medina S, Willink E, Gastaminza G. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69(3-4): 209-231
- Castañeda, A. 2013. Diseño de una metodología para evaluar el estado de los servicios ecosistémicos. Universidad militar nueva Granada. Colombia. 19 p.
- Castro-Castillo, T.J.; Pinto-Ruiz, R.; Guevara-Hernández, F.; Raj-Aryal, D; Camas-Gómez, R. y Avelar-Roblero, J.U. (2022). Degradación de praderas en una comunidad rural de área natural protegida. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 13(7), 1295–1306. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.2763>.
- Catalán, E.A.; Villa, M.M.; Inzunza, M.A.; Mendoza, S.F. y Román, A. (2006). Caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades hidráulicas de los suelos de la Región Lagunera. *Memorias de la XVII Semana Internacional de Agronomía*. Gómez Palacio, Dgo.
- CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (2002). Desarrollo participativo de alternativas de uso sostenible de la tierra para pasturas degradadas en Centroamérica. Informe de proyecto. Turrialba, Costa Rica, 28p.
- Cervantes, R.; Sánchez, J. M.; Alegre, J.; Rendón, E.; Baiker, J.R.; Locatelli, B. y Bonnesoeur, V. (2021). Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. *Ecología Aplicada*, 20(2), 137-146. <https://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i2.1804>
- Chamorro, C. 1996. Avances del conocimiento bioedafológico en Colombia. *Revista Acta Biológica Colombiana*, Santafé de Bogotá, Vol. 3(1): 43 – 64
- Chará, J., Camargo, J. C., Calle, Z., Bueno, L., Murgueitio, E., Arias, L., y Hatico, R. N. (2015). Servicios ambientales de sistemas silvopastoriles intensivos: mejoramiento del suelo y restauración ecológica. *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. CIPAV/CATIE, Cali/Turrialba, 331-348.
- Chen, D., & Stow, D.A. (2003). Strategies for integrating information from multiple spatial resolutions into land-use/ land-cover classification routines. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69:1279–1287.
- Chen, F. W. y Liu, C. W. (2012). Estimación de la distribución espacial de la lluvia utilizando ponderación de distancia inversa (IDW) en el centro de Taiwán. *Entorno de agua de arroz*, 10, 209–222.
- Chen, Y.L., Palta, J., Clements, J., Buirchell, B., Siddique, K.H.M. & Rengel, Z., (2014). Root architecture alteration of narrow-leaved lupin and wheat in response to soil compaction. *F. Crop. 500 Res.* 165, 61–70. doi:10.1016/j.fcr.2014.04.007
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección Ambiental. (3a ed. 592 p.) Ariel. Barcelona, España.
- Colmán, P. J.; Marques, A.; Campos, S. B.; André, C. (2018). Propiedades físicas de suelos en pasturas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú en el distrito de Jasy

- Cañy, Paraguay. *Acta Agronómica* 67(1);414-419.
<https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.68923>
- Colombi, T., Braun, S., Keller, T., Walter, A., 2017a. Artificial macropores attract crop roots and enhance plant productivity on compacted soils. *Science Total Environ.* 574, 1283–1293. 503 doi:10.1016/j.scitotenv.2016.07.194
- Colombi, T., Kirchgessner, N., Walter, A., Keller, T., 2017b. Root Tip Shape Governs Root Elongation Rate under Increased Soil Strength. *Plant Physiol.* 174, 2289–2301. 509 doi:10.1104/pp.17.00357
- Colombi, T., Walter, A., 2017. Genetic Diversity under Soil Compaction in Wheat: Root Number as a Promising Trait for Early Plant Vigor. *Fronteras Plant Science.* 8, 1–14. doi:10.3389/fpls.2017.00420
- CONANP Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2015). Datos espaciales de las áreas naturales protegidas. Poligonales de la ZPF La Frailescana. Disponible en <https://www.gob.mx/CONANP>
- CONANP (2017). Segundo Taller de Valoración los Servicios Ecosistémicos en el complejo Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas. Memoria, 20 p.
- CONANP (2019) Programa de manejo Área de Protección de Recursos Naturales Zona de Protección Forestal en los terrenos que se encuentran en los municipios de La Concordia, Ángel Albino Corzo, Villa Flores y Jiquipilas, Chiapas.
<https://www.CONANP.gob.mx/programademanejo/PMLaFrailescana.pdf>
- CEIEG Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas (2020) Modelo digital de elevación. Disponible en <http://map.ceieg.Chiapas.gob.mx/geoweb/>
- CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Ecosistemas.* Disponible en <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales>
- CONAFOR Comisión Nacional Forestal (2020) Capa digital ejidos.
- Crespo, G. (2001). La problemática de la degradación de los suelos en áreas ganaderas de América Tropical. Vías sostenibles de recuperación. *I Forum Latinoamericano de Pastos y Forrajes.* La Habana, Cuba [cd-room]
- Cruz-Sánchez, O., Cruz-Hernández, A., Gómez-Vázquez, A., Chay-Canul, A. J., Joaquín-Cansino, S., De la Cruz-Lázaro, E., ... & Hernández-Garay, A. (2018). Producción de forraje y valor nutritivo del pasto mulato II (*Bracharia* híbrido 36087) a diferente régimen de pastoreo. *AGROProductividad*, 11(5), 18-24.
- Cuevas, E. (1980). Manejo y utilización de praderas. Valdivia. Universidad Austral de Chile (Serie b-2; 141 p), Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal.
- Deutsch, L; Falkenmark, M; Gordon, L; Rockström, J; Folke, C; Steinfeld, H; Mooney, H; Schneider, F; Neville, L. (2010). Water-mediated ecological consequences of intensification and expansion of livestock production. Steinfeld, H; Mooney, HA; Schneider, F; Neville, LE (eds.). London, UK, Island Press

- (Livestock in a Changing Landscape. Volume 1. Drivers, Consequences and Responses.). 97-110 p.
- DOF Diario Oficial de la Federación (2002) publicado 31 de diciembre.
- Dias-Filho, M. B. (2007). Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. Belem, Brazil, Embrapa Amazônia Oriental. 190 p.
- Dermizaky, P. (2005). Estado actual de los derechos fundamentales en Europa y América (Breve estudio de derecho comparado). Anuario Iberoamericano de justicia constitucional. 9, 51-64.
- Dolfus, Olivier (1978). El análisis geográfico. Oikos-tau, S.A. Ediciones.
- Dossman, M. A. (2009). Valoración de los servicios ecológicos prestados por el suelo bajo distintas coberturas naturales: Caso de estudio ecorregión del eje cafetero. Bogotá, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana.
- Dossman, M.; Arias, L. y Camargo, J. (2009). Identificación y valoración de los servicios ecológicos prestados por los suelos bajo distintas coberturas en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente* 58, 17-24
- Duelli, P. & Obrist, M.K. (2003) Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98, 87-98.
- Duda, R.O.; Hard, P.E. & Stork, D.G. (2001). Pattern classification. (2nd ed. 654 p.) John Wiley. New York.
- Oliveira, J.A. (2001) Fertilización de praderas. En Oliveira, J.; Khouri, E. A Y Mayor, M. (2006). Análisis de suelos y plantas y recomendaciones de abonado. Universitarios ediuno. Cap. VII. 105-122.
- Dregne H.E. & Chou N.T. (1992). Global desertification dimensions and costs. In: Dregne, H.E. (Ed.), *Degradation and Restoration of Arid Lands*. Lubbock: Texas Technical University.
- Echeverría, H. y García F. (Ed.) (2015). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos (2a. Edición, pp. 904). Edición INTA.
- Edwards, C.A. & Bohlen, P.J. 1996. *Biology and ecology of earthworms*. (426 pp.) Chapman and Hall, London.
- Elmqvist, T.; Folke, C.; Nström, M.; Peterson, G.; Bengtsson, J.; Walker, B.; Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Fronteras Ecology Enviromental*, 1(9), 488-494.
- FAO Organización de las naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2010). TERRASTAT: Land resource potential and constraints statistics at country and regional level. <http://www.fao.org/aff/ad/aecll/terrastat/#terrastatdb>:
- FAO (2015). Boletín del año internacional de los suelos América Latina y el Caribe. Chile. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i4885s/i4885s.pdf>
- FAO (2019). Salvar nuestros suelos: encontrar formas de detener la erosión. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1193735/>

- FAO (2022). Agricultura de conservación. Cobertura vegetal del suelo. Hoja informativa. Disponible en: <https://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/>
- Fernández, E. (2012). La gestión de los comunes en México: hacia un modelo de análisis de los ejidos. *Periferia* 16 (S/V), 1-26 en revistes.uab.cat/periferia - www.periferia.name
- Flick, U. (2012). Introducción a la investigación cualitativa. Madrid, España: Ediciones Morata. Imagen de Gerd Altmann en Pixabay.
- Flores, A.; Aguilar, M.; Reyes, H. y Genet, M. (2018) Gobernanza ambiental y pagos por servicios ambientales en América Latina. *Sociedad y ambiente*. 16, 7-31 p.
- Folch, R. y Bru, J. (2017). Ambiente, territorio y paisaje. Valores y valoraciones. Editorial Barcino. <https://www.fundacionaquae.org/wp-content/uploads/2017/12/AMBIENTE-TERRITORIO-Y-PAISAJE.pdf>
- Frank y Viglizzo, (2010). Evaluación ecológica: Ejemplo de estudio en las pampas de Argentina. *Forum de sostenibilidad* 4:79-89.
- Galena M., Jiménez, A.; Aguilar, A. y S. López. (2017) Valoración de servicios ecosistémicos en áreas naturales protegidas de la Sierra Madre de Chiapas. Primer encuentro científico y técnico. Consultado Enero 22, 2019 en https://planet4-mexico-stateless.storage.googleapis.com/2018/11/3733ac1e-3733ac1e-fsia_inecc_book_pages_v2.pdf#page=233
- Pérez, M. A. y García M. P. (2013). Aplicaciones de la teledetección en degradación de suelos. Universidad Complutense, Madrid. <http://www.boletinage.com/>
- García-Barrios, L., Speelman, E., y Pimm, M. (2008). An educational simulation tool for negotiating sustainable natural resource management strategies among stakeholders with conflicting interests. *Ecological Modelling*, 210, 115-126.
- García, L.; Álvarez, D.; Brunel, C.; Cruz, J. García, R. (2012). Innovación socioambiental en la cuenca alta del río El Tablón (CART), Sierra de Villaflores, Chiapas. Objetivo, estrategia y métodos de investigación-acción participativa. En *La otra innovación para el ambiente y la sociedad en la frontera Sur de México*. Bello, E.; Naranjo, E. y Vandame, R. Eds. México. 12, 145-170 p.
- Gibson, C.C., J. T. Willims y E. Ostrom (2005). Local enforcement and better forests. *Institutional arrangements for rural poverty reduction and resource conservation*, 33 (2), 273-284.
- Giraldo, C; Escobar, F; Chará, JD; Calle, Z. (2011). The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect Conservation and Diversity* 4(2):115-122.
- Gómez, A. y Kaus, A. (1992). Taming the wilderness myth. *BioScience*, 8 (42), 580-581. <https://doi.org/10.1093/bioscience/42.8.580>

- Gómez-Ruiz (2010), en Diagnóstico General Estadístico de la Agricultura, Ganadería, pesca y forestal del municipio de Villa Corzo, H. Ayuntamiento Municipal.
- González, N.; Casanova, F.; Cetzal, W. (2016). Sistemas agroforestales y biodiversidad. *Agroproductividad* Año 9. 9(9); 56 p.
- Guevara, F. (2007). ¿Y después qué?: action-research and ethnography on governance, actors and development in southern Mexico. Technology and Agrarian Development Group. Department of Social Sciences. Wageningen University and Research Centre. Wageningen, The Netherlands. 223 p.
- Guevara, F.; Pinto, R.; Gomez, H. & Medina, F. (2008). Local perceptions on empowerment and development in a remote village of Chiapas, Mexico. *Tailoring Biotechnologies Journal*. 4(1-2):71-94.
- Guevara, F., Pinto, R., Ortiz, R., Rodríguez, L. A., Gómez, H., y Cruz, G. (2009). Percepciones de la degradación de potreros en una comunidad de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(8), 5-15.
- Guevara, F; Pinto, R; Rodríguez, LA; Gómez, H; Ortiz, R; Ibrahim, M; Cruz, G. (2011). Percepciones locales de la degradación de potreros en una comunidad ganadera de Chiapas, México. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45(3), 311-319. <http://www.ciencia-animal.org/revista-cubana-de-ciencia-agricola/articulos/T45-N3-A2011-P311-F-Guevara-Hernandez.pdf>
- Guimarães, R. M. L., Ball, B. C., & Tormena, C. A. (2011). Improvements in the visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management*, 27(3), 395-403.
- Guimarães, R. M.; Neves, A.; Silva, W.; Rogers, C.; Ball, C.R. y Pereira, B. (2017). Los méritos del método de evaluación visual de la estructura del suelo (VESS) para evaluar la calidad física del suelo en las regiones remotas y subdesarrolladas de la cuenca amazónica. *Investigación sobre suelos y labranza*. (173), 75-82.
- Hacker, R.; Beurle, D. y Gardiner, G. (1992). Monitoring Western Australia Rangelands. En *Rangeland Management in Western Australia*. Department of Agriculture Western Australia. *Miscellaneous Publication* 8/92, 15-20.
- Haldar, K.; Kujawa-Roeleveld, K.; Dey, P.; Bosu, S.; Dattaand, DK; Rijnaarts, HHM (2020). Variaciones espacio-temporales en los parámetros químico-físicos de la calidad del agua que influyen en la reutilización del agua para la agricultura de regadío en deltas urbanizados tropicales. *Ciencia. Medio ambiente total*, 708, 134559
- Harvey, C. (2000). Windbreaks enhance seed dispersal into agricultural landscapes in Monteverde, Costa Rica. *Ecological Applications* 10, 155-173.
- Harvey, C. (2003). La conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. Turrialba, CR, CATIE, 23-32.
- Harvey, C; Alpizar, F; Chacón, M; Madrigal, R. (2005). Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: Historical overview and future perspectives. Arlington, VA, USA., The Nature Conservancy. 162 p.

- Haynes, R. J. y Williams, P. H. (1993) Acumulación de materia orgánica del suelo y las formas, potencial de mineralización y disponibilidad de las plantas del azufre orgánico acumulado: efectos de la mejora de los pastos y el cultivo intenso. *Bioquímica del suelo* 24: 209-217.
- Hensler, L. y Mercon, J. (2020). Áreas Naturales Protegidas como territorios en disputa: intereses, resistencias y acciones colectivas en la gestión compartida. *Sociedad y Ambiente*, 22, marzo-junio 2020, pp. 180-211. ISSN: 2007-6576, doi: 10.31840/sya.vi22.2101
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, M.P. (2014). Metodología de la investigación. Mc Graw Hill.
- Holmann, F.J.; Argel, P; Rivas, L; White, D; Estrada, R.D.; Burgos, C; Pérez, E; Ramírez, G; Medina, A. (2004). ¿Vale la pena recuperar pasturas degradadas? Una evaluación de los beneficios y costos desde la perspectiva de los productores y extensionistas pecuarios en Honduras. (Documento de Trabajo No. 196). Cali, Colombia; CIAT, DICTA, ILRI. 34 p
- Ibrahim, M; Rojas, J; Villanueva, C. 2005. Tecnologías forrajeras para la intensificación de la ganadería y la conservación de los recursos naturales en el trópico. Velasco, Z; Pinto, R; Martínez, C (eds.). Simposio Internacional de Forrajes Tropicales y Producción Animal Chiapas, México, UNACH. 77-94 p
- Iglesias, M. (1993). Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo en un pinar de repoblación (*Pinus pinaster*), en Arenas de San Pedro (Ávila). Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- INEGI. (2006). (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Núcleos agrarios. Tabulados Básicos por municipio. Programa de certificación de derechos ejidales y titulación de solares, PROCEDE. Abril de 1992 a diciembre 2006.
http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/Nucleos/tbe_mex.pdf
- INEGI (2008). Carta de Uso del suelo y vegetación Mapa Nacional de Erosión del Suelo, Escala 1:250 000.
- INEGI (2010). «Principales resultados por localidad 2010 (ITER)». <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/?ps=herramientas>
- INEGI, (2015a). Censo poblacional. Programa intercensal. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/intercensal/2015/doc/eic_2015_presentacion.pdf
- INEGI (2015b). Censo poblacional, San Marcos y La Nueva Unión, municipio de Villa Corzo, Chiapas. en mexico.pueblosamerica.com. "Pueblos de México en Internet". Consultado el 16 de septiembre de 2020 en <https://mexico.pueblosamerica.com/i/ignaciozaragoza-19/>
- INEGI (2016). Carta Unión de Uso de Suelo y Vegetación, Serie VI. <https://inegi.org.mx>

- INEGI, (2017). Mapas de altitud, de edafología y geomorfología. <https://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00jE2Ljc1NTM1LGxvbjotOTMuMTE4MjEsejo5LGw6YzExMXNlcnZpY2lvc3x0YzExMXNlcnZpY2lvcw==>
- Iraola, J. (2014). Rediseño y manejo de un arreglo agroforestal para mejorar la capacidad de carga biológica con ganado de engorde. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. Mayabeque, Cuba: Instituto de Ciencia Animal.
- Jansen, H.H. (1993) Solubles salts. In: M.R. Crter (ed.) Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. *Lewia Publ.*, Boca Raton. 161-166
- Jiménez, J.; Puentes, H. y Leiva, F. (1992). Efectos de tratamientos de labranza sobre la resistencia a la penetración de un andisol. *Agronomía colombiana* 9(1), 30-39 p.
- Kemp, D.R. and Dowling, P.M. (1991). Distribución de especies dentro de pastos mejorados en el centro de Nueva Gales del Sur en relación con las precipitaciones y la altitud. *Revista australiana de investigación agrícola* , 42 (4), 647-659.
- Klein, V.A.; Libardi, P.L. (2002). Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 26: 857-867.
- Kosmus, M. Renner, I. y Ullrich, S. (2012). Integración de los servicios ecosistémicos en la planificación del desarrollo (83 pp). Ed. Sociedad Alemana de Cooperación Internacional GIZ.
- Kosoy, N., Corbera, E. y Brown, K. (2008). "Participation in Payments for Ecosystem Services: Case Studies from the Lacandon Rainforest, Mexico". *Geoforum*, 39, 2073-2083.
- Lang, J. D. (1987). Manual del penetrómetro Lang. USA. En www.langpenetrometer.com
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martín, A., Martín, S. y España, A. (1993). Un modelo jerárquico de descomposición en ecosistemas terrestres: aplicación a suelos del trópico húmedo. *Biotrópica*, 130-150.
- Lavelle, P.; Bignell, D.; Lepage, M.; Wolters, V.; Roger, P.; Ineson, P.; Heal, O.W.; Dillion, S. (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33 (4), 159-193.
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., ... & Rossi, J. P. (2006). *Soil invertebrates and ecosystem services*. *European journal of soil biology*, 42, S3-S15.
- Lazo, J.; Valdés, N.; Sampaio, R. y L. Germano (2007). Diversidad zoológica asociada a un silvopastoreo leucaena-guinea con diferentes edades de establecimiento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(12), 1667-1674.
- Levy-Tacher, S. I., Riverab, J. R. A., y Pignataroc, A. G. (2017). 1. Restauración de selvas y rehabilitación de vegetación secundaria en el sur de México, con base en el conocimiento tradicional.

- Lira-Noriega, A.; Guevara, S.; Laborde, J. y Sánchez-Ríos, G. (2007). Composición florística en potreros de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Acta botánica mexicana*, (80), 59-87. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512007000300006&lng=es&tlng=es.
- López, I. y Valentine, I. (2003). Rol de la diversidad praterense y de los grupos funcionales de especies sobre la condición de la pradera y su estabilidad. *Agro Sur (Chile)*. 31: 60 – 76
- Loska, K.; Wiechuła, D. (2003). Aplicación del análisis de componentes principales para la estimación de la fuente de contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales del embalse Rybnik. *Quimiosfera*, 51 , 723–733.
- Ortiz, N. E. y Pérez, U. (2009). Imágenes aster en la discriminación de áreas de uso agrícola en Colombia. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1): 4923-4935.
- Macedo, A.; Pajares, G. y Santos, M. (2010) Clasificación no supervisada con imágenes a color de cobertura terrestre. *Agrociencia* 44 (6), 711-722 pp.
- Motta-Macedo M.C. (2000). A Integraçao lavoura e pecuaria como alternativa de recuperacao de pastagens degradadas. (1. Dourados:s.n., pp. 163) En: EMBRAPA (ed.), Nitrogenio na sustentabilidade de sistemas intensivos de producao agropecuaria.
- Martínez, J., De las Heras, J. y Herranz, J. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. La Mancha.
- Martorell, C. y Martínez-Ballesté, A. (2019). Stress and disturbance determine the demographic dynamics of two grass species along a grazing gradient in Southern Mexico. *Population Ecology* 2(61); 160-170. <https://doi.org/10.1002/1438-390X.1007>
- Martorell, C.; Zepeda, V.; Martínez-Blancas, A.; García-Meza, D. y Pedraza, F. (2017). A diversity world record in a grasland at Oaxaca, Mexico. *Botanical Sciences* 95 (1): 1-7
- Masera, O.R.; Astier, M. y S. López-Ridaura (1999). Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco MESMIS. Mundiprensa. México.
- Mc Cawley, P. & Lamar Smith, E. (1986). Monitorig Range Trend with Species Frecuency. Guide to measurement, análisis and interpretation. Utah State University. *Cooperative Extension Service Publication*. 27 p.
- Mendoza, J. y Lascano, R. (1994) Mediciones en la pastura en ensayos de pastoreo. Programa de pastos tropicales. CIAT. Cali. Colombia, 23 p.
- Merchant-Fuentes, I. y Solano-Vergara, J. (2016). Las praderas, sus asociaciones y características: una revisión. *Acta agrícola y pecuaria*, 2(1), 1-11.
- Merino, P. (2004). Conservación o deterioro, el impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en los usos de los bosques en México SEMARNAT, INE. México.
- Meza, K.; Vanek, S.; Ccanto-Retamozo, R.; Scurrah, M.; Olivera-Hurtado, E.; Fonte, S.J. (2017). Importancia de los servicios ecosistémicos en un paisaje andino de la sierra central del Perú. *Leisa* 33 (1), 15-18.

- Morón, M. A. 2010. Diversidad y distribución del complejo «gallina ciega» (Coleoptera: Scarabaeoidea). En L. A. Rodríguez del Bosque y M. A. Morón (Eds.), Plagas del suelo (pp. 41–64).
- Motta-Delgado, P. A.; Ocaña-Martínez, H. E. y Rojas-Vargas, E. P. (2019). Indicadores asociados a la sostenibilidad de pasturas: una revisión. *Cien. Tecnol. Agropecuaria, Mosquera* (Colombia) 20(2): 387-408.
- Müller, M.M., Guimarães, M.F., Desjardins, T. & Mitja, D. 2004. The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian Amazon: a case study. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103:279
- NASA (2021). Imágenes de la NASA. Imágenes de satélite Sentinel 2, periodo Enero 2020 a abril 2021. <https://nasa.gov/images/>
- ONU Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2005). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Informe de síntesis. (Final Draft. 43 p.). Sarukhán, J. and Whyte, A. (Co chairs) and MA Board of Review Editors.
- ONU (2015). Boletín del año internacional de los suelos América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/americas/es>
- Osorio, L. P., Mas, J.-F., Guerra, F., y Maass, M. (2015). Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas*, 60-74. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112015000300060&nrm=iso
- Padilla, C.; Crespo, G. y Sardiñas, Y. (2009) Degradación y recuperación de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. Tomo 43, 4, 350-354.
- Padrón e Historial de Núcleos Agrarios PHINA-RAN. (2020). <https://phina.ran.gob.mx/index.php>
- Palma, E; Cruz, J; Martínez, A; Aguilar, A; Nieuwenhuyse, A. (2011). ¿Cómo construir mejores aguadas para el suministro de agua al ganado? Turrialba, Costa Rica, CATIE 60 p. (Serie Técnica, Manual Técnico No. 101).
- Pántano, Vanesa C, Spescha, Liliana B, Penalba, Olga C, & Murphy, Guillermo M. (2014). Influencia de la variabilidad de temperatura y precipitación en la situación hídrica del suelo, en la región oriental de secano de la Argentina. *Meteorologica*, 39(2),21-36. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-468X2014000200002&lng=es&tlng=.
- Paruelo, J. M.; Piñeiro, G.; Oyonarte, C.; Alcaraz, D.; Cabello, J. & Escribano, P.; (2005). Temporal and spatial patterns of ecosystem functioning in protected arid areas of South-eastern Spain. *Applications Vegetational Science*. 8(1): 93-102.
- Perevochtchikova, María y Rojo Negrete, Iskra (2013). Evaluación de los efectos socio-ambientales de los programas de conservación en la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, México. México, D.F.: Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales/ El Colegio de México A.C., 252 p.

- Pérez, A.; Bornemann, G.; Campo, L.; Sotelo, M.; Ramírez, F. y Arana, I. (2005). Relaciones entre biodiversidad y producción en sistemas silvopastoriles de América Central. *Ecosistemas*:14 (2).
- Pezo, D. (2018). Intensificación sostenible de los sistemas ganaderos frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: estado del arte / Monografía del bid; 685. FONTAGRO, Fondo para el medio ambiente mundial, BID. 84 p. https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Intensificaci%C3%B3n_sostenible_de_los_sistemas_ganaderos_frente_al_cambio_clim%C3%A1tico_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_Estado_del_arte.pdf
- Pezo, D., e Ibrahim, M. (1999). *Sistemas silvopastoriles*. (2ª. Ed. Pp. 276). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=BrWHDQcM7PwC&oi=fnd&pg=PR7&ots=wqXJyQ0O88&sig=CK49f1AQJJrBzWJcfF-Wo2x5VDM#v=onepage&q&f=false>
- Pezo, Danilo. 2016. Estrategia regional para la intensificación sostenible de la ganadería, dentro del contexto de la adaptación/mitigación al cambio climático y políticas asociadas. Costa Rica IICA. 72 p.
- Pieri, C. (1989). Fertilité des terres de savanes. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT. Paris, France.
- Pineda, M.R.; Sánchez, L.; Noa, J.; Flores, N.; Díaz, F.; Iglesias, L. y Vásquez, S. (2008). Adaptación de la biodiversidad y cambio climático. Doc de trabajo. Universidad Veracruzana, 57 p..
- Porter-Bolland, L.; Sánchez-González, M.C. y Alan-Ellis, E. (2008) La conformación del paisaje y el aprovechamiento de los recursos naturales por las comunidades mayas de La Montaña, Hopelchén, Campeche. *Investigaciones Geográficas, boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, 66, 65-80.
- Powles, S. and Howat, P. 1990. Herbicide-resistant weed in Australia. *Weed Technol.* 4:178-185.
- Primavesi, A. (1984). Manejo ecológico del suelo; la agricultura en regiones tropicales. (4ª Ed. Pp 499). Buenos Aires, Ed. Ateneo.
- Ramírez-Carballo, H.; Pedroza-Sandoval, A.; Martínez-Rodríguez, J. G. y Valdez-Cepeda, R. D. (2011). Evaluación participativa de la degradación del suelo en la Reserva de la Biosfera Mapimí. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(spe), 01-09. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.058>
- Ratto, S. (2000). Agua del Suelo. En Principios de Edafología con énfasis en suelos argentinos. (2da Edición. Pp 233-268). Coordinación Marta Conti. Editorial Facultad de Agronomía.
- Registro Agrario Nacional. (2016). Base digital de datos de libre acceso de las parcelas certificadas.
- Rincón, Á.; Delgado, T. y Molina, D. (2015.). Establecimiento y manejo de leguminosas de cobertura en palma de aceite. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107631>

- Rincón, A. (2018). Sistemas integrados agrosilvopastoriles y sus efectos en las propiedades químicas y físicas de los suelos. (pp 30). Ed. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19688>
- Ríos, N; Cárdenas, AY; Andrade, H; Ibrahim, M; Jiménez, F; Sancho, F; Ramírez, E; Reyes, B; Woo, A. 2007. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:66-71
- Rivera, P.; Rivera, J.; Andrade, E.; De la Garza, F.; Castro, B. y Belmonte, F. (2014) Medición de la erosión en cárcavas por medio de imágenes de satélite. *Terra Latinoamericana*. 32 (1): 13-21
file:///C:/Users/PC/Downloads/Medicion_de_la_erosion_en_carcavas_por_m.pdf
- Rodríguez, J. A. (2011) Desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad del suelo: para agroecosistemas de la zona cafetera de Colombia. Tesis. Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de ciencias ambientales Maestría en *Ecotecnología*.
<http://comunica.almamater.edu.co/sitio/Archivos/Documentos/Documentos/00000126.pdf#page=9>
- Rodríguez, J. (2009) Alianzas para la sostenibilidad y la gestión ambiental de los territorios en el Bosque Modelo Risaralda. *Recursos Naturales y Ambiente* 58, 59-64 p.
- Rodríguez, O. (2019) Aporte de servicios agroecosistémicos de la ganadería bovina con prácticas agrosilvopastoril y extensiva en la Costa de Chiapas. Tesis de maestría. Ecosur.
- Rowntree (1984). Introducción a la estadística: un enfoque no matemático. Norma. Bogotá.
- Salamanca N., Chamorro, C. 1994 La edafofauna del páramo de Monserrate Sector Hacienda "Santa Bárbara"-Cundinamarca Colombia. En Estudios ecológicos del páramo y del bosque Altoandino. Cordillera Oriental de Colombia. (Tomo II, 631 – 647). Edit. Guadalupe Ltda.
- Salamanca, A., Sadeghian, S., y Amezquita, E. (2005). Densidad aparente en dos suelos de la zona cafetera y efecto sobre el crecimiento del café. *Cenicafé* 55(4), 330-340 <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/245>
- Sanaei, A.; Ali, A. & Zare, M. A. (2018). The positive relationships between plant coverage, species richness, and aboveground biomass are ubiquitous across plant growth forms in semi-steppe rangelands. *Journal of Environmental Management*. 205 (1), 308-318. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.079>
- San Martín, C; Sandoval, V.; Álvarez, M.; Vidal, O.; Pérez, Y. y J.L. Solís. (2014). Comparación de etapas de degradación vegetal con manejo pecuario utilizando valores bioindicadores de Ellenberg en la Patagonia Chilena. *Bosque* 35 (2): 141-154 p. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v35n2/art02.pdf>
- Santamaría, C. (2009). Gestión técnico-económica. Herramienta necesaria para la toma de decisiones en explotaciones ganaderas. *Navarra agraria*. 45-51.

https://www.arcc.cat/documentos%20informacion/informacion%20semanal/Gestion_tecnico_economica04.pdf

- Sanzano, A. (2019). Química del suelo. El fósforo. Cátedra de edafología. FAZ UNT. 4. En www.edafologia.com.ar
- Sharp, R., H. T. Tallis, T. Ricketts, A. D. Guerry, S. A. Wood, R. Chaplin-Kramer, E. Nelson, D. Ennaanay, S. Wolny, N. Olwero, K. Vigerstol, D. Pennington, G. Mendoza, J. Aukema, J. Foster, J. Forrest, D. Cameron, K. Arkema, E. Lonsdorf, C. Kennedy, G. Verutes, C. K. Kim, G. Guannel, M. Papenfus, J. Toft, M. Marsik, J. Bernhardt, R. Griffin, K. Glowinski, N. Chaumont, A. Perelman, M. Lacayo, L. Mandle, P. Hamel, A. L. Vogl, L. Rogers, W. Bierbower, D. Denu y J. Douglass. (2016). The Natural Capital Project. Invest VERSION User's Guide. Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. 339 pp.
- SIAP. (2018). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Datos abiertos. Estadísticas de producción pecuaria.
- Smith, J.L. and J.W Doran and A.J. Jones (eds) (1996). Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; de Haan, C. (2006). Livestock's long shadow: environmental issues and options. (pp 392). FAO Rome, Italy.
- Stivers, L. (2017). Introducción a los suelos: manejo de los suelos. *PennState Extension*. <https://extension.psu.edu/introduction-to-soils-managing-soils>
- Szott, L. (2000). The hamburger connection hangover: cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Téc., Informe Técnico No. 313, 133 p.
- Teague, R. y Kreuter, U. (2020) Manejo del pastoreo para restaurar la salud del suelo, la función del ecosistema y los servicios del ecosistema. Frente. Sostener. *Food Syst*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187>
- Teague, R., & Barnes, M. (2017). Grazing management that regenerates ecosystem function and grazingland livelihoods. *African Journal of Range & Forage Science*, 34(2), 77-86.
- Tobar, D. e Ibrahim, M. (2008). Valor de los sistemas silvopastoriles para conservar la biodiversidad en fincas y paisajes ganaderos en América Central. Serie Técnica. Informe Técnico No. 373. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 40 p.
- Toledo, V. y Millán, Z. (2016). Construcción y calibración de un penetrómetro de impacto para medir los efectos del senderismo. Ciencia, Docencia y Tecnología; 481-506.
- Toro, G. A. y Melo, C.E. (2009). Aplicación de métodos de interpolación geoestadísticos para la predicción de niveles digitales de una imagen satelital con líneas perdidas y efecto sal y pimienta. *Tecnura*, 24 (12); 55-67.
- Thompson, L.M. y Troeh, F.R (1988). Los suelos y su fertilidad. (4ª. Ed.) Editorial Reverté, S.A.

- Urquijo, P. y G. Bocco. (2011). Los estudios de paisaje y su importancia en México, 1970-2010. *Journal of Latin American Geography*. 10 (2), 37-63.
- USDA (1970). (United State Department of Agriculture). Soils, Handbook, Kentucky Ag E.S., 383, 28.
- USDA (1993). Soil Survey Staff. National Soil survey manual. Handbook No. 18. U.S. Gov. Printing Office, Washington, D.C.
- USDA (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Traducción del Instituto de suelos CRN-CNIA-INTA. <http://soils.usda.gov/squi>.
- Valdivieso-Pérez, Ingrid Abril, García-Barríos, Luis E., Álvarez-Solís, David, & Nahed-Toral, José. (2012). De maizales a potreros: cambio en la calidad del suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 363-374. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000400363&lng=es&tlng=es.
- Valencia, A. G. (1999). Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. (pp 94), Chinchiná. Edit. Cenicafé-Agroinsumos del café.
- Vargas, A. (2018) Ganadería en zonas de amortiguamiento en Chiapas, México: Análisis de los capitales de la comunidad. *Agricultura Sociedad y Desarrollo* 15: 565-583.
- Vargas, A.; Sepúlveda, C.; Ibrahim, M.; Jiménez, G.; Tobar, D. y J. Robalino. (2013) Evaluación de indicadores ambientales en unidades de producción pecuaria (UPP) de beneficiarios y no beneficiarios del PROGAN en Chiapas, México. <https://www.researchgate.net/publication/295703713>
- Vargas, O. y Reyes, S. Editores (2011). (1a. Ed. Pp 55). Universidad Nacional de Colombia. file:///C:/Users/PC/Downloads/Los_bosques_tropicales_estacionalmente_s.pdf
- Vargas, R. (2010). Efecto de la frecuencia e intensidad de pastoreo sobre el rendimiento, composición botánica y calidad nutritiva de una pradera mixta *Lolium perenne* L. – *Trifolium repens* L. Tesis Lic., Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias agrarias, escuela de agronomía.
- Vélez, S. (2013) Intervención en el manejo de praderas para mejorar la productividad de la ganadería de Agrícola la Serranía. Tesis. Facultad de ciencias administrativas y agropecuarias Zootecnia. http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1095/1/Intervencion_manejo_praderas_ganaderia_Agricola_la_Serra
- Vergara J. A. (2015) Artículo III: Diversidad de aves en usos de suelo de fincas ganaderas del valle del Río César, Colombia. http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/7662/Diversidad_de_aves_en_usos_de_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vieira, D. L. y A. Scariot. 2006. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration Ecology* 14 (1), 11-20. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00100.x>

- Wilson JB, Peet RK, Dengler J, Pärtel M. 2012. Plant species richness: the world records. *Journal of Vegetation Science* 23, 796-802. 10.1111/j.1654-1103.2012.01400.x
- Wolf, B.; Snyder, G. (2003). Sustainable soils; the place organic matter in sustainable soils and their productivity. (pp 35). Food Products Press.
- Yang, W.; Zhao, Y.; Wang, D.; Wu, H. H.; Aijun, L. y He, L. (2020). Uso del análisis de componentes principales y la interpolación IDW para determinar cambios espaciales y temporales en la calidad del agua superficial del río Xin'anjiang en Huangshan, China. *Medio Ambiente. Res. Salud Pública* 17(8), 2942. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082942>

Recursos de libre distribución de Internet utilizados:

Google Earth Pro[®] Vistas 2015, 2016, 2020

QGis[®] (versión 2.14, 2017)

ArcView[®] (versión 3.3, 2002)

Microsoft Office[®], Word[®], Excel[®] de Windows[®] (versión 10, 2015)

The SAS[®] (Versión 9.2. SAS Institute Inc., Cary, 2004).

The R (Foundation for Statistical Computing, version 3.6.2., 2019).

Imágenes de satélite Sentinel 2, periodo Enero 2015 a abril 2015, obtenidas de NASA[®]

Ortofotos 1994 de la región de estudio.

Aplicación de georreferencia (Georreferenciador GPS) para iPhone 6S.

VII. APÉNDICE (ANEXOS)

Cuadro A1. Formato de entrevista para caracterizar la producción agropecuaria en los ejidos Ignacio Zaragoza, La Nueva Unión y San Marcos, municipio de Villa Corzo, Chiapas.

CENSO Y DIAGNÓSTICO SOCIO-AGROPECUARIO

El documento es una entrevista abierta

ENTREVISTA

1) FECHA DE LA REALIZACIÓN DE LA ENTREVISTA: DIA _____ MES _____ AÑO _____

2) NOMBRE DEL NÚCLEO AGRARIO _____

3) LOCALIDAD _____ MUNICIPIO _____ ESTADO _____

DATOS DE LA PERSONA QUE CONTESTA LA ENTREVISTA:

4) NOMBRE: _____

5) ocupa algún cargo en el ejido? _____ ¿cuál? _____

7) ¿es ejidatario? SI NO ¿fundador o por herencia? _____avecindado (llegó de otra comunidad y compró la parcela) _____

8) No. De parcela (RAN) _____¿corresponde al número en la lista del ran con el nombre del propietario? SI _____ NO _____ --si es no, nombre del dueño actual/anterior _____

9) ¿tiene ganado actualmente? SI NO --si no tiene, fin de la entrevista.

10) ¿qué tipo de ganado? Vacuno _____ ovino _____ otro _____

11) ¿por qué tiene o cría ganado? __venta en pie __engorde __cría de sementales __obtener leche para venta __carne para consumo familiar __leche para consumo familiar __otra ¿cuál? _____

12) ¿desde cuándo (fecha, año) tiene ganado? _____

13) ¿ha tenido apoyo del gobierno (federal, estatal, otro) para adquirir sus animales (vacas, borregos, otros), para mejorarlos o incrementar la cantidad? SI NO ¿Nombre del apoyo? _____

14) cómo ha sido el apoyo? Especie (animales) _____ \$ _____ año _____

15) ¿ha incrementado _____o disminuido _____ la cantidad de vacas o borregos que tenía al iniciar?

16) ¿cuántas hectáreas o metros tiene destinadas a pastorear a su ganado?

Cuadro A2. Continuación.

17) ¿qué pastos, otra planta (arbustos) o suplementos utiliza para alimentar al ganado?

Pasto u otra planta ¿De dónde lo trajo? ¿Desde cuándo lo usa? ¿cómo lo considera?

Bueno (b), muy bueno (b) o regular (r)

18) además del pasto, ¿qué más utiliza del área (del mismo potrero), donde tiene actualmente su ganado?

¿qué? (¿plantas, animales, rocas, suelo, agua, otro?) ¿cuáles? (nombres comunes) ¿qué uso les da? (ej.:
leña, dar de comer a las gallinas,
alimento en la casa, etc.)

19) La parcela en donde actualmente está criando al ganado:

A) ¿Intercala como milpa y ganado en diferentes años? SI NO

B) Desde que inició su uso productivo, ¿la usa solo para ganado? SI NO

C) ¿Piensa cambiarla de uso en este año o en los próximos años? SI NO

20) ¿Está cercado su terreno donde está el ganado? SI NO

21) La cerca es de: A) alambre b) postes con alambre c) árboles con alambre d) otro ¿cuál?

22) ¿Cuál es su principal problema en los potreros (donde se cría o pastorea al ganado)?

23) ¿Ha renovado (cambiado, comprado nuevo) pastos en los últimos años? Si no

24) ¿Cuánto gastó aproximadamente en esa renovación? _____

25) ¿Compra suplementos alimenticios a sus animales? Si no

¿Qué compra?	¿Cuánto gasta?	¿Cada cuánto tiempo?	¿Cuántas veces al año?
Sal común			
Sal mineral			
Pollinaza			
Calcio			
otros			

26) ¿Qué quisiera mejorar en el sector de ganadería para usted o para su comunidad?

Cuadro A3. Formato de entrevista para identificar elementos de degradación de las praderas dedicadas al pastoreo (Pinto-Ruiz, 2020).

Entrevista para el productor con el fin de identificar elementos de degradación de las praderas dedicadas al pastoreo.

Nombre del productor _____ Edad _____

Localidad _____

Superficie total de su propiedad _____ Superficie dedicada a la ganadería _____

Número de potreros: Potreros en zona plana __ Potreros en zonas de laderas __

Edad de los potreros _____

Número de cabezas: Vacas __ Sementales __ Toretos y novillonas __ becerros __

Producción de leche: No lo mide __ Por animal por día __

Ganancia de peso: No lo mide __ Por animal por día __

Especies de pastos en el potrero: Naturales _____ Introducidos _____

Manejo de los pastos: De pastoreo _____ De corte _____

Causa de elección del pasto en sus potreros:

Por recomendación comercial _____ Por recomendación de otro productor _____

Por observación de resultados en otro predio _____ Por los costos _____ Por condiciones del suelo _____

Especies de leguminosas en el potrero: Naturales _____ introducidos _____

Especies leñosas en el potrero: Naturales _____ Introducidos _____

Malezas presentes en potreros _____

Días de ocupación de sus potreros _____ Días de descanso de sus potreros _____

Decisión por el que rotan a los animales del potrero: _____

Tipo de cercos en potreros: Vivos _____ muertos _____ Eléctricos _____

Actividades de manejo realizadas en sus potreros: Picoteo __ Poda de árboles y arbustos __ Uso de herbicidas __

Quemas __ Fertilización __ Uso de leguminosas __ Dejan descansar __

Utiliza alimentos suplementarios: Comerciales __ Subproductos locales __ Producidos en el predio __

¿Conoce la fertilidad de sus suelos? _____

Considera que su suelo está compactado: _____ Poco __ Moderado __ mucho __

Considera que su suelo está desprovisto de cobertura: Poco __ Moderado __ mucho __

Considera que sus niveles de producción de leche o carne son: Bajos __ Regulares __ altos __

Cuadro A4. Formato para el registro de plantas encontradas durante el muestreo en temporada de sequía y temporada de lluvias.

# Parcela _____ Fecha de muestreo _____ Georreferencia _____																																	
Especie de planta	Localización (# de Cuadrante)																														Núm. Observaciones	Frecuencia	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
Sp. 1																																	
Sp. 2																																	
Sp. n																																	

Cuadro A5. Formato para el registro de plantas encontradas a finales de la temporada de lluvias (octubre).

# Parcela _____ Fecha de muestreo _____																																
Especie de planta	Cuadrante (localización)																									Núm. observaciones	Frecuencia					
	Sitio 1					Sitio 2					Sitio 3					Sitio 4					Sitio 5											
	Georreferencia					Georreferencia					Georreferencia					Georreferencia					Georreferencia											
Sp. 1																																
Sp. 2																																
Sp. n																																

Cuadro A6. Total de especies encontradas en cada parcela evaluada.

Familia	Especie / Núm. (ID) de parcela	1 (33)	2 (36)	3 (56)	4 (38)	5 (84)	6 (9)
Asteraceae	<i>Tridax procumbens</i> L.	■					■
Asteraceae	<i>Calea urticifolia</i> (Miller) DC.	■	■				
Asteraceae	<i>Gnaphalium</i> sp.		■				
Asteraceae	<i>Pluchea odorata</i>	■	■				
Asteraceae	<i>Pseudelephantopus spicatus</i> (Juss) Rhor	■	■	■			
Asteraceae	<i>Tagetes filifolia</i> Lagasca						■
Acanthaceae	<i>Blechum brounei</i> Juss			■			
Commelinaceae	<i>Commelina elegans</i> Kunth			■		■	
Convolvulaceae	<i>Ipomoea triloba</i> L. King				■		
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita argyrosperma</i> K. Koch					■	
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp.		■			■	
Cyperaceae	<i>Tiumfetta columnaris</i> Hochr.				■		
Euphorbiaceae	<i>Acalypha arvensis</i> Poeppig	■	■				■
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hirta</i> L.	■	■				■
Fabaceae	<i>Calopogonium mucunoides</i> Des.	■	■	■	■		
Fabaceae	<i>Desmodium incanum</i> DC.			■	■		■
Fabaceae	<i>Desmodium</i> sp.	■	■	■	■	■	
Fabaceae	<i>Loncocharpus rugosus</i>		■				
Fabaceae	<i>Crotalaria bupleurifolia</i> HBK						■
Fabaceae	<i>Mimosa ursina</i> Mart.	■		■	■		
Fabaceae	<i>Stylosanthes humilis</i> HBK	■	■				
Fabaceae	<i>Zornia reticulata</i> Sm.		■		■		
Fabaceae	<i>Acacia cornigera</i> (L.) Willd., 1806			■	■	■	■
Lamiaceae	<i>Hyptis capitata</i>					■	■
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>					■	
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	■			■		■
Malvaceae	Sp.					■	
Melastomataceae	<i>Tibuochina breedlovei</i> Wurdack			■	■	■	■
Meliaceae	<i>Trichillia havanensis</i>	■	■	■		■	
Onagraceae	<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) Raven			■			
Phrymaceae	<i>Mimulus aurantiacus</i> Curtis	■	■				
Phrymaceae	<i>Mimulus glabratus</i> HBK						■
Plantaginaceae	<i>Scoparia dulcis</i> L.	■	■				■
Poaceae	<i>Digitaria anguinea</i>		■	■			
Poaceae	<i>Cynodon</i> sp.				■	■	■
Poaceae	<i>Hyparrhenia rufa</i> Stapf	■			■	■	
Poaceae	<i>Andropogon gayanus</i> (Kunth, 1833)			■	■	■	
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> ; (L.) Pers., 1805	■	■	■	■	■	■
Rubiaceae	<i>Spermacoce</i> sp.		■	■			
Scrophulariaceae	<i>Capraria</i> sp.			■			■
Solanaceae	<i>Solanum</i> sp.		■	■			
Thelypteridaceae	<i>Thelypteris Schmidel</i> Sin. <i>Amauropelta</i> sp.					■	■
Cantidad total de especies registradas		19	19	15	14	14	18

Cuadro A7. Total Criterios y valores de calificación usados en la evaluación de servicios ecosistémicos.

CRITERIO	SÍMBOLO	Descripción y Calificación		
DIMENSIÓN	Di	Económico E	Sociocultural S	Ambiental A
COBERTURA	Cob	Puntual 1	Local 5	Regional 10
OFERTA	Ofe	Baja 1	Media 5	Alta 10
PERMANENCIA	Per	Corto plazo (< 1 año) 1	Mediano plazo (1-5 años) 5	Largo plazo (> 10 años) 10
PERIODICIDAD	Pe	Periódico 1	Discontinuo 5	Continuo 10
NIVEL DE SATISFACCIÓN	NS	Nula 1	Parcial 5	Total 10

Fuente: Castañeda, 2013

Cuadro A8. Características de los Criterios de evaluación

Criterio	Descripción para la calificación
Dimensión	<p>Medio en el que sobresale la potencialidad de un ecosistema dependiendo del bienestar humano que brinda, son muy importantes para mantener el beneficio.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Económica: Son representativos cuando los beneficios obtenidos son producto de procesos productivos, industriales y agropecuarios que generan ganancia para una población - Social: Relevantes cuando hacen parte de la identidad, creencias o recreación de una comunidad. - Ambiental: Importantes, cuando se reconocen las funciones en cuanto al mantenimiento de la vida, la biodiversidad y la protección y conservación de ecosistemas estratégicos y los recursos que de allí se obtienen.
Cobertura	<p>Se refiere al área hasta donde se puede extender el beneficio humano obtenido por el servicio que suministra un ecosistema específico.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Puntual Cuando el beneficio se halla muy localizado, y no va más allá del área donde se produce. - Local: Cuando el beneficio se extiende más allá de donde se genera, en ese caso se introduce a nivel de localidad, vereda, casco urbano y/o municipio. - Regional: Cuando el beneficio obtenido se traslada a otras poblaciones o municipios adyacentes.
Oferta	<p>Cantidad de elementos benéficos para el hombre provenientes de un ecosistema, y que son empleados conforme a la función que cumple y el servicio que provee.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baja: Los elementos benéficos tienden a ser homogéneos, reduciendo el nivel de oferta. - Media: Cuando se encuentran diferencias entre uno y otro elemento, y el nivel de oferta se regula. - Alta: Existe heterogeneidad entre los elementos, lo que amplía la oferta del ecosistema.

Cuadro A8. Continuación.

Criterio	Descripción para la calificación
Permanencia	<p>Corresponde al tiempo en el que permanecerá el efecto del beneficio obtenido por un eco-servicio.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corto plazo: Cuando el beneficio transcurre en un tiempo inferior a 1 año. - Mediano plazo: Cuando el beneficio se presenta en un periodo de tiempo de 1 a 5 años. - Largo plazo: Cuando el beneficio permanece por más de 10 años.
Periodicidad	<p>Es la regularidad con la que se manifiesta el beneficio percibido por el servicio que proporciona un ecosistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Periódico: Cuando la manifestación del beneficio es de forma recurrente o cíclica. - Discontinuo: Cuando el beneficio se presenta de manera irregular o impredecible. - Continuo: Cuando el beneficio se manifiesta constante en el tiempo.
Nivel de satisfacción	<p>El nivel de satisfacción, es el grado en que se suple una necesidad humana a través del bienestar propiciado por un eco-servicio.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nulo: Cuando no se cubre ninguna de las necesidades requeridas por un grupo social o individuo. - Parcial: Cuando las necesidades humanas no son cubiertas en su totalidad, pero se trabaja en las más prioritarias. - Total: Cuando se cubre la totalidad de las necesidades humanas.

Fuente: Modificados de Castañeda, 2013. Los criterios de cobertura, permanencia y periodicidad (*) se definieron con base en la conceptualización de términos dada el método de Conesa y el método integral de evaluación, citados por Arboleda, 2008. El criterio de oferta se basa en los lineamientos establecidos por Laterra *et al.* (2011)

Cuadro A9. Resultados de la valoración de servicios ambientales desde la percepción individual del productor de la pradera con 5 años de uso pastoril.

funciones ambientales del ecosistema Pradera		Ecosistema transformado						
		Parcela de 5 años						
Bienestar humano		Di / Va	Cob	Ofe	Per	Pe	NS	NI
Satisfacción de necesidades (sustento básico)	Alimentación	S	1	1	1	5	1	8
	Abastecimiento de agua	E	1	10	10	10	5	36
	Materias primas para construcción de vivienda	E	1	5	1	5	5	17
Para productividad	Bienestar económico	E	1	1	5	5	5	17
	Actividad productiva	E	5	1	5	5	5	21
	Materias primas	S	5	1	5	5	5	21
Proveedor de recursos naturales	Ganadería	E	5	1	5	5	5	21
	Extractos naturales de uso medicinal	S	1	1	5	5	5	17
	Recursos genéticos	A	1	1	5	5	1	13
Regulación del equilibrio ecológico	Mantenimiento de la biodiversidad	A	1	5	5	5	5	21
	Regulación de la erosión	A	1	5	5	5	1	17
	Disponibilidad de nutrientes	A	1	1	1	5	1	9

Di:Dimensión, Va:Valor, Cob:Cobertura, Ofe:Oferta, Per:permanencia, Pe:periodicidad, NS: Nivel de satisfacción. NI: Nivel de importancia. E=Económica, S=Social, A=Ambiental

Cuadro A10. Resultados de la valoración de servicios ambientales desde la percepción individual del productor de la pradera con diez años de uso pastoril.

funciones ambientales del ecosistema Pradera	Bienestar humano	Ecosistema transformado						
		Parcela de 10 años						
		Di / Va	Cob	Ofe	Per	Pe	NS	NI
Satisfacción de necesidades (sustento básico)	Alimentación	S	1	1	1	5	1	11
	Abastecimiento de agua	E	5	10	10	10	5	40
	Materias primas para construcción de vivienda	E	1	5	1	5	5	17
Para productividad	Bienestar económico	E	1	1	5	5	5	17
	Actividad productiva	E	5	1	5	5	5	21
	Materias primas	S	10	1	5	5	5	26
Proveedor de recursos naturales	Ganadería	E	5	1	5	5	5	21
	Extractos naturales de uso medicinal	S	1	1	5	5	5	17
	Recursos genéticos	A	1	1	5	5	1	13
Regulación del equilibrio ecológico	Mantenimiento de la biodiversidad	A	1	1	5	5	5	17
	Regulación de la erosión	A	1	5	5	5	1	17
	Disponibilidad de nutrientes	A	1	1	1	5	1	9

Di:Dimensión, Va:Valor, Cob:Cobertura, Ofe:Oferta, Per:permanencia, Pe:periodicidad, NS: Nivel de satisfacción. NI: Nivel de importancia. E=Económica, S=Social, A=Ambiental

Cuadro A11. Resultados de la valoración de servicios ambientales desde la percepción individual del productor de la pradera con veinte años de uso pastoril.

funciones ambientales del ecosistema Pradera	Bienestar humano	Ecosistema transformado						
		Parcela de 20 años						
		Di / Va	Cob	Ofe	Per	Pe	NS	NI
Satisfacción de necesidades (sustento básico)	Alimentación	S	1	1	1	1	10	14
	Abastecimiento de agua	E	5	10	10	1	10	36
	Materias primas para construcción de vivienda	E	1	5	5	5	5	21
Para productividad	Bienestar económico	E	10	10	10	10	10	50
	Actividad productiva	E	10	10	10	10	10	50
	Materias primas	S	10	5	10	5	5	35
Proveedor de recursos naturales	Ganadería	E	5	5	10	1	10	31
	Extractos naturales de uso medicinal	S	1	1	5	5	5	17
	Recursos genéticos	A	5	1	5	5	5	21
Regulación del equilibrio ecológico	Mantenimiento de la biodiversidad	A	1	1	5	1	5	13
	Regulación de la erosión	A	1	1	5	5	5	17
	Disponibilidad de nutrientes	A	1	1	5	5	5	17

Di:Dimensión, Va:Valor, Cob:Cobertura, Ofe:Oferta, Per:permanencia, Pe:periodicidad, NS: Nivel de satisfacción. NI: Nivel de importancia. E=Económica, S=Social, A=Ambiental

Cuadro A12. Resultados de la valoración de servicios ambientales desde la percepción individual del productor de la pradera con treinta años de uso pastoril.

funciones ambientales del ecosistema Pradera	Bienestar humano	Ecosistema transformado						
		Parcela de 30 años						
		Di / Va	Cob	Ofe	Per	Pe	NS	NI
Satisfacción de necesidades (sustento básico)	Alimentación	S	1	1	1	1	5	9
	Abastecimiento de agua	E	5	10	10	1	10	36
	Materias primas para construcción de vivienda	E	1	5	10	5	5	26
Para productividad	Bienestar económico	E	5	5	5	10	5	30
	Actividad productiva	E	5	5	10	10	5	35
	Materias primas	S	5	5	10	5	5	30
Proveedor de recursos naturales	Ganadería	E	5	5	5	1	5	21
	Extractos naturales de uso medicinal	S	1	5	1	5	5	17
	Recursos genéticos	A	5	5	1	5	5	21
Regulación del equilibrio ecológico	Mantenimiento de la biodiversidad	A	1	5	5	1	5	17
	Regulación de la erosión	A	1	5	5	5	1	17
	Disponibilidad de nutrientes	A	1	5	5	5	5	21

Di:Dimensión, Va:Valor, Cob:Cobertura, Ofe:Oferta, Per:permanencia, Pe:periodicidad, NS: Nivel de satisfacción. NI: Nivel de importancia. E=Económica, S=Social, A=Ambiental

Cuadro A13. Valoración de servicios ambientales de la pradera con cuarenta años de uso pastoril

funciones ambientales del ecosistema Pradera		Ecosistema transformado						
		Parcela de 40 años						
Bienestar humano		Di / Va	Cob	Ofe	Per	Pe	NS	NI
Satisfacción de necesidades (sustento básico)	Alimentación	S	1	1	1	1	5	9
	Abastecimiento de agua	E	5	10	10	1	10	36
	Materias primas para construcción de vivienda	E	1	5	10	5	5	26
Para productividad	Bienestar económico	E	10	10	10	10	5	45
	Actividad productiva	E	10	10	10	10	5	45
	Materias primas	S	10	5	10	5	5	35
Proveedor de recursos naturales	Ganadería	E	5	10	10	1	5	31
	Extractos naturales de uso medicinal	S	1	1	5	5	5	17
	Recursos genéticos	A	5	5	5	5	5	25
Regulación del equilibrio ecológico	Mantenimiento de la biodiversidad	A	1	5	5	1	5	17
	Regulación de la erosión	A	1	5	5	5	1	17
	Disponibilidad de nutrientes	A	1	5	5	5	5	21

Di:Dimensión, Va:Valor, Cob:Cobertura, Ofe:Oferta, Per:permanencia, Pe:periodicidad, NS: Nivel de satisfacción. NI: Nivel de importancia. E=Económica, S=Social, A=Ambiental

Cuadro A14. Valoración de servicios ambientales de la pradera con cincuenta años de uso pastoril

funciones ambientales del ecosistema Pradera	Ecosistema	Ecosistema transformado						
		Parcela de 50 años						
	Bienestar humano	Di / Va	Cob	Ofe	Per	Pe	NS	NI
Satisfacción de necesidades (sustento básico)	Alimentación	S	1	1	1	1	5	9
	Abastecimiento de agua	E	5	10	10	1	10	36
	Materias primas para construcción de vivienda	E	1	5	10	5	5	26
Para productividad	Bienestar económico	E	5	5	5	5	5	25
	Actividad productiva	E	5	5	5	10	5	30
	Materias primas	S	5	5	5	5	5	25
Proveedor de recursos naturales	Ganadería	E	5	5	5	1	5	21
	Extractos naturales de uso medicinal	S	1	1	1	5	5	13
	Recursos genéticos	A	5	5	1	5	5	21
Regulación del equilibrio ecológico	Mantenimiento de la biodiversidad	A	1	5	5	5	5	21
	Regulación de la erosión	A	1	5	5	5	1	17
	Disponibilidad de nutrientes	A	1	5	5	5	5	21

Di:Dimensión, Va:Valor, Cob:Cobertura, Ofe:Oferta, Per:permanencia, Pe:periodicidad, NS: Nivel de satisfacción. NI: Nivel de importancia. E=Económica, S=Social, A=Ambiental