



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGIA

PASTOREO CON ENFOQUE HOLÍSTICO: EFECTO SOBRE LA FERTILIDAD  
QUÍMICA EDÁFICA, VEGETACIÓN NATIVA Y RESPUESTA PRODUCTIVA DE  
UNA MANADA MIXTA EN UN BOSQUE DE ENCINO

ALBERTO MONROY ROMERO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2011

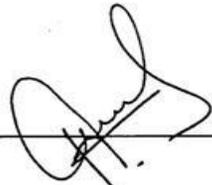
La presente tesis titulada: PASTOREO CON ENFOQUE HOLÍSTICO: EFECTO SOBRE LA FERTILIDAD QUÍMICA EDÁFICA, VEGETACIÓN NATIVA Y RESPUESTA PRODUCTIVA DE UNA MANADA MIXTA EN UN BOSQUE DE ENCINO realizada por el alumno: ALBERTO MONROY ROMERO bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS  
EDAFOLOGIA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

Dr. Arturo Galvis Spínola



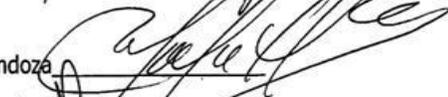
ASESOR

Dra. Ma. Esther Ortega Cerrilla



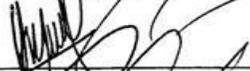
ASESOR

Dra. Teresa M. Hernández Mendoza



ASESOR

Dr. Omar Hernández Mendo



ASESOR

Dr. Fernando Manzo Ramos



Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2011

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de estudiar y fortalecer mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por brindarme una beca para realizar mis estudios de doctorado.

Al Dr. Arturo Galvis Spínola por su enseñanza, apoyo, confianza y amistad. Mentor que constantemente me orientó para realizar la investigación y culminar el postgrado.

A la Dra. Esther Ortega Cerrilla por su asesoría y sugerencias en la revisión del trabajo de tesis, pero sobre todo por su inapreciable amistad y enseñanza.

A la Dra. Teresa M. Hernández Mendoza por brindarme su amistad y por sus recomendaciones en la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Omar Hernández Mendo por su orientación y aportaciones en la revisión de este trabajo, así como su valiosa amistad.

Al Dr. Fernando Manzo Ramos por sus observaciones y recomendaciones en la elaboración de este documento y por brindarme su amistad.

Al M. C. Víctor M. Casas Pérez que siempre me alentó e indicó el camino para emprender la investigación.

Al M. C. Francisco Espinosa Aviña por su amistad e importante apoyo para realizar el trabajo experimental.

Al M. C. Guillermo Gómez Espinoza por proporcionarme su ayuda durante la realización del trabajo experimental, así como su amistad.

Al Ing. Agustín Gallegos Martínez por su valiosa ayuda que me permitió llevar a cabo el trabajo en campo.

A todo el personal del CEIEPASP de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM que me brindaron las facilidades para que fuera posible emprender la investigación doctoral.

A todas las personas del Colegio de Postgraduados que me apoyaron y que estuvieron involucradas en el desarrollo de este trabajo.

## DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

Hilario Monroy Mondragón: gracias por el apoyo y enseñanza constante para enfrentar la vida con temple. Te admiro y respeto por indicarme el camino a seguir, corregirme cuando me he equivocado y motivado para superarme a cada instante.

Angela Romero Espinosa (Q. E. P. D.): tu presencia en mi vida ha sido y es muy importante, porque creíste en mí impulsándome a seguir adelante no importando las adversidades y tropiezos en la vida. Tú me enseñaste a perseverar y luchar hasta alcanzar la meta y a establecer nuevos retos. Gracias por darme la vida, te quiero.

A mis hermanos: María Elena, Víctor, Eduardo, Ana María, María de los Ángeles, Rafael, Beatriz (Q. E. P. D.) y Gabriela gracias por todos los momentos que hemos compartido. Agradezco su apoyo y confianza, pero sobre todo su aprecio. Me siento orgulloso y afortunado de contar con ustedes.

A Leticia Gómez García por darme la oportunidad de formar parte de su vida, sujetar su mano y caminar a su lado.

A mis amigos del Colegio de Postgraduados con quienes compartí gratos momentos como estudiante el Dr. Federico Escobedo Amezcua y el M.C. José Rosas Córdoba. Así como el Dr. José Luis Oropeza Mota y el Dr. Jorge Pérez Pérez (Q. E. P. D.), que me brindaron su amistad, asesoraron e impulsaron a seguir adelante.

A mis amigos de la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la UNAM, Eligio Chávez Vargas y Gustavo Dueñas García, con quienes tuve agradables experiencias mientras cursamos la licenciatura en Planificación para el Desarrollo Agropecuario.

Los mejores días de escuela los viví en la prepa 4 de la UNAM, al lado de mis mejores amigos Jorge Alberto Aguilar Ochoa y Manuel García Tovar, los “cuatrerros” con quienes mantengo una amistad que perdura a través de los años.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, con la cual estoy muy ligado y comprometido a trabajar para mantener su nombre en alto.

A México, que me dio el privilegio de seguir preparándome y continuar con mis estudios.

Agradezco a Dios, que me da la fuerza y capacidad para emprender todas mis actividades diariamente.

*"El secreto que permite alcanzar una meta, es realizar las cosas con tenacidad"*

*Louis Pasteur*

*"Una persona perseverante, aún siendo dura de entendimiento será inteligente; y aunque sea débil será fuerte"*

*Leonardo Da Vinci*

*"Hay una fuerza motriz mucho más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad"*

*Albert Einstein*

# Índice General

Resumen.....	1
Abstract.....	2
I. Introducción.....	3
II. Revisión de Literatura .....	5
2.1 La producción ganadera en México.....	5
2.2 El sistema suelo-planta-animal.....	9
2.3 Relación del pastoreo con el ecosistema .....	13
2.3.1. Efecto sobre las propiedades y características de los suelos.....	13
2.3.2. Efecto sobre la vegetación.....	16
2.4 Resumen de la revisión de literatura .....	20
III. Objetivos e hipótesis .....	22
3.1 Objetivos .....	22
3.2 Hipótesis.....	22
IV. Materiales y Métodos.....	23
4.1 Ubicación y marco físico del sitio experimental .....	23
4.2 Efecto del pastoreo sobre las condiciones edáficas, de vegetación y producción animal.....	27
V. Resultados y Discusión .....	35
5.1 Efecto del pastoreo sobre las condiciones edáficas .....	35
5.2 Efecto del pastoreo sobre la vegetación .....	47
5.3 Efecto del pastoreo sobre la producción animal .....	60
5.3.1 Producción de estiércol .....	60
5.3.2 Crecimiento y desarrollo de la manada.....	67
5.3.2.1. Caprinos .....	67
5.3.2.2. Ovinos.....	68
5.3.2.3. Porcinos.....	69
5.3.2.4. Equinos.....	70
5.3.2.5. Bovinos .....	71
5.3.3 Ganancia de peso, existencias de animales en pastoreo y encierro .....	72
5.3.3.1. Caprinos .....	72
5.3.3.2. Ovinos.....	73

5.3.3.3. Porcinos.....	75
5.3.3.4. Equinos.....	76
5.3.3.5. Bovinos.....	77
VI. Conclusiones.....	79
VII. Literatura citada.....	80

## Índice de Cuadros

Núm.	Contenido	Pág.
1	Resumen de la producción en pie, precio, valor, y peso de las principales especies en la actividad ganadera de México durante el año 2009. Fuente: adaptado de SIAP, 2010.	6
2	Resumen de la producción agrícola en México durante el año 2009, incluyendo cultivos cíclicos y perennes tanto de riego como temporal, haciendo énfasis en los destinados para la alimentación animal. Fuente: adaptado de SIAP, 2010.	7
3	Comparación del valor de la producción agrícola con la ganadera en México durante el año 2009. Fuente: adaptado de SIAP, 2010.	7
4	Distribución de frecuencia de los días con un volumen de lluvia específico en la zona de estudio, registrados en la estación climatológica del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	26
5	Distribución de frecuencia de la temperatura mínima, media y máxima en la zona de estudio, registrada en la estación climatológica del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	27
6	Composición de la torta ganadera y tirol ganadero aplicados durante el pastoreo de la manda mixta en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	32
7	Valores de pH en las muestras colectadas a diferentes profundidades y pendientes del terreno, en sitios en condición natural (SP) y pastoreo de cinco especies de animales (CP) en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	35
8	Ecuaciones de regresión de la variación de pH por profundidad en que se colectó la muestra de suelo en sitios en condición natural y en los que se pastorearon cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	35
9	Comparación de medias de los valores de pH por pendiente del terreno (condición natural y pastoreo) en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.	36
10	Ecuaciones de regresión de la variación de pH por profundidad y de la pendiente del terreno en que se colectó la muestra de suelo en sitios en condición natural y en los que se pastorearon cinco especies de animales en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.	36
11	Promedio mensual de pH en terrenos con condición natural (SP) y pastoreo (CP) de cinco especies de animales en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.	37

Núm.	Contenido	Pág.
12	Conductividad eléctrica en muestras de suelo colectadas a diferentes profundidades y pendientes en sitios en condición natural (SP) y pastoreo de cinco especies (CP) en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.	37
13	Ecuaciones de regresión de la variación de la conductividad eléctrica por profundidad en que se colectó la muestra de suelo en sitios en condición natural y en los que se pastorearon cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	38
14	Comparación de medias de los valores de conductividad eléctrica por pendiente del terreno (condición natural y pastoreo) en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	38
15	Ecuaciones de regresión de la comparación de la conductividad eléctrica entre las muestras colectadas a tres profundidades en condiciones naturales (SP) y pastoreo (CP) en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	39
16	Ecuaciones de regresión de la variación de conductividad eléctrica por profundidad y pendiente del terreno en sitios en condición natural y pastoreo de cinco especies de animales en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.	39
17	Comparación de medias del valor mensual de conductividad eléctrica en terrenos con condición natural (SP) y de pastoreo (CP) de cinco especies de animales en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.	40
18	Mínimo (Mn), máximo (Mx) y comparación de medias de nitrógeno, fósforo y potasio contenidos en las muestras de suelo colectadas a diferentes profundidades y pendientes en sitios en condición natural (SP) y pastoreo de cinco especies (CP) en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.	43
19	Ecuaciones de regresión ajustadas a la tendencia del contenido de nitrógeno de las muestras vegetales en sus fracciones lábiles y resistentes en condiciones naturales y sometidas a pastoreo de cinco especies de animales en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.	54
20	Distribución de frecuencia del peso seco de las muestras vegetales en sus fracciones lábiles y resistentes en condiciones naturales y sometidas a pastoreo de cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	55
21	Distribución de frecuencia del peso fresco de las muestras vegetales en sus fracciones lábiles y resistentes en condiciones naturales y sometidas a pastoreo de cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	56

<b>Núm.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
22	Comparación de medias de la materia seca y peso fresco de la fracción lábil y resistente de las muestras de vegetación colectada con y sin pastoreo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	58
23	Distribución de frecuencia del contenido de nitrógeno las muestras vegetales en su fracción lábil y resistente en condiciones naturales y en las que estuvieron sometidas a pastoreo de cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	59
24	Ecuaciones de regresión ajustadas a la relación entre el peso seco y el peso fresco del estiércol de cinco especies de animales que se colectaron en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	61
25	Rango mínimo, promedio y máximo del peso seco, fresco y contenido de nitrógeno del estiércol de cinco especies de animales que se colectaron en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	62
26	Ecuaciones de la tendencia del peso seco y fresco del estiércol colectado durante un año de pastoreo de cinco especies de animales en cuatro diferentes momentos del día en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	63
27	Ecuaciones de la tendencia del contenido de nitrógeno en el estiércol colectado durante un año de pastoreo de cinco especies de animales en cuatro diferentes momentos del día en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	64
28	Ecuaciones de la tendencia del peso seco, peso fresco y contenido de nitrógeno en el estiércol durante un año de pastoreo de cinco especies de animales colectado en el establo y el bosque del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	66
29	Indicadores productivos de caprinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	68
30	Indicadores productivos de ovinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	69
31	Indicadores productivos de porcinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	70
32	Indicadores productivos de equinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	71
33	Indicadores productivos de bovinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	72
34	Tamaño, peso y ganancia de peso del rebaño caprino en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino y en encierro del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	73
35	Tamaño, peso y ganancia de peso del rebaño ovino en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino y en encierro del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	74

<b>Núm.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
36	Tamaño, peso y ganancia de peso de los porcinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino y en encierro del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	75
37	Tamaño, peso y ganancia de peso de la caballada en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino y en encierro en del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	76
38	Tamaño, peso y ganancia de peso del hato en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino y en encierro del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	77

## Índice de Figuras

Núm.	Contenido	Pág.
1	Imagen de satélite del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota donde se llevó a cabo el presente estudio, mostrando las áreas con y sin pastoreo, así como la parte agrícola. Fuente: imagen de Google Earth.	23
2	Erosión hídrica en los suelos del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota, la cual es incipiente en algunos sitios, en otros se aprecia el afloramiento de los horizontes subyacentes e incluso ya es evidente la aparición del material original.	24
3	Precipitación pluvial y humedad relativa diarias registradas durante el desarrollo del estudio en la estación climatológica del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	25
4	Temperatura mínima, media y máxima diaria registrada durante el desarrollo del estudio en la estación climatológica del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	26
5	Fotografía del procedimiento seguido para la colecta de las muestras de suelo durante el desarrollo del estudio en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	28
6	Imagen de satélite del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota donde se muestra el área donde se colectaron las muestras del estudio. Fuente: imagen de Google Earth.	29
7	Fotografía del procedimiento seguido para la colecta de las muestras de biomasa vegetal durante el desarrollo del estudio en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	30
8	Fotografía del procedimiento para estimular el consumo de vegetación fibrosa a través de una tirolera, durante el pastoreo de la manada en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	33
9	Fotografía de manada en pastoreo en diferentes áreas, arreo y estancia en corrales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	34
10	Fotografías que muestran el mantillo del bosque en áreas pastoreadas y su efecto sobre la humedad residual incluso después de la temporada de lluvias en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	41
11	Distribución de frecuencia de la variación del peso seco y peso fresco de las muestras de vegetación colectadas durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	47
12	Distribución de frecuencia de la variación del peso seco y fresco de la fracción lábil de muestras de vegetación colectadas durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	48

Núm.	Contenido	Pág.
13	Distribución de frecuencia de la variación del peso seco y fresco de la fracción resistente de las muestras de vegetación colectadas durante el desarrollo del presente trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	49
14	Fotografías que muestran el tipo de vegetación del bosque en áreas con y sin pastoreo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	50
15	Tendencia del contenido de nitrógeno en la fracción lábil de muestras de vegetación colectadas en sitios con y sin pastoreo durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	52
16	Tendencia del contenido de nitrógeno en la fracción resistente de las muestras de vegetación colectadas en sitios con y sin pastoreo durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	53
17	Relación entre el peso seco y el peso fresco del estiércol de cinco especies de animales, colectado durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.	60

# **PASTOREO CON ENFOQUE HOLÍSTICO: EFECTO SOBRE LA FERTILIDAD QUÍMICA EDÁFICA, VEGETACIÓN NATIVA Y RESPUESTA PRODUCTIVA DE UNA MANADA MIXTA EN UN BOSQUE DE ENCINO**

## **Resumen**

El sobre pastoreo causa la compactación del suelo y pérdida de la vegetación y cuando es insuficiente la biomasa vegetal, se suele invadir bosques o selvas en búsqueda de alimento para el ganado lo que deteriora los ecosistemas. Como una alternativa surge el pastoreo con enfoque holístico (PH) en el que se favorece la productividad animal sin afectar el entorno. Por ello, en el presente estudio se evaluó de febrero-2008 a enero-2009 el PH en bosque de encino con una manada mixta de equinos, bovinos, ovinos, caprinos y porcinos y su efecto sobre la fertilidad química edáfica, la vegetación nativa y la productividad del ganado. Se colectaron muestras de suelo (99 en PH y 102 sin pastoreo) a 0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad y <5%, 5-15%, 15-30% y >30% de pendiente. Se midió el pH, conductividad eléctrica y la disponibilidad de N, P y K. De la vegetación se colectaron partes lábiles y no lábiles en áreas con y sin pastoreo, para determinar peso fresco (PF), materia seca (MS) y nitrógeno total (NT). Se llevó un registro mensual de fertilidad, mortalidad y ganancia de peso para evaluar la respuesta productiva de la manada. Cada quince días se colectó estiércol en el corral y bosque, para evaluar PF, MS y NT. Los resultados no mostraron diferencias en las variables edáficas entre áreas con y sin pastoreo. El NT en vegetación lábil y no lábil fue mayor en PH en comparación con el área sin pastoreo, con mayor vegetación lábil en PH. Los índices de fertilidad (IF) y mortalidad (IM) en los caprinos y ovinos fueron >70% IF y <27% IM, porcinos 1119% IF y 36% IM, equinos y bovinos 50% IF y 0% IM. La ganancia de peso en la manada presentó variaciones constantes con tendencias a perder peso asociada al semoviente. La composición y calidad de la dieta, así como la eficiencia digestiva de cada especie determinó el valor de NT en el estiércol, con mayor contenido en el caprino, seguido por el de ovino y porcino, mientras que el menor se encontró en el de equino y bovino. En conclusión, el PH no afectó las variables edáficas y, aunque hubo diferencias en el NT de la vegetación, esto no se alteró por el pastoreo. Las características fisiológicas y hábitos alimenticios del ganado fueron factores que provocaron diferencias en el NT del estiércol. El PH permitió el mantenimiento y reproducción de la manada, siendo una forma adecuada para aprovechar y preservar los recursos del bosque.

**PALABRAS CLAVE:** pastoreo, holístico, manada mixta, bosque.

# **HOLISTIC APPROACH TO GRAZING: CHEMICAL EFFECT ON SOIL FERTILITY, NATIVE VEGETATION AND PRODUCTIVE RESPONSE OF A MIXED HERD IN AN OAK FOREST**

## **Abstract**

Overgrazing soil compaction and loss of vegetation and when there is insufficient plant biomass is often invaded forests or jungles in search of food for livestock which impairs. As an alternative there is the holistic approach to grazing (HG) which promotes animal productivity without affecting the environment. Therefore, in the present study, February-2008 January-2009, (HG) oak forest with a mixed herd of horses, cattle, sheep, goats and pigs and its effect on the fertility of soil native vegetation and livestock productivity. Soil samples were collected (99 in HG and 102 ungrazed) at 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm deep and < 5%, 5-15%, 15-30% and > 30% slope. We measured the pH, electrical conductivity and the availability of N, P and K. Of vegetation were collected labile and non labile parts in areas with and without grazing, to determine fresh weight (FW), dry matter (DM) and total nitrogen (NT). Was a monthly record of fertility, mortality and weight gain to evaluate the productive performance of herd. Every two weeks we collected manure in the barnyard and forest, to evaluate FW, DM and NT. The results showed no differences in soil variables between areas with and without grazing. The NT in labile and non labile vegetation was higher in HG compared with no grazing area, with more vegetation labile HG. Fertility index (IF) and mortality (IM) in goats and sheep were > 70% IF and < 27% IM, pigs 1119% IF and 36% IM, horses and cattle 50% IF and 0% IM. Weight gain in herd showed variations consistent with trends in weight loss associated with self-propelled. The composition and quality of diet and digestive efficiency of each species determined the value of NT in manure with higher content of goats, followed by sheep and pigs, while the lowest was found in the equine and cattle. In conclusion, the HG did not affect soil variables and although there were differences in the NT of vegetation, this was not altered by grazing. Physiological characteristics and food habits of cattle were factors that caused differences in the NT manure. The HG allowed the maintenance and reproduction of herd, being a form suitable for harness and preserve forest resources.

**KEY WORDS:** Grazing, holistic, mixed herd, forest.

## I. Introducción

El pastoreo es una práctica empleada por ganaderos y pequeños productores pecuarios como un recurso para alimentar el ganado, se realiza de manera intensiva o extensiva dada la disponibilidad de recursos forrajeros. Se requiere de conocimiento y manejo adecuado para mantener la producción de forraje a lo largo del tiempo, de manera que exista producción animal y conservación del recurso suelo. Cuando la carga animal es alta no permite la recuperación de nuevos rebrotes de vegetación, compacta y deteriora la estructura del suelo, lo que ocasiona la escasez de forraje que limita la producción animal. Sin embargo, los daños causados por el pastoreo en suelo y vegetación no sólo se atribuyen a la presencia del ganado, también están involucrados factores ambientales como lluvias o vientos que arrastran partículas de suelo y las sequías que afectan la composición de la vegetación. El pastoreo en bosque es una práctica a la cual recurren los ganaderos en nuestro país, debido a la carencia de áreas de pastoreo o por falta de recursos económicos; introducen animales en zonas forestales por la necesidad de alimentar al ganado, lo que causa, en la mayoría de los casos, daños irreparables a los ecosistemas, afectando principalmente la estructura del suelo.

Lo anterior ha llevado a buscar alternativas de pastoreo que a la vez permitan mantener y aprovechar recursos naturales disponibles para ayudar en el desarrollo de la actividad pastoril. El pastoreo que se realiza en praderas puede ser continuo o rotacional en sus diferentes modalidades, pero no son una buena opción para el pastoreo en bosques o selvas. El pastoreo rotacional con enfoque holístico surge como una propuesta para la conservación de los recursos naturales y la producción animal, lo que implica tener un conocimiento integrado de los sistemas suelo, vegetación, animal y ambiente, así como sus interacciones para la toma de decisiones, considerando la disponibilidad de recursos mediante su preservación y la factibilidad de emplearlos para llevar a cabo el pastoreo en el bosque. Para determinar si este tipo de pastoreo puede ser una alternativa de producción animal, el presente trabajo consistió en estudiar cómo el pastoreo rotacional con enfoque holístico impacta sobre la fertilidad química edáfica, contenido nutrimental de la vegetación lábil y no lábil y la respuesta productiva de una manada mixta de animales domésticos integrada por caprinos, ovinos, porcinos, equinos y bovinos, que pastoreaban 8 horas diarias con recorridos de 3 a 5 kilómetros por día, en un bosque de encino con orografía accidentada. La alimentación de la manada en

pastoreo estaba constituida por semillas, hierbas, arbustos y arbustivas. Después del pastoreo los animales se trasladaban a corrales, donde permanecían alojados y se complementaba su alimentación con rastrojo de avena y pastos nativos, las hembras gestantes y crías próximas al destete tenían acceso a alimento comercial. Se realizaron muestreos mensuales durante un año del suelo con diferente pendiente y profundidad y cada quince días de vegetación lábil y no lábil y del estiércol de todas las especies animales.

## II. Revisión de Literatura

### 2.1 La producción ganadera en México

La ganadería es una de las actividades económicas del sector primario en la que se cuida y alimenta a diversas especies de animales (cerdos, vacas, pollos, borregos, abejas, entre otros), para aprovechar su carne, leche, huevos, lana, miel y otros derivados. La producción animal ha tenido diversas transformaciones en el país que van desde la domesticación de especies como el guajolote y el perro para consumo humano en la época prehispánica, hasta la introducción de ganado vacuno, caprino, porcino y aves provenientes de Europa después de la conquista, lo cual tuvo un gran éxito por la diversidad de ambientes del territorio y que favorecieron su adaptación. Estos cambios modificaron la dieta del pueblo y el modo de trabajar por la incorporación de animales como medio de carga y tracción de vehículos de diferente tipo.

La ganadería se considera extensiva cuando los animales pastan de manera libre y se cataloga como intensiva cuando se encierran en lugares específicos. La decisión de adoptar una u otra modalidad depende de la extensión de vegetación natural requerida por cada animal para vivir durante un año (índice de agostadero) y su valor dependerá de la eficiencia en la tasa de crecimiento y recuperación de la cobertura vegetal. Las características de un terreno para su utilidad con fines pecuarios dependen del relieve, acceso a fuentes de agua, clima (humedad y temperatura) y vegetación, aunque normalmente la actividad pecuaria se realiza en tierras que no son adecuadas para la agricultura.

En el caso de México abunda el tipo de ganadería extensiva con 65% de la superficie destinada pero a la vez es la menos eficiente, porque sólo aporta 30% de la producción de carne. Se lleva a cabo en áreas extensas para permitir que pasten los animales en terrenos con vegetación nativa o inducida, lo cual es frecuente en los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche y Quintana Roo. En contraste, la ganadería que se cataloga como intensiva, los animales confinados se alimentan con productos procesados y predomina en los estados de Sonora, Sinaloa y Chihuahua.

De acuerdo con las cifras del INEGI, en 2008, las aves son los animales que se crían en mayor proporción en el país, mientras que en segundo lugar está la producción de cerdos, seguida por el ganado bovino, caprino, ovino y las abejas, aunque cabe señalar que los bovinos son los más relevantes por la extensión que

ocupan y por su valor económico, puesto que más de 60% del total de la superficie dedicada a la ganadería se destina a la crianza de estas especies, que aportan más de 40% de la producción de carne y productos lácteos (Cuadro 1). Veracruz, Jalisco, Durango y los estados del norte son sus principales productores.

Cuadro 1. Resumen de la producción en pie, precio, valor, y peso de las principales especies en la actividad ganadera de México durante el año 2009. Fuente: adaptado de SIAP, 2010.

<b>Especie</b>	<b>Producción (toneladas)</b>	<b>Precio (\$/kg)</b>	<b>Valor (miles de pesos)</b>	<b>Peso (kg)</b>
<b>Bovino</b>	3,212,508	17.58	56,475,213	388
<b>Porcino</b>	1,519,411	17.36	26,382,347	98
<b>Ovino</b>	106,323	22.36	2,377,385	39
<b>Caprino</b>	84,993	20.01	1,700,387	34
<b>Subtotal</b>	<b>4,923,236</b>		<b>86,935,332</b>	

Por su importancia, el segundo tipo de ganado es el porcino. La cría de cerdos para autoconsumo es una práctica común en el país por su bajo costo, aunque es importante señalar que si no se cuenta con instalaciones adecuadas y estricto control sanitario, las condiciones insalubres ocasionan que el cerdo contraiga y transmita enfermedades parasitarias que afectan al ser humano. La carne y las vísceras del cerdo se aprovechan de manera directa como alimento o a través de su procesamiento para elaborar diferentes embutidos. Alrededor de 75% de la actividad porcina se realiza en los estados de Jalisco, Sonora, Guanajuato, Yucatán, Puebla, Veracruz y Michoacán.

De los ovinos se obtiene carne y lana para la fabricación de telas. La ganadería de ovinos generalmente es extensiva y las principales entidades productoras de este tipo de ganado son Hidalgo, Veracruz, Puebla y el estado de México. En cambio, la carne de caprinos no se utiliza para el consumo humano por su dureza, aunque su leche y la piel son muy cotizadas. Los caprinos se adaptan a todos los climas y terrenos; sin embargo, como tienen el hábito de arrancar las plantas desde la raíz para ingerir su alimento, afectan considerablemente la cobertura vegetal. El mayor número de cabezas de caprinos se encuentra en Oaxaca, Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León.

La producción de alimentos destinados para la crianza del ganado es relevante ya sea como forraje, pastos (leguminosas y gramíneas) o granos tanto en lo que se refiere a la superficie destinada a ello, como en el valor de la producción (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resumen de la producción agrícola en México durante el año 2009, incluyendo cultivos cíclicos y perennes tanto de riego como temporal, haciendo énfasis en los destinados para la alimentación animal. Fuente: adaptado de SIAP, 2010.

Cultivo	Superficie sembrada		Superficie cosechada		Valor de la producción	
	(miles Ha)	%	(miles Ha)	%	(millones \$)	%
<b>Producción de pastos y cultivos forrajeros</b>	6,413	29	5,824	31	48,242	16
<b>Cultivos no destinados a la producción animal</b>	15,420	71	12,865	69	246,420	84
<b>Total</b>	21,833	100	18,689	100	294,662	100

Aunque la superficie requerida para el cultivo de alimentos destinados para el ganado es mayor en comparación con su valor (30% y 16%, respectivamente), esto se invierte cuando se compara la ganancia por concepto de la actividad ganadera en su conjunto (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación del valor de la producción agrícola con la ganadera en México durante el año 2009. Fuente: adaptado de SIAP, 2010.

Concepto	Valor de la producción
	(millones \$)
<b>Ganadería en pie</b>	86,935
<b>Producción de carne, leche y otros productos</b>	150,110
<b>Total de la producción ganadera</b>	237,045
<b>Total de la producción agrícola (incluye todos los giros)</b>	294,662

Al igual que en el caso de la agricultura, donde los sistemas de riego y el uso de recursos económicos influye en el éxito de la producción, en la ganadería los sistemas tradicionales no ofrecen resultados económicos significativos, a pesar de

sus bajos costos de operación y facilidad de manejo. Esto se debe a que no disponen de tecnología de punta y suficiente inversión para las tareas requeridas.

Este tipo de actividades (agricultura y ganadería) ocasiona daños al ambiente cuando se hace sin cuidado y sin preservar los recursos naturales de los que se aprovechan. Entre las causas del deterioro de los ecosistemas del país se encuentran la tala ilegal, el sobrepastoreo, incendios intencionales y el avance de la frontera agrícola y ganadera. El reemplazo de bosques por áreas agrícolas o ganaderas puede ser por razones de subsistencia o comerciales, aunque las tierras no sean aptas para estos propósitos por tener suelos someros y de baja fertilidad. Esto conlleva a una costosa y deficiente productividad, que ocasiona la pérdida de los ecosistemas y la consecuente merma en la flora, fauna, bienes y servicios. Al cabo de cierto tiempo se agota la escasa fertilidad física de las tierras, por lo que se abandonan y se invaden nuevos terrenos.

La deforestación se refiere a la conversión de los bosques a otro uso de la tierra o a su reducción a largo plazo a una cubierta forestal inferior a 10% (FRA, 2005), lo que implica una pérdida permanente porque el sitio en evaluación cambia a otro uso. Según Flamenco Sandoval (2009), se puede definir como el proceso de transformación que experimentan áreas boscosas cuando se remueve la cobertura forestal. Cabe señalar que la definición de la deforestación es parcial porque se excluye de ella el deterioro de los bosques, sólo considera áreas que perdieron su cubierta forestal. En este sentido, es preferible emplear el término “degradación” porque incluye cambios dentro del bosque que afectan de manera negativa su función y que a la vez reduce su capacidad para proporcionar productos o servicios (FRA, 2005).

La pérdida de los ecosistemas implica efectos negativos sobre alternativas económicas como la obtención sustentable de productos maderables y de la fauna silvestre, altera la capacidad de retención del suelo y hace más vulnerable la región a los impactos de los meteoros y por ende hay un mayor riesgo de deslaves e inundaciones.

La evaluación de la deforestación oculta procesos relevantes principalmente en regiones con gran variedad de ambientes y condiciones socioeconómicas, por lo que la pérdida de bosque en el país fluctúa según los autores y la metodología empleada, siendo más consistentes los datos generados por la FAO en que se estima una tasa entre 350 mil y 650 mil ha año<sup>-1</sup> (WWF, 2007), lo que de acuerdo con Velásquez *et al.* (2002) en México se han perdido casi 30 mil km<sup>2</sup> de bosque.

## 2.2 El sistema suelo-planta-animal

El suelo es un componente que regula los ciclos de los nutrientes en los ecosistemas terrestres, donde las reservas edáficas (orgánicas e inorgánicas) los acumulan o ceden, según sea el caso, cuya tasa de transferencia es catalizada por las condiciones ambientales (principalmente humedad y temperatura) que imperan. Las plantas absorben los nutrientes que emplean para elaborar diversos productos orgánicos y cuando el ganado consume la vegetación coadyuva a su crecimiento y desarrollo. La biomasa que sirve de alimento retorna al suelo a través de deyecciones líquidas y sólidas, o bien mediante el reciclaje de la porción que no es consumida por los animales en pastoreo.

La vegetación que crece en los terrenos sujetos al apacentamiento constituye la principal fuente de alimento del ganado, la cual suele estar sujeta a sequías prolongadas, fertilidad edáfica deficiente, escasa o nula aplicación de fertilizantes, alta presión de pastoreo, agresividad de las plantas invasoras y quema irregular, entre otros aspectos. Para que el sistema suelo-planta-animal se mantenga productivo, es necesario procurar un flujo eficaz de energía y nutrientes entre los diferentes componentes que lo constituyen, ya que sólo 20% de lo que consume el animal es transferido a proteína o leche, mientras que 46% se pierde hacia el ambiente y cuando mucho 34% es reciclado (Jarvis, 1993). A su vez, Mahecha (2002) considera que del total de los macronutrientes que contiene la vegetación que es consumida por el ganado, 80% retorna al terreno a través de sus excretas sólidas o líquidas y por ello, las deyecciones constituyen las principales entradas naturales al sistema suelo-planta-animal.

Para un eficiente reciclaje de nutrientes es necesario que los potreros tengan una alta diversidad de especies vegetales con diferentes sistemas radiculares, que ocupen el suelo en distinta extensión y profundidad. Por ello, el uso exclusivo de gramíneas limita la capacidad de reciclaje. Cuando no se pone atención en este asunto, se propicia un agotamiento de las reservas nutrimentales y de la capacidad productiva del terreno, por efecto de la disminución de nutrientes debida a la ingesta de la vegetación o por exportación del terreno debido a procesos físicos como la erosión y la lixiviación, químicos (volatilización) o bioquímicos (reacciones de óxido-reducción).

Como alternativa de manejo en la alimentación animal se propone el silvopastoreo (Mahecha, 2002) porque incrementa la fertilidad del suelo, mejora su estructura y disminuye la erosión, lo cual es atribuido al mayor reciclaje de material

orgánico en el suelo proveniente de los residuos (ramas y hojarasca) del bosque y a que favorece una mayor actividad biológica edáfica. Al respecto, Bardgett y Wardle (2010) mencionan que la hojarasca alimenta las cadenas tróficas en las que participan los diversos organismos responsables de la descomposición de los materiales orgánicos del suelo, que junto con las raíces constituye la fuente principal de entradas orgánicas al suelo y con ello el flujo de energía y nutrientes. Así, el contenido de hojarasca dependerá del balance entre su acumulación y descomposición, cuyo tiempo de residencia es función de la calidad del material (composición bioquímica), condiciones climáticas, intensidad de pastoreo y la actividad biológica (fauna y microorganismos edáficos).

Las diferentes especies de pastos originan distintas calidades y cantidades de hojarasca, así como su capacidad para reciclar los nutrientes, lo cual fluctúa entre valores tan bajos como menos de  $0.2 \text{ kg m}^{-2}$  hasta tan elevados como  $5.0 \text{ kg m}^{-2}$  o más (Porazinska *et al.*, 2003), lo cual puede representar en términos de nutrientes (en formas orgánicas) desde menos de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  hasta  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  o más de nitrógeno así como entre  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de fósforo en forma de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Durante la descomposición de la vegetación se descompone más rápido la fracción lábil (compuesta de azúcares simples, proteínas y algunos constituyentes de la pared celular) y después la fracción resistente (ligninas) cuya alteración es más lenta (Liu *et al.*, 2000). En dicho proceso primero ocurre la descomposición de las sustancias que son solubles en agua, posteriormente los compuestos que son más resistentes que son fragmentados por la fauna edáfica y luego mediante la actividad de la biomasa microbiana edáfica son degradados por mecanismos enzimáticos. La temperatura y la humedad son determinantes porque influyen en la actividad de los organismos edáficos responsables de los procesos mencionados, donde la intensidad máxima de descomposición ocurre alrededor de  $30^\circ\text{C}$  y con un contenido de humedad entre 60 y 80% de la capacidad máxima de retención de humedad (Six *et al.*, 2006), interactuando ambas variables para ejercer su efecto sobre la tasa de descomposición y su posterior mineralización.

La descomposición de la biomasa vegetal se relaciona a su vez con su composición bioquímica, con énfasis en la proporción entre su contenido de nitrógeno y lignina. Por ello, si en el material orgánico hay mayor concentración de polifenoles se descompondrá más lentamente y viceversa (Preston *et al.*, 2000), lo que explica las diferencias encontradas por diversos autores en la alteración de

los materiales orgánicos en distintos sistemas pastoriles y de ahí su contribución al enriquecimiento de las reservas nutrimentales del suelo (Bardgett y Wardle, 2010).

De acuerdo con Bhogal *et al.* (2011), el carbono orgánico del suelo se considera entre las propiedades más valiosas del sistema edáfico porque participa en la mayoría de las funciones del suelo a través de diversos procesos biológicos, como es el caso de la descomposición de los materiales orgánicos. El fenómeno de la protección propicia y favorece la calidad del suelo, su fertilidad y el control de la erosión e incluso al almacén de carbono en el suelo se le atribuye una fuente considerable para la mitigación del cambio climático (Smith *et al.*, 2008).

Para que haya una cantidad apropiada de reservas orgánicas edáficas es indispensable que se depositen materiales orgánicos; sin embargo, es difícil la identificación de un nivel mínimo o crítico de carbono orgánico por debajo del cual se deteriora el funcionamiento del suelo, donde los componentes más importantes son las reservas activas por su efecto sobre el control de los cambios en las propiedades de los suelos, logrando estos beneficios a través de los aportes recientes de materiales orgánicos y no tanto de lo que se haya acumulado a través de los años (Loveland *et al.*, 2001). Al respecto, Bhogal *et al.* (2011) estudiaron el efecto de las adiciones recientes de materiales orgánicos sobre las propiedades edáficas y los contrastaron con las que se realizaron durante varios años y encontraron que no importa tanto cuándo se aplica el estiércol, porque su impacto benéfico perdura al menos por dos años sobre el aumento del nitrógeno total, disponibilidad de humedad y porosidad, disminuyendo la resistencia a la penetración y la densidad aparente. Incluso esto se manifestó en el contenido de la biomasa microbiana y el nitrógeno potencialmente mineralizable. Lo que si tiene un efecto directo es la adición reciente de estiércol sobre la presencia de hongos en el suelo, el potasio extractable y la reserva orgánica activa.

La fertilidad del suelo se encuentra entre los factores que determinan el crecimiento y desarrollo de la biomasa vegetativa, por lo que para mantenerla se requiere la aplicación de nutrientes, principalmente a través de fertilizantes de tipo químico. Por otro lado, la fertilidad física del suelo crea un ambiente adecuado para la disponibilidad y absorción de estos nutrientes lo cual es generalmente ignorado (Rasool *et al.*, 2007). El ambiente físico edáfico influye sobre el tipo de reacciones químicas y biológicas que ocurren en el suelo, como es el caso de las características hídricas, drenaje, resistencia a la penetración, aireación, entre

otras, que determinan la disponibilidad de agua, favoreciendo el flujo de nutrientes y oxígeno y además brindan soporte mecánico a la vegetación.

La degradación del suelo se aprecia de manera directa por la compactación del espacio poroso, lo que provoca anegamientos temporales y escasa exploración del sistema radical. Bajo tales condiciones, la adición de estiércol ayuda en la regeneración de la estructura del suelo, mejora la capacidad de aireación y la retención de humedad.

La intensificación de la producción animal incrementa el riesgo de ocasionar un impacto nocivo hacia el ambiente. Por ello, es necesario hacer énfasis en el reciclaje de los nutrientes contenidos en el estiércol para reducir los problemas de contaminación (Petersen *et al.*, 2007). Al respecto, la alimentación animal es fundamental en el control del flujo de nutrientes en los establecimientos ganaderos donde la dieta afecta la composición de las excretas. Por ejemplo, el estiércol es una fuente significativa de metales pesados que llegan al suelo, por lo que en Europa ya se regularon los niveles permitidos de cobre y zinc en la dieta del ganado y con ello se disminuyó su impacto negativo sobre el ambiente, aunque todavía falta por hacer, sobre todo en lo que se refiere al aporte excesivo de nutrientes hacia el suelo y los cuerpos de agua por el acarreo de nutrientes no aprovechados. Una forma de evitar lo anterior es cerrar el ciclo de nutrientes en los establos mediante la reducción del total de las aplicaciones de estiércol.

Según Rufino *et al.* (2007), los pequeños agricultores reconocen la importancia del estiércol en mantener la fertilidad del suelo, por lo que la eficacia de su manejo es clave para la productividad de su finca. De hecho, el manejo del estiércol durante su colecta y almacenaje impacta sobre el aporte de carbono y otros nutrientes en el suelo, donde las pérdidas de nitrógeno ocurren en todas las etapas del reciclaje del estiércol, recuperándose en casos extremos un kilogramo de nitrógeno por cada 15 kilogramos que son excretados por los animales.

El fósforo es una fuente potencial de contaminación de los cuerpos de agua, cuya concentración disuelta en la solución edáfica o en las partículas del suelo de los terrenos agrícolas y ganaderos, se correlaciona de forma directa y significativa con las aplicaciones de estiércol. Por ello, cuando se presenta la erosión este nutriente se acarrea y deposita en diferentes ecosistemas acuáticos, cuyo riesgo de movilidad a través de dicho mecanismo se incrementa considerablemente cuando están las deyecciones sobre la superficie del terreno o se incorporan de manera somera (Wortmann y Shapiro, 2008). No obstante lo anterior, la

agregación del suelo es incrementada por la adición de estiércol hasta en 65% y esto tiene un efecto positivo porque reduce el impacto de la erosión y el transporte del suelo, cuyo impacto perdura incluso por varios años (Wortmann y Walters, 2006). Como consecuencia de la adición de estiércol al suelo, la capacidad de almacenamiento de agua se incrementa significativamente y mejora la infiltración. Además aumenta considerablemente la concentración de fósforo en la superficie pero sin mayor efecto sobre una posible fuente de contaminación por la protección que ofrecen los agregados estables en agua (Six *et al.*, 2000). Por ello, el aporte de materiales orgánicos a través del reciclaje de la biomasa vegetal remanente de los pastizales (parte aérea y subterránea) y de las deyecciones de los animales en pastoreo es fundamental para el reciclaje de los nutrientes y la conservación del suelo. Sin embargo, hay una considerable variabilidad espacial por la distribución de las heces y la forma en que se desarrolla la vegetación en condiciones de agostadero (Bardgett y Wardle, 2010).

## **2.3 Relación del pastoreo con el ecosistema**

### **2.3.1. Efecto sobre las propiedades y características de los suelos**

La compactación del suelo suele ser la consecuencia de los cambios en la composición y cubierta vegetal de la que se suelen alimentar los animales en pastoreo, cuya causa en terrenos ganaderos se suele atribuir al pisoteo del hato y que es equivalente al tráfico de la maquinaria en los sitios agrícolas (Li *et al.*, 2005). Sin embargo, una frecuencia apropiada de pastoreo puede mejorar la calidad del mantillo, así como la aceleración del reciclaje de nutrientes a través de la biomasa microbiana edáfica. De hecho, el pastoreo induce la actividad biológica del suelo que a su vez estimula la mineralización neta del nitrógeno, fósforo y azufre que están contenidos en los materiales orgánicos del mismo. Por otro lado, si el pastoreo resulta excesivo se afectarán negativamente los contenidos de carbono total, biomasa microbiana, actividad enzimática y se reducirá el crecimiento vegetativo (Northup *et al.*, 1999) y de ahí el interés de diversos investigadores en entender cómo debe hacerse el manejo de los animales en pastoreo para evaluar cómo cambian las reservas orgánicas edáficas por efecto de dicha práctica ganadera (Powers y Veldkamp, 2005). Cabe mencionar que aún no se comprende plenamente hasta qué punto las diferentes prácticas de pastoreo alteran el ciclo del carbono, además de no estar entendido muy bien su efecto sobre la composición de la materia orgánica edáfica (Ganjegunte *et al.*, 2005). Al respecto, Ingram *et al.* (2007) consideran que la falta de una clara relación entre

las prácticas del pastoreo y el carbono del suelo se atribuye a la heterogeneidad edáfica, la inconsistencia e irregularidad en la profundidad de las muestras colectadas, así como al insuficiente entendimiento de la distribución del carbono y nitrógeno dentro del sistema de pastoreo.

De acuerdo con estudios recientes, las condiciones climáticas tienen un impacto mayor del que se creía sobre el balance del carbono en el suelo (Derner y Schuman, 2007). Se ha sugerido que durante los períodos de sequía se induce una mayor pérdida de carbono cambiando los terrenos de acumulación a fuentes de este compuesto hacia la atmósfera, mientras que cuando la precipitación pluvial excede el valor promedio hay mayor almacenamiento de carbono edáfico, aunque su estabilidad a largo plazo es desconocida.

Por los procesos en que participan, los microorganismos son fundamentales en el ciclo del carbono a través de la descomposición de los materiales orgánicos, la respiración (emanación de  $\text{CO}_2$ ), humificación y estabilización física, lo que repercute de manera significativa sobre el almacenamiento de carbono en las reservas orgánicas edáficas y por ende en la disponibilidad del nitrógeno, el cual es el factor más limitante en la productividad de las praderas después de la lluvia (Ingram *et al.*, 2007).

El contenido de carbono total del suelo está relacionado con la condición de la pastura y su utilidad para el pastoreo, donde la deforestación realizada con la finalidad de establecer terrenos ganaderos es un ejemplo de ello. Las reservas de carbono son controladas por el balance entre los aportes de residuos vegetales, las excretas de los animales y la tasa de respiración del suelo (Elmore y Asner, 2006), por lo que una alta intensidad de pastoreo implica una pérdida importante de carbono del suelo.

La disminución del contenido de materia orgánica edáfica trae consecuencias negativas sobre la actividad biológica del suelo, el reciclaje de nutrientes, así como la infiltración y almacenamiento de agua del suelo. La retención de carbono en los pastizales varía según las condiciones climáticas, la cual fluctúa entre 20 y 200 toneladas por hectárea entre zonas áridas y ambientes subhúmedos, lo que tiene un impacto directo sobre la composición de la comunidad vegetal y su estructura, así como en las características del suelo (Ingram *et al.*, 2007). Las variables anteriores son modificadas por efecto de la carga animal como su duración en pastoreo a través del desplazamiento de pastos C3 por C4 en praderas mixtas.

Según Bell *et al.* (2011), la integración de los cultivos con el ganado puede beneficiar la sustentabilidad y la productividad del sistema agrícola-ganadero, lo que se logra a través de evitar los daños que pudiesen causar los animales por el pisoteo al inducir la compactación de los terrenos, estos autores consideran que este efecto aún no se conoce completamente.

Las especies pequeñas como ovinos y caprinos tienen una presión estática similar a las llantas de la maquinaria agrícola, mientras que los bovinos ejercen el doble en el cuádruple de la superficie y por ende causan más daños durante el pastoreo, sobre todo durante el movimiento de la manada por la transferencia de la energía cinética y el peso distribuido en sus pezuñas (Greenwood and McKenzie, 2001).

Según Bell *et al.* (2011), las huellas del ganado durante el pastoreo es donde se incrementa la dureza y densidad aparente del suelo en los primeros 10 cm de profundidad, pero sin mayor efecto sobre los estratos inferiores, donde el efecto principal ocurre durante el período inicial del pisoteo. Esto a su vez repercute en la reducción de los macro poros, la conductividad hidráulica y la tasa de infiltración. A pesar de lo anterior, las consecuencias negativas del pisoteo sólo se reflejan en una capa somera cuyo efecto puede ser efímero si hay un subsecuente laboreo o movimiento del suelo para inducir o recuperar los procesos biológicos edáficos naturales, donde la etapa más crítica se presenta durante la época de lluvias por la vulnerabilidad del suelo en manifestar cambios de tipo estructural (Radford *et al.*, 2008), ya que se altera la densidad aparente, la distribución y tamaño de poros, así como la resistencia a la penetración, que son propiedades alteradas por la compactación del suelo (Pires da Silva *et al.*, 2003).

A pesar de la importancia de lo anterior, los estudios en detalle sobre esta materia aún son escasos y no hay suficientes evidencias experimentales para evaluar la severidad del impacto del pastoreo sobre las propiedades del suelo (Bell *et al.*, 2011), porque su modificación varía según la textura del suelo, tipo de vegetación, intensidad del pastoreo y humedad edáfica al momento en que están pastando los animales (Pires da Silva *et al.*, 2003).

Según Pires da Silva *et al.* (2003), la sustentabilidad del sistema pastoril depende de obtener y mantener la productividad de la pastura, lo cual se puede lograr a través de la implementación de pastoreos de corta duración, de ahí que el sobre pastoreo sea un agente causal del deterioro de los terrenos (Li *et al.*, 2007).

El pastoreo inadecuado y el excesivo pisoteo promueve la estabilidad de los agregados lo que origina el rompimiento de agregados y la pérdida de la estructura del suelo, haciéndolo más vulnerable a la erosión y a una menor tasa de recuperación de la vegetación (Li *et al.*, 2007), lo que hace entrar en un círculo negativo que repercute sobre la disminución de la productividad de los terrenos ganaderos. Al respecto, la pérdida de agregados se debe a su rompimiento por efecto del movimiento del suelo y sobre todo por el insuficiente aporte de materiales orgánicos. Por ello, se ha demostrado la ventaja de no laborear los terrenos para conservar las propiedades físicas edáficas y prevenir la erosión (Quiroga *et al.*, 2009), lo cual se atribuye principalmente por la menor tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo y los aportes de los residuos vegetales se transforman e incorporan de manera más eficaz a las reservas orgánicas edáficas, además de que el tamaño y la distribución de los agregados mejoran la capacidad de almacenamiento de agua y su conductividad hidráulica (Noellemeyer *et al.*, 2008).

El sobre pastoreo se considera a menudo como el agente causal de hacer los terrenos más vulnerables a la erosión que se presenta en áreas de temporal, donde se reconoce la dinámica natural de la relación entre la presión del pastoreo, la cubierta vegetal y la humedad edáfica (Rowntree *et al.*, 2004). Es evidente que un exceso causa la reducción de la cobertura vegetal y si el suelo está desnudo, será propenso entonces a su acarreo por el viento y el agua, pero en dado caso lo que resulta más relevante es relacionar la interacción pastoreo-erosión-clima, la cual no es lineal ni directa por la cantidad de variables involucradas.

### 2.3.2. Efecto sobre la vegetación

El efecto de los herbívoros sobre la diversidad de los pastizales varía según el tipo de animal, la intensidad de la defoliación y las características del ambiente, lo cual se modifica a su vez si se practica un pastoreo moderado o si se hace una defoliación no selectiva considerable, donde esto último afecta significativamente a la disminución de la productividad de la vegetación (Mcintyre *et al.*, 2003).

El impacto del pastoreo sobre la estructura y funcionamiento del ecosistema es un factor clave para definir el manejo más apropiado y la conservación de la comunidad vegetal. En las prácticas a llevar a cabo se debe hacer énfasis en la maximización sustentable a largo plazo de la producción del ganado así como en la rentabilidad de la operación, aunque desde el punto de vista de los que son

conservacionistas se busca la manera de mantener una alta biodiversidad (Stengerg *et al.*, 2000).

El impacto del pastoreo difiere ampliamente entre las distintas comunidades vegetales, donde esta variación se atribuye a la interacción entre la productividad primaria y la manera en que ha evolucionado el historial del pastoreo en una región determinada (Oesterheld y Semmartin, 2011). Dichos autores aseveran que a medida que se incrementa la productividad se modifica la composición de las especies vegetales de los terrenos en pastoreo. Los cambios son menores en los sistemas pastoriles de baja producción cuando el historial de apacentamiento ha sido prolongado, mientras que los sitios más productivos son independientes a la evolución del historial de manejo. De esta manera, la disponibilidad de especies se incrementa con la producción primaria, así como la intensidad del pastoreo, mientras que la fuerza de la interacción biótica que protege a las plantas contra los herbívoros disminuye. El dominio de competidores superiores limita la diversidad vegetal cuando se presenta una alteración mínima en la comunidad y la extinción local de especies no tolerantes condiciona la diversidad cuando ocurren modificaciones mayores. No obstante, la diversidad varía con la productividad del ecosistema (Schultz *et al.*, 2011).

El pastoreo puede influir en la estructura y organización de la vegetación en diferentes formas, una de ellas y de manera directa ocurre cuando se remueve el tejido vegetal de forma diferencial y selectiva, mientras que un efecto indirecto sobre la composición botánica y la diversidad de especies ocurre cuando se pastorea de manera selectiva a las especies dominantes, lo que reduce su vigor y presencia y favorece la dispersión de las que son menos competitivas pero a su vez más tolerantes contra el pastoreo (Stengerg *et al.*, 2000). Se considera en general que las plantas herbáceas nativas tienen menor tolerancia al pastoreo que las exóticas, aunque esto aún no ha sido aclarado de manera definitiva (del Pozo, 2006), sobre todo para los diferentes ambientes en donde se desarrolla la vegetación que se dispone para la alimentación animal y sigue sin entenderse que tanto se requiere alterar la vegetación para que se mantenga la diversidad de la comunidad vegetal en los ecosistemas praterales menos productivos (Schultz *et al.*, 2011).

Según McIntyre *et al.* (2003), las grandes empresas ganaderas tienen un efecto potencialmente amenazador sobre la conservación de la vegetación en las tierras de pastoreo y de los bosques subtropicales de Australia, puesto que han causado

la reducción de la riqueza y abundancia de especies en praderas naturales nativas, en algunos casos hasta lograr su extinción. De acuerdo a estos mismos autores, suponen que el pastoreo incrementa la densidad de las especies vegetales en áreas pequeñas, pero disminuye cuando se evalúa a una escala diferente (más de 3000 has) por la eliminación de especies susceptibles, aunque en realidad lo que ocurre es que hay mayor invasión de plantas exóticas, por lo que sugieren que para conservar la diversidad vegetal en las áreas de pastoreo es deseable proveer todos los niveles de presión de pastoreo a través del terreno, incluyendo áreas protegidas contra el apacentamiento del ganado.

Stenberg *et al.* (2000) investigaron el efecto del manejo del pastoreo sobre la estructura y composición de la comunidad vegetal, con la idea de formular planes de pastoreo a nivel regional para conservar la vegetación y hacer sustentable la producción animal. Estos autores encontraron que la variación estacional de la precipitación pluvial fue el factor dominante en la expresión de los diferentes tratamientos de pastoreo que evaluaron sobre la estructura de la comunidad vegetal, que fue más fuerte en los años lluviosos que en los períodos secos. A su vez, los potreros bajo un pastoreo continuo tuvieron mayor número de especies comparadas con aquellos sujetos a un apacentamiento estacional, indistintamente de la intensidad con la que los animales consumieron la vegetación. Las especies dominantes persistieron en todos los casos y se mantuvo estable a pesar de la variación de los regímenes de pastoreo y condiciones climáticas, comprobando que los terrenos ganaderos adaptados a estas prácticas se deben a su largo historial y la riqueza de las especies vegetales.

El pastoreo influye sobre los patrones de la riqueza de las especies a través de la alteración de la persistencia de otras plantas, la producción de semillas y la tasa de colonización. Al incrementar la probabilidad de extinción de algunas plantas palatables por la reducción de su sobrevivencia y viabilidad de sus semillas, también aumenta su tasa de formación y se reduce el mantillo, lo que favorece el establecimiento y riqueza de diversas especies, sobre todo plantas efímeras de tallo corto. Según del Pozo *et al.* (2006), con el pastoreo intensivo se favorecen las especies anuales de porte y hojas pequeñas, se incrementa la abundancia relativa de dicotiledóneas con hábito de crecimiento en forma de roseta con alta capacidad para dispersar sus semillas pero su follaje es fuerte y no palatable (Díaz *et al.*, 2001).

El pastoreo estimula a algunas especies vegetales nativas que coexisten en las praderas remanentes, pero en la mayoría de los casos disminuye su abundancia sobre todo cuando la frecuencia de la presencia de los animales se incrementa. Según Osem *et al.* (2002), el incremento o reducción de la diversidad de las plantas es función de la intensidad del pastoreo y de la productividad de las praderas. Para que aumente dependerá de un apacentamiento intermedio por la reducción de la cubierta de las especies dominantes, lo que favorecerá el crecimiento de las que son menos competitivas.

Los bajos niveles de pastoreo reducen la cubierta vegetal y crean sitios adecuados para otro tipo de semillas, que hace a las plantas más vulnerables al impacto de los animales respecto a las especies exóticas invasoras, lo que propicia un mayor desarrollo y abundancia de éstas últimas. Por ello, el pastoreo intensivo por sí mismo reduce la riqueza de las especies vegetales nativas, pero se ha comprobado que hacerlo de manera intermitente es lo que más conviene para la conservación de la comunidad vegetal (McIntyre y Martin 2001), por lo que esta estrategia de manejo es considerada la más viable para las praderas australianas (Dorrough *et al.*, 2004).

Schultz *et al.* (2011) investigaron lo que ocurre cuando se deja de pastorear una zona, haciendo énfasis a su efecto sobre la diversidad de especies vegetales y cómo esto influiría sobre la acumulación de biomasa a nivel regional. Estos autores encontraron que la abundancia y riqueza de especies disminuyó sólo en sitios donde la acumulación de biomasa fue igual o mayor a 4.5 kilogramos por metro cuadrado y se asoció positivamente con el contenido de nitrógeno y precipitación pluvial, mientras que se abatió en relación con la cubierta arbórea. Por ello, concluyen que la dominancia competitiva es el factor clave para regular la diversidad vegetal en un ecosistema de praderas productivo, pero no es probable que la alteración del dosel sea necesaria para mantener la diversidad en los sistemas menos productivos.

La riqueza de las especies vegetales se incrementa cuando se presentan altos niveles de pastoreo en ecosistemas ricos en nutrientes, pero disminuye si esto ocurre en zonas con escasas reservas nutrimentales, conceptualizándose esto en el modelo del equilibrio dinámico, donde el pico de la diversidad máxima se mueve hacia los altos niveles de alteración con el incremento en la productividad de la pradera (Kondoh, 2001).

A escala regional, la productividad de las praderas depende de la lluvia que se presenta de manera anual y como segundo factor se considera el contenido de nitrógeno en el suelo como la principal variable que es capaz de modificar la productividad de la biomasa vegetal. En contraste, a nivel de potrero la riqueza de las especies vegetales se correlaciona mejor con la biomasa aérea que con la productividad o incluso con la abundancia en reservas nutrimentales edáficas. Esto se atribuye a que hay una relación más directa entre la biomasa y la disponibilidad de la luz, así como con las interacciones competitivas entre las plantas. Por ello, la tasa de acumulación de la vegetación sobre la superficie en ausencia de pastoreo está relacionada con la frecuencia e intensidad de alteración requeridas para mantener la diversidad de las praderas (Cingolani *et al.*, 2005).

La alteración de la comunidad vegetal se ha considerado como crucial para mantener la diversidad de la biomasa en praderas con regímenes escasos de lluvia y de clima templado, aunque no se ha demostrado que haya una respuesta significativa en cuanto a la riqueza de la misma cuando se deja de pastorear en este tipo de climas (Conway, 2000) ni se ha definido aún en qué proporción se recupera y acumula la biomasa de la región cuando ya no continúa el pastoreo (Morgan, 2007).

#### **2.4 Resumen de la revisión de literatura**

El pastoreo es y ha sido necesario para el desarrollo de la ganadería en México, el cual se clasifica como intensivo y extensivo, siendo este último el más recurrente para los productores pecuarios en nuestro país. Desafortunadamente, esta práctica en ocasiones se ha asociado con la degradación del suelo y pérdida de recursos naturales, por el manejo del ganado en los pastizales o potreros llegando a invadir y destruir ambientes naturales, muchas veces por desconocimiento o por la falta de recursos económicos de los ganaderos para alimentar sus animales.

El pastoreo puede ser definido como un sistema que a su vez está integrado por otros subsistemas, como el suelo que es un medio natural que actúa como soporte para las plantas y las dota de nutrientes necesarios para su crecimiento. Mientras que la vegetación es fuente de alimento para los animales y abastece de material vegetativo al suelo, siendo una fuente principal de materia orgánica, por otra parte la cubierta vegetal protege al suelo de la erosión, manteniendo y mejorando su estructura. El ganado en contraste, por medio del pisoteo rotura la capa superficial del suelo, contribuyendo a la reintegración de materia orgánica,

remueve la vegetación presente en el terreno acelerando procesos de descomposición de plantas e induce el rebrote de nuevas plantas, además reintegra nutrientes por medio de deyecciones de estiércol y orina.

El impacto en el suelo y vegetación con pastoreo intensivo y extensivo ha sido evaluado por diferentes investigadores, quienes han señalado que esta práctica cuando se realiza de manera continua y sin restricción es muy factible la compactación del suelo. Provocando una reacción en cadena, limitando el reciclaje de nutrientes, afectando los procesos biológicos edáficos y en consecuencia el crecimiento de vegetación no será posible. Por otra parte, la productividad del pastizal se ve afectada por condiciones climáticas como la lluvia, así como por el contenido de nutrientes en suelo que intervienen en la composición botánica y producción de vegetación.

Por lo anterior, se han planteado otras alternativas de alimentar al ganado en pastoreo, como el pastoreo con enfoque holístico que pretende preservar los recursos naturales necesarios en el desarrollo de la actividad pastoril y por otra proporcionar alimento para los animales.

A raíz de esta investigación, han surgido otras inquietudes en donde se requiere evaluar cómo se modifica la población de microorganismos en áreas con y sin pastoreo, además de cuantificar la descomposición de vegetación con y sin perturbación por el ganado. Considerando las características del estiércol de las diferentes especies animales, es conveniente elaborar enmiendas mediante combinaciones de estiércol para conocer su impacto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas en el suelo, así como su efecto productivo en el crecimiento de vegetación.

### **III. Objetivos e hipótesis**

#### **3.1 Objetivos**

Analizar el impacto del pastoreo con enfoque holístico sobre las características del suelo, contenido de nitrógeno de la vegetación y la respuesta productiva de una manada mixta en un bosque de encino.

1. Evaluar la fertilidad química de un suelo forestal en áreas con y sin pastoreo de una manada mixta.
2. Analizar el contenido de nitrógeno de la vegetación natural en áreas con y sin pastoreo de una manada mixta en un suelo forestal.
3. Cuantificar la respuesta productiva de una manada mixta en pastoreo con enfoque holístico dentro de un bosque de encino.

#### **3.2 Hipótesis**

El pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino con una manada mixta no degrada el suelo ni afecta la diversidad vegetal por el tiempo de residencia de los animales en pastoreo y cubre sus necesidades de mantenimiento.

1. Las características químicas (pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo y potasio) no se modifican significativamente por la presencia de la manada con pastoreo holístico, en comparación a la condición natural.
2. La diversidad vegetal en un bosque de encino cubre las necesidades de mantenimiento del ganado con pastoreo holístico y permite la recuperación de la vegetación natural a través de nuevos rebrotes.
3. El pastoreo holístico con una manada mixta cubre los requerimientos de mantenimiento nutricional de los animales.

## IV. Materiales y Métodos

### 4.1 Ubicación y marco físico del sitio experimental

La investigación de campo tuvo una duración de un año (de febrero de 2008 a enero de 2009) y se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Agrosilvopastoril (CEIEPASP), de la FMVZ de la UNAM, cuyas instalaciones se encuentran en el municipio de Chapa de Mota, Estado de México, entre las coordenadas geográficas 99°30' de longitud oeste y 19°49' latitud norte a 2560 msnm de altitud promedio. En la Figura 1 se muestra una imagen de satélite de la zona de estudio.

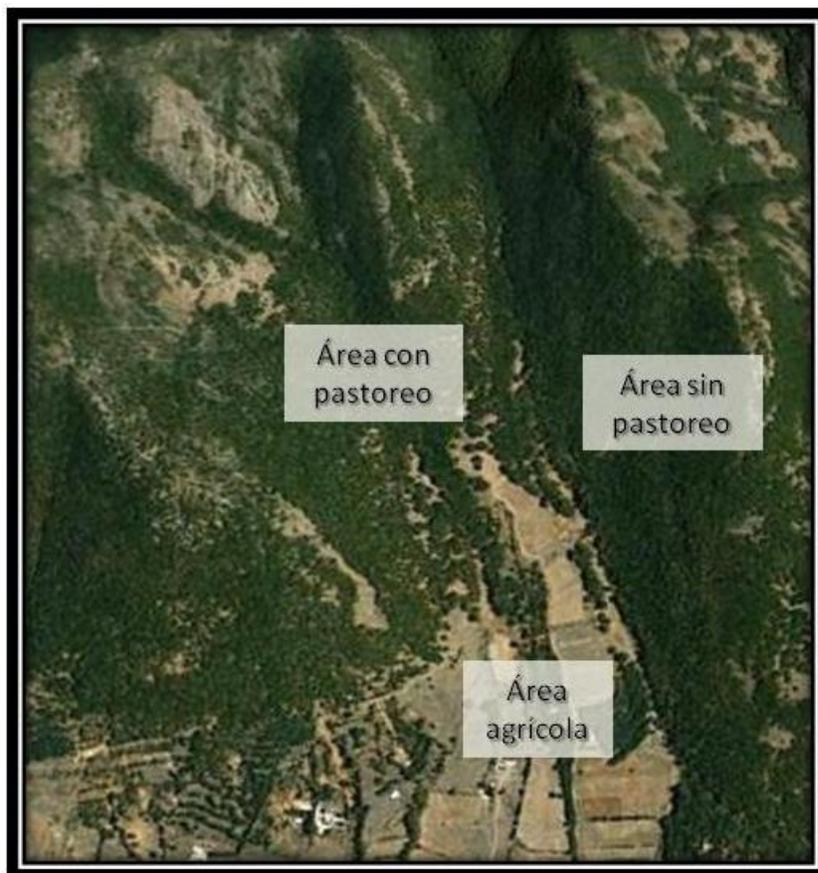


Figura 1. Imagen de satélite del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota donde se llevó a cabo el presente estudio, mostrando las áreas con y sin pastoreo, así como la parte agrícola. Fuente: imagen de Google Earth.

En el área de estudio predominan los Phaeozems de tipo húmico (INEGI, 1988), los cuales presentan un horizonte superficial oscuro rico en humus con materia

orgánica mayor a 1% en el horizonte A, sin carbonatos secundarios y en la parte superior del perfil muestran una alta saturación con bases (>50%), con material parental no consolidado. La vegetación predominante es de tipo pastizal y de bosque de encino, lo cual es característico de este tipo de suelos cuando se encuentra en condiciones naturales o no cultivadas (IUSS, 2007), aunque por la topografía de la zona, la erosión hídrica en la región ya ocasionó el afloramiento de horizontes subyacentes en algunos sitios (Figura 2).

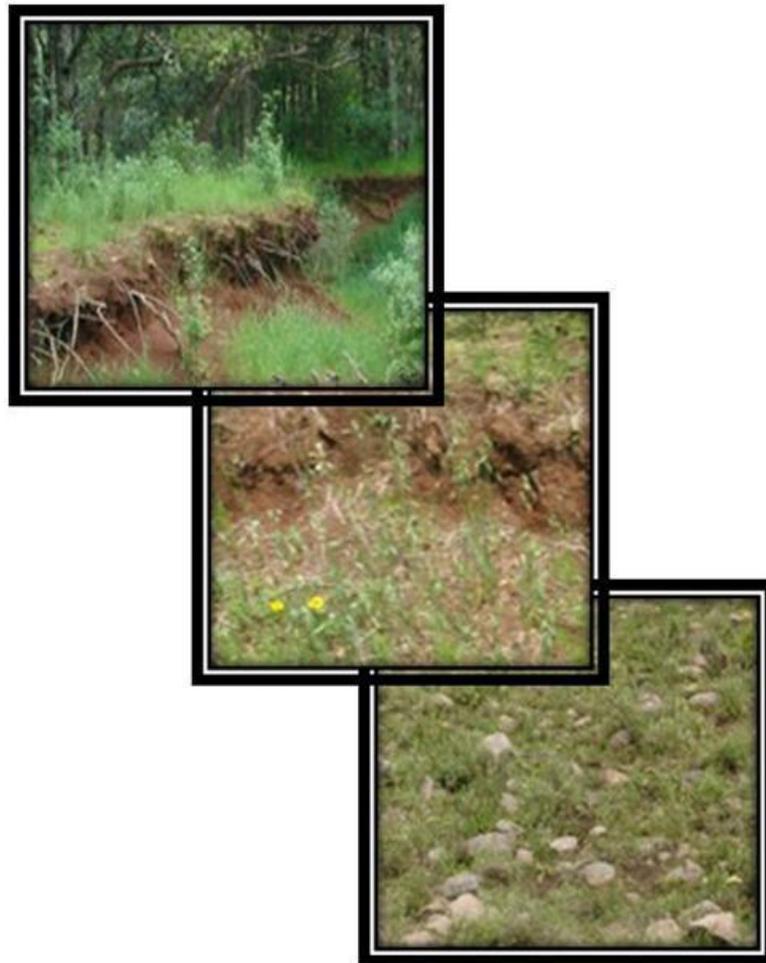


Figura 2. Erosión hídrica en los suelos del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota, la cual es incipiente en algunos sitios, en otros se aprecia el afloramiento de los horizontes subyacentes e incluso ya es evidente la aparición del material original.

El clima de la región es templado subhúmedo con lluvias en verano, en la cual el promedio de la precipitación total anual es de 1000 mm y la temperatura media

mínima y máxima es de 3°C y 22°C al año, respectivamente (García, 1988). Dada la relevancia de las condiciones climáticas, se registraron en forma diaria entre el 1 de febrero de 2008 y el 31 de enero de 2009 los valores de precipitación, humedad relativa y temperatura (mínima, media y máxima) en la estación climatológica del campo experimental del CEIEPASP. Los datos de lluvia y humedad ambiental se reportan en la Figura 3

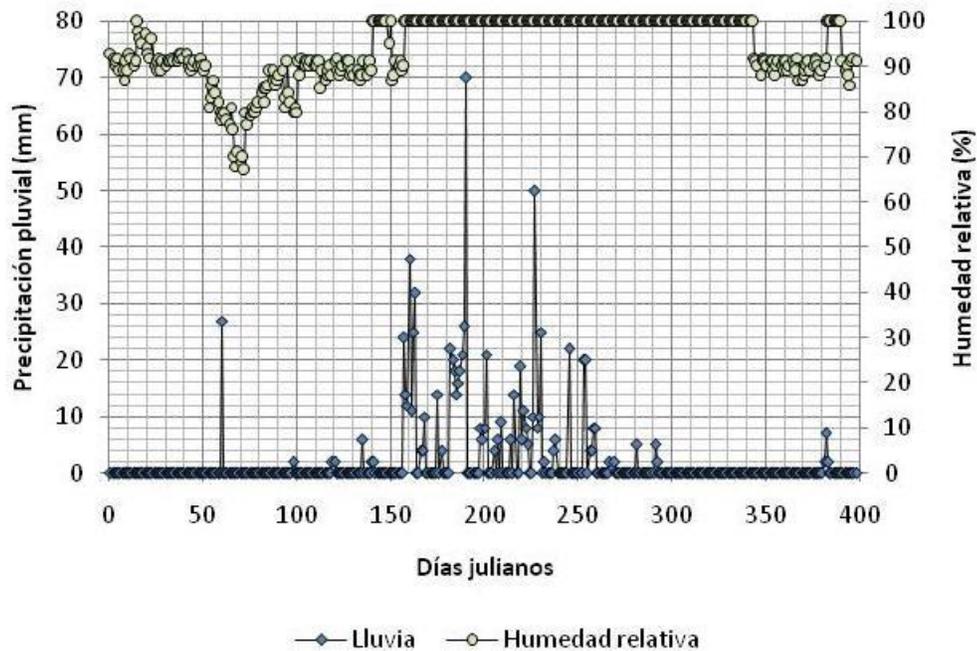


Figura 3. Precipitación pluvial y humedad relativa diarias registradas durante el desarrollo del estudio en la estación climatológica del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

De los 396 días en que se registró la variable de la lluvia, en 330 no hubo precipitación pluvial que equivale a 83% del tiempo en que duró el experimento de campo. A su vez, la temporada de lluvia inició en junio y terminó en septiembre de 2008, pero sólo abarcó un total de 66 días efectivos que correspondería a captar un promedio de 12.4 mm diarios durante dicho lapso en donde precipitó 820 mm, 18% menos que la media histórica registrada para la región. En el Cuadro 4 se presentan la distribución de frecuencia de los días con un volumen de lluvia específico en la zona de estudio.

Cuadro 4. Distribución de frecuencia de los días con un volumen de lluvia específico en la zona de estudio, registrados en la estación climatológica del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Registro de febrero de 2008 a enero de 2009		Sólo registro de los días con lluvia	
Rango	DF		
mm	%	mm	%
0	83	<6	42
<5	6	6 a 12	21
5 a 10	4	12 a 18	11
10 a 15	2	18 a 24	14
>15	5	24 a 70	12
<b>396 días en total</b>		<b>66 días en total</b>	

En la Figura 4 se muestra la variación diaria de la temperatura mínima, media y máxima registrada durante 396 días en la estación climatológica del CEIEPASP, lapso que corresponde a la duración del experimento de campo llevado a cabo en el sitio experimental de dicha Institución.

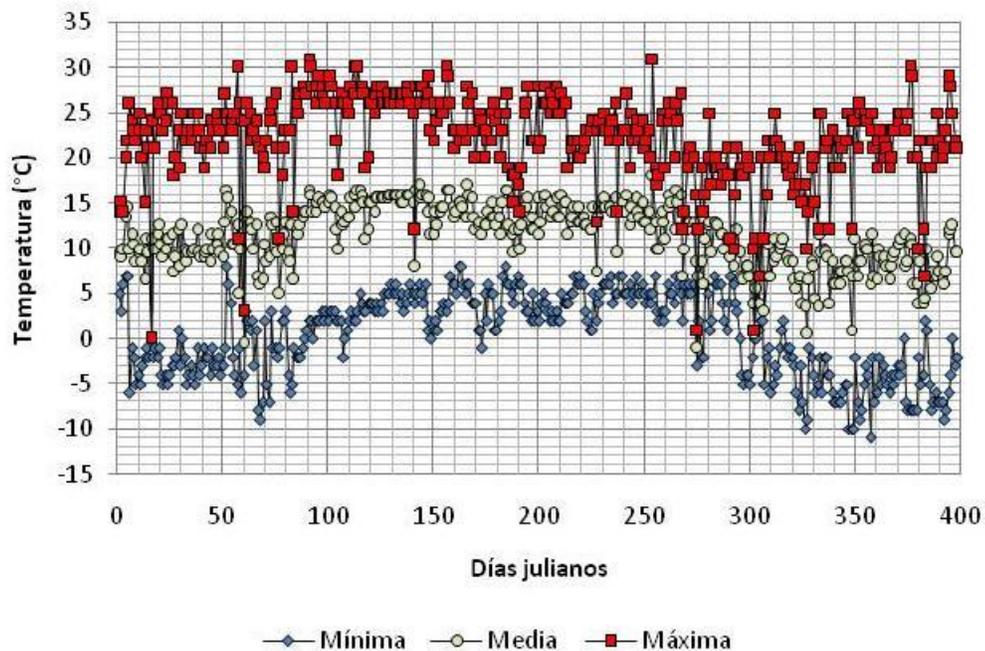


Figura 4. Temperatura mínima, media y máxima diaria registrada durante el desarrollo del estudio en la estación climatológica del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

La temperatura promedio anual mínima, media y máxima fue de 0.5°C, 11.3°C y 22.2°C, respectivamente, los cuales coinciden con los registros históricos de la región en estudio. Cabe mencionar que la oscilación térmica fue considerable, donde la mínima fluctuó entre -11.0°C y 8.0°C, mientras que la máxima extrema fluctuó entre 0.0°C y 31.0°C. Para mayor detalle de esta información, se elaboró el Cuadro 5 donde se resume la variación de las condiciones de temperatura en el área de estudio.

Cuadro 5. Distribución de frecuencia de la temperatura mínima, media y máxima en la zona de estudio, registrada en la estación climatológica del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Temperatura Mínima		Temperatura Media		Temperatura Máxima	
Rango	DF	Rango	DF	Rango	DF
°C	%	°C	%	°C	%
<-6	12	<6	8	<18	15
-6 a 0	33	6 a 9	19	18 a 21	21
0 a 3	23	9 a 12	28	21 a 24	28
3 a 6	28	12 a 15	31	24 a 27	27
6 a 9	5	>15	14	>27	9

Dadas las condiciones del marco físico, la vegetación del entorno corresponde a un bosque latifoliado esclerfolio y caducifolio, cuyas especies dominantes son encinos (*Quercus Rugosa* y *Quercus Crasifolia*), tejocote (*Crataegus mexicana*) y madroño (*Arbutus xalapensis*). El estrato de gramíneas comprende especies de los géneros *Bromus Piptochaetium*, *Muhlenbergia*, *Bouteloua*, *Stipa* y *Eragrostis*, mientras que las leguminosas corresponden a los géneros *Clitoria* y *Centrosema* (Casas, 2001).

#### 4.2 Efecto del pastoreo sobre las condiciones edáficas, de vegetación y producción animal.

Para evaluar el impacto del pastoreo en bosque sobre las propiedades químicas edáficas, se colectaron 201 muestras de suelo compuestas de 5 submuestras cada una, 99 en áreas con pastoreo y 102 en áreas sin pastoreo, mismas que se tomaron a tres diferentes estratos (0 a 5 cm, 5 a 10 cm y 10 a 20 cm), las cuales se secaron al aire y a la sombra, para posteriormente molerlas con un mazo de madera y pasarlas por un tamiz de 2 mm para prepararlas para su análisis. En la

Figura 5 se presenta un ejemplo del procedimiento seguido durante la colecta de las muestras de suelo.



Figura 5. Fotografía del procedimiento seguido para la colecta de las muestras de suelo durante el desarrollo del estudio en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Debido a la topografía del área en estudio, la colecta de las muestras de suelo se distribuyó en cuatro tipos de pendiente del terreno (<5%, 5 a 15%, 15 a 30% y >30%), tratando que los sitios de muestreo fueran razonablemente homogéneos (Figura 6). Las cotas más altas de los terrenos con y sin pastoreo estuvieron prácticamente equidistantes hacia la zona plana del área de estudio, con 470 m en promedio de distancia en cada una, mientras que en línea recta se prolonga la zona a 1.5 km para cada caso, por lo que en total se abarcó un área aproximada de 60 hectáreas en la parte de pastoreo e igual superficie en donde no se permite el paso de los animales.

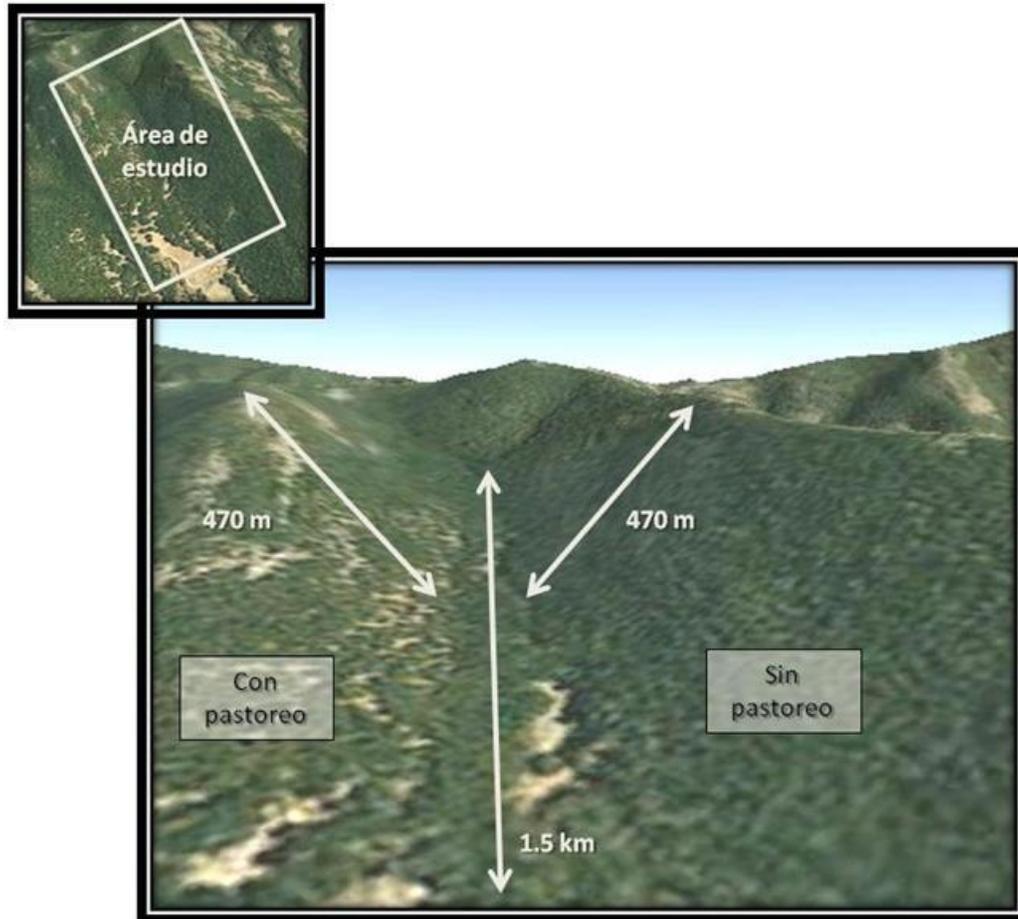


Figura 6. Imagen de satélite del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota donde se muestra el área donde se colectaron las muestras del estudio. Fuente: imagen de Google Earth.

Las variables químicas edáficas que se consideraron fueron la reacción del suelo o pH (relación suelo:agua 1:2), conductividad eléctrica (relación suelo:agua 1:5), nitrógeno extractable con 0.01M  $\text{CaCl}_2$  (Fox y Piekielek, 1978), fósforo extraído con  $\text{NaH}_2\text{CO}_3$  (método Olsen) y potasio intercambiable mediante el método del acetato de amonio a una concentración 1N y pH 7. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Ciencias Ambientales (Colegio de Postgraduados). Los resultados obtenidos se evaluaron mediante técnicas de regresión simple, mientras que la comparación de medias se hizo con la  $t$  de Student ( $p \leq 0.05$ ) y la prueba de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Para conocer y evaluar la calidad del alimento que consumió el ganado durante el presente estudio, se recolectaron muestras quincenalmente de la vegetación

lábil y no lábil en áreas con pastoreo en estratos herbáceos, arbustivos y arbóreos. Con fines de comparación, esto mismo también se realizó en las zonas donde no se permite el apacentamiento. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de la colecta de la biomasa en el área de estudio.



Figura 7. Fotografía del procedimiento seguido para la colecta de las muestras de biomasa vegetal durante el desarrollo del estudio en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Las muestras de la biomasa vegetal colectada se procesaron y analizaron en el Laboratorio de Ciencias Ambientales del Colegio de Postgraduados con base en los procedimientos señalados por Ryan et al., (2001). Previo a las determinaciones químicas, primero se pesaron para obtener el peso fresco y después se secaron

en una estufa de circulación de aire forzado a 65°C de temperatura hasta llegar a un peso constante (aproximadamente entre 24 y 48 horas) e inmediatamente se registró el valor obtenido como materia seca. En seguida se molieron y pasaron por un tamiz de 40 mallas para posteriormente determinar la concentración de nitrógeno total en el tejido. Los resultados que se obtuvieron se evaluaron mediante técnicas de regresión simple y como técnicas estadísticas se usó la comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Se trabajó con una manada mixta integrada por 160 individuos (jóvenes y adultos), la cual estuvo formada por 8 cerdos raza York, Hampshire y Criollos, 20 vacas Criollas y cruza de Holstein y Limousine, 90 borregos de raza Dorset, 2 caballos cruza de Criollo y Cuarto de Milla, y 40 cabras de la raza Alpina. Los animales diariamente se arrearon al bosque en un horario de pastoreo de 8:00 de la mañana a 5 de la tarde, recorriendo trayectos de 3 a 5 km al día. Mediante un cerco eléctrico se les obligó a alimentarse de la vegetación nativa en nueve cuadrantes específicos de 100 m<sup>2</sup> durante 50 minutos y posteriormente fueron desplazados a la siguiente área de pastoreo.

Para estimular el consumo de forraje se elaboró una torta ganadera, la cual se aplicó sobre la vegetación fibrosa para removerla, así como el tirol ganadero a base de melaza que se esparció en hierbas y arbustos con el propósito de provocar que el ganado se abalanzara en un espacio específico. En el Cuadro 6 se muestra la composición de la torta ganadera y tirol ganadero y en la Figura 8, la aplicación de tirol ganadero con la tirolera. El pastoreo se realizó en sitios que disponían de forraje sin permitir que el ganado regresara al área pastoreada y así propiciar la tasa de recuperación de la biomasa vegetal. A través de este procedimiento (que es el propuesto por el personal de investigación del CEIEPASP) se designaron espacios en que hubiese forraje o se requiriera remover la vegetación senescente.

Se colectaron muestras de estiércol de cada una de las especies animales en diferentes momentos del día, iniciando en el corral (8 de la mañana) y durante el pastoreo en el bosque (10 de la mañana, al mediodía y 3 de la tarde). Las muestras de estiércol se procesaron en el Laboratorio de Ciencias Ambientales del Colegio de Postgraduados. Previo a su análisis químico se obtuvo el peso fresco para después secar las muestras en una estufa de circulación de aire forzado a 65°C hasta llegar a un peso constante (aproximadamente entre 24 y 48 horas), valor que se registró como peso seco.

Cuadro 6. Composición de la torta ganadera y el tirol ganadero aplicados durante el pastoreo de la manda mixta en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Torta ganadera		Tirol ganadero	
Ingredientes	Composición	Ingredientes	Composición
Rastrojo de avena o maíz	40%	Agua	40%
Melaza	40%	Melaza	40%
Concentrado comercial (16% de proteína cruda)	16%	Concentrado comercial	16%
Minerales	2%	Minerales	2%
Sal común	2%	Sal común	2%
Total	100%	Total	100%



Figura 8. Fotografía del procedimiento para estimular el consumo de vegetación fibrosa a través de una tiolera, durante el pastoreo de la manada en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Una vez secas las muestras de estiércol, se molieron y pasaron por un tamiz de malla 40 para determinar la concentración de nitrógeno total. Los resultados se evaluaron mediante técnicas de regresión simple y como técnica estadística se empleó la comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ). En la Figura 9 se presenta una serie de fotografías de la manada en distintos momentos del día, desde su estancia en el corral y durante el pastoreo en el área de estudio.



Figura 9. Fotografía de la manada en pastoreo en diferentes áreas, arreo y estancia en corrales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

La respuesta productiva de la manada se llevó a cabo mediante registros mensuales de la ganancia de peso, natalidad, mortalidad, destetes y ventas por especie animal.

## V. Resultados y Discusión

### 5.1 Efecto del pastoreo sobre las condiciones edáficas

El pH de la zona de estudio es de reacción ácida, independientemente del manejo del terreno y ubicación topográfica, cuyos extremos absolutos fluctuaron entre 4.2 y 6.5, con un valor de 5.5 en promedio. En el Cuadro 7 se presenta la reacción del suelo de las muestras analizadas.

Cuadro 7. Valores de pH en las muestras colectadas a diferentes profundidades y pendientes del terreno, en sitios en condición natural (SP) y pastoreo de cinco especies de animales (CP) en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Parámetro	Profundidad 0-5 cm				Profundidad 5-10 cm				Profundidad 10-20 cm			
CP	<5%	5-15%	15-30%	>30%	<5%	5-15%	15-30%	>30%	<5%	5-15%	15-30%	>30%
<b>Mínimo</b>	4.4	4.3	5.2	4.9	4.2	4.3	4.8	4.6	4.2	4.3	4.6	4.5
<b>Promedio</b>	5.2	5.4	5.6	5.7	5.0	5.3	5.4	5.4	5.0	5.2	5.3	5.3
<b>Máximo</b>	6.3	6.3	6.1	6.0	6.1	6.5	5.8	5.9	6.1	6.2	5.5	5.9
SP												
<b>Mínimo</b>	5.2	5.1	5.1	5.0	4.9	5.4	4.8	4.9	4.9	5.5	5.0	4.9
<b>Promedio</b>	5.5	5.9	5.9	5.9	5.2	5.8	5.5	5.6	5.2	5.8	5.5	5.5
<b>Máximo</b>	5.8	6.5	6.4	6.4	5.7	6.5	6.1	6.1	5.8	6.5	6.0	5.9

El pastoreo suele tener un impacto directo sobre las primeras capas del suelo y no tanto hacia los estratos inferiores, por ello, para verificar si hubo diferencias de pH como consecuencia de la profundidad en la que se colectaron las muestras, se agruparon de acuerdo al sitio (con o sin pastoreo) y se compararon los valores obtenidos a través de regresión lineal simple (0-5 cm vs 5-10 cm; 0-5 cm vs 10-20 cm y 10-20 cm vs 5-10cm), indistintamente de la pendiente del terreno estudiada. Los resultados se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Ecuaciones de regresión de la variación de pH por profundidad en que se colectó la muestra de suelo en sitios en condición natural y en los que se pastorearon cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Ecuación	Con Pastoreo		Sin Pastoreo	
<b>10=f(5)</b>	$y = 0.960x$	$R^2 = 0.778$	$y = 0.941x$	$R^2 = 0.633$
<b>20=f(5)</b>	$y = 0.949x$	$R^2 = 0.684$	$y = 0.936x$	$R^2 = 0.468$
<b>10=f(20)</b>	$y = 0.988x$	$R^2 = 0.873$	$y = 0.994x$	$R^2 = 0.709$

La tendencia del pH por profundidad del muestreo fue prácticamente la misma en todos los casos, sin que se hubiese observado una diferencia significativa incluso comparando entre sitios con y sin pastoreo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación de medias de los valores de pH por pendiente del terreno (condición natural y pastoreo) en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.

Terreno muestreado	Pendiente			
	<5%	5-15%	15-30%	>30%
Con pastoreo	5.1a	5.3b	5.4a	5.5a
Sin pastoreo	5.3a	5.8a	5.6a	5.6a

Medias con distinta literal en la misma hilera columna indican diferencia significativa entre áreas con y sin pastoreo ( $p < 0.05$ ).

Para verificar los resultados obtenidos, se hizo un análisis por profundidad del suelo y pendiente del terreno separando las muestras por condición natural y pastoreo para obtener las ecuaciones de regresión correspondientes (Cuadro 10).

Cuadro 10. Ecuaciones de regresión de la variación de pH por profundidad y de la pendiente del terreno en que se colectó la muestra de suelo en sitios en condición natural y en los que se pastorearon cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Pendiente	Prof	Con Pastoreo		Sin Pastoreo	
		Ecuación	R <sup>2</sup>	Ecuación	R <sup>2</sup>
15=f(5)	0-5	$y = 1.006x$	0.927	$y = 1.440x - 2.333$	0.901
30=f(5)	0-5	$y = 0.391x + 3.556$	0.365	$y = 1.639x - 3.087$	0.777
45=f(5)	0-5	NS	NS	$y = 1.421x - 1.962$	0.993
30=f(15)	0-5	$y = 0.603x + 2.158$	0.552	$y = 0.842x + 1.148$	0.784
45=f(15)	0-5	$y = -0.481x + 8.349$	0.331	$y = 0.695x + 1.955$	0.708
45=f(30)	0-5	$y = -0.511x + 8.509$	0.239	$y = 0.858x + 0.727$	0.848
15=f(5)	5-10	$y = 1.031x + 0.001$	0.840	$y = 0.741x + 1.649$	0.999
30=f(5)	5-10	NS	NS	$y = 0.869x + 1.027$	0.246
45=f(5)	5-10	NS	NS	$y = 1.285x - 1.253$	0.798
30=f(15)	5-10	$y = 0.371x + 3.348$	0.347	$y = 0.477x + 2.794$	0.221
45=f(15)	5-10	NS	NS	$y = 0.741x + 1.335$	0.321
45=f(30)	5-10	NS	NS	$y = 0.931x + 0.428$	0.625
15=f(5)	10-20	$y = 0.969x + 0.198$	0.907	$y = 0.921x + 0.537$	0.998
30=f(5)	10-20	NS	NS	NS	NS
45=f(5)	10-20	NS	NS	NS	NS
30=f(15)	10-20	NS	NS	NS	NS
45=f(15)	10-20	NS	NS	NS	NS
45=f(30)	10-20	$y = 0.684x + 1.608$	0.310	$y = 1.004x - 0.161$	0.428

La distribución de los puntos experimentales se debe a la variación en el tiempo como consecuencia de los cambios en el pH entre febrero de 2008 y enero de 2009, lapso en el que se colectaron las muestras de suelo estudiadas. En las comparaciones donde el coeficiente de determinación fue bajo o que no hubo significancia de la ecuación, se debió a que el espacio de exploración no fue lo suficiente como para detectar una tendencia clara en la reacción del suelo, sin importar la época del año o el contraste entre condiciones de humedad por lluvias o estiaje (Cuadro 11).

Cuadro 11. Promedio mensual de pH en terrenos con condición natural (SP) y pastoreo (CP) de cinco especies de animales en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.

Sitio	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene
	Valores de pH											
<b>CP</b>	5.8	5.4a	5.4a	5.5a	5.7a	4.3b	5.6a	5.3a	5.9a	5.3a	5.0a	5.2a
<b>SP</b>	5.2	6.0a	5.7a	6.3a	5.8a	5.4a	5.8a	5.8a	6.0a	5.7a	5.0a	5.5a

Medias con distinta literal en la misma hilera columna indican diferencia significativa entre áreas con y sin pastoreo ( $p < 0.05$ ).

Con base en los resultados obtenidos, se observó que la reacción del suelo no se afectó por causa del pastoreo en el sitio estudiado, ya que los terrenos donde apacienta el ganado fueron estadísticamente iguales a los de la condición natural sin variar la época del año, profundidad ni pendiente del suelo.

El ámbito de exploración de la conductividad eléctrica fluctuó entre  $0.02 \text{ dS m}^{-1}$  y  $1.06 \text{ dS m}^{-1}$ , con un promedio de  $0.24 \text{ dS m}^{-1}$ . En el Cuadro 12 se presenta la concentración de sales solubles de las muestras de suelo analizadas.

Cuadro 12. Conductividad eléctrica en muestras de suelo colectadas a diferentes profundidades y pendientes en sitios en condición natural (SP) y pastoreo de cinco especies (CP) en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.

Parámetro	Profundidad 0-5 cm				Profundidad 5-10 cm				Profundidad 10-20 cm			
	<5%	5-15%	15-30%	>30%	<5%	5-15%	15-30%	>30%	<5%	5-15%	15-30%	>30%
<b>CP</b>												
<b>Mínimo</b>	0.03	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
<b>Promedio</b>	0.22	0.30	0.28	0.32	0.17	0.25	0.20	0.25	0.16	0.21	0.23	0.23
<b>Máximo</b>	0.54	0.98	0.78	0.84	0.43	0.94	0.58	0.84	0.38	0.64	0.64	0.74
<b>SP</b>												
<b>Mínimo</b>	0.04	0.05	0.05	0.07	0.04	0.04	0.03	0.05	0.02	0.03	0.04	0.04
<b>Promedio</b>	0.20	0.17	0.32	0.32	0.13	0.14	0.27	0.32	0.12	0.12	0.29	0.29
<b>Máximo</b>	0.64	0.76	0.96	1.03	0.43	0.56	0.76	0.92	0.42	0.47	1.06	0.90

El valor de la conductividad eléctrica es un indicador de la presencia de sales solubles en el suelo y en todos los casos se detectó que no hay problemas que estén asociados con la salinidad del terreno. Cuando esto ocurre, suele haber un gradiente en relación inversa a la profundidad del suelo, por lo que se procedió a evaluar si hubo diferencias en la concentración de sales en diferentes capas del perfil y para ello se agruparon los suelos colectados de acuerdo al sitio (con o sin pastoreo) y se compararon los valores obtenidos mediante regresión lineal simple (0-5 cm vs 5-10 cm; 0-5 cm vs 10-20 cm y 10-20 cm vs 5-10cm), indistintamente de la pendiente del terreno. Los resultados se presentan en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Ecuaciones de regresión de la variación de la conductividad eléctrica por profundidad en que se colectó la muestra de suelo en sitios en condición natural y en los que se pastorearon cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Ecuación	Con Pastoreo		Sin Pastoreo	
<b>10=f(5)</b>	$y = 0.801x$	$R^2 = 0.927$	$y = 0.867x$	$R^2 = 0.935$
<b>20=f(5)</b>	$y = 0.744x$	$R^2 = 0.958$	$y = 0.860x$	$R^2 = 0.910$
<b>10=f(20)</b>	$y = 0.895x$	$R^2 = 0.900$	$y = 0.983x$	$R^2 = 0.941$

Como era de esperarse, las sales solubles disminuyeron con la profundidad de la colecta de la muestra, de tal manera que en los sitios con pastoreo hay entre 20% y 25% menos sales en los estratos de 5-10cm y 10-20cm en comparación a lo que se detectó en la capa superficial (0-5cm). En los terrenos donde no se permite el paso del ganado también se encontró la misma tendencia, aunque la diferencia entre la parte más profunda del suelo estudiado con la de la superficie fue aproximadamente 15%. En los Cuadros 14 y 15 se presentan la comparación de la conductividad eléctrica entre sitios con y sin pastoreo.

Cuadro 14. Comparación de medias de los valores de conductividad eléctrica por pendiente del terreno (condición natural y pastoreo) en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Terreno muestreado	Pendiente			
	<5%	5-15%	15-30%	>30%
<b>Con pastoreo</b>	0.18a	0.25a	0.24b	0.26b
<b>Sin pastoreo</b>	0.15a	0.14b	0.29a	0.31a

Medias con distinta literal en la misma hilera columna indican diferencia significativa entre áreas con y sin pastoreo ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 15. Ecuaciones de regresión de la comparación de la conductividad eléctrica entre las muestras colectadas a tres profundidades en condiciones naturales (SP) y pastoreo (CP) en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Profundidad del suelo	Ecuación SP=f(CP)	R <sup>2</sup>
<5 cm	y = 1.14x	R <sup>2</sup> = 0.87
5-10 cm	y = 1.35x	R <sup>2</sup> = 0.88
10-20 cm	y = 1.30x	R <sup>2</sup> = 0.76

La tendencia de la variación de la conductividad eléctrica entre ambas condiciones (sitios con y sin pastoreo) es estrecha (entre 76% y 88%), con mayor propensión a mayor acumulación de sales solubles (14% a 35%) en los terrenos sin alteración por la presencia del ganado, en comparación a lo detectado en los suelos donde se pastorea, siendo estas diferencias significativas desde el punto de vista estadístico. Los cambios de la salinidad por profundidad y pendiente del terreno se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Ecuaciones de regresión de la variación de conductividad eléctrica por profundidad y pendiente del terreno en sitios en condición natural y pastoreo de cinco especies de animales en el campo CEIEPASP, Chapa de Mota.

Pendiente	Prof	Con Pastoreo		Sin Pastoreo	
		Ecuación	R <sup>2</sup>	Ecuación	R <sup>2</sup>
%	Cm	Ecuación	R <sup>2</sup>	Ecuación	R <sup>2</sup>
15=f(5)	0-5	y = 1.931x	0.954	y = 0.554x + 0.036	0.832
30=f(5)	0-5	y = 1.120x	0.809	y = 0.872x + 0.017	0.998
45=f(5)	0-5	NS	NS	y = 0.335x + 0.056	0.924
30=f(15)	0-5	y = 0.868x	0.938	NS	NS
45=f(15)	0-5	y = 1.086x	0.966	y = 1.372x - 0.018	0.988
45=f(30)	0-5	y = 1.077x	0.991	y = 0.823x + 0.013	0.777
15=f(5)	5-10	y = 2.106x	0.969	y = 1.736x - 0.028	0.909
30=f(5)	5-10	y = 0.864x	0.989	y = 1.016x + 0.014	0.982
45=f(5)	5-10	NS	NS	y = 0.656x + 0.026	0.401
30=f(15)	5-10	y = 0.603x	0.627	y = 1.403x - 0.015	0.860
45=f(15)	5-10	y = 0.874x	0.992	y = 1.673x - 0.024	0.962
45=f(30)	5-10	y = 0.907x	0.983	y = 1.070x - 0.015	0.927
15=f(5)	10-20	y = 1.619x	0.971	NS	NS
30=f(5)	10-20	y = 1.367x	0.895	y = 1.206x + 0.012	0.992
45=f(5)	10-20	NS	NS	y = 0.756x + 0.022	0.509
30=f(15)	10-20	y = 1.017x	0.988	y = 1.084x + 0.013	0.520
45=f(15)	10-20	y = 0.909x	0.995	y = 2.003x - 0.048	0.983
45=f(30)	10-20	y = 0.874x	0.988	y = 0.841x + 0.009	0.874

La distribución de los puntos experimentales que dieron lugar a la obtención de las ecuaciones mostradas en el cuadro en discusión se debe a la modificación de la conductividad eléctrica a través del año, donde una vez más se hace evidente la mayor acumulación de sales solubles en los estratos superiores del suelo (<5 cm de profundidad) y en los terrenos con menor pendiente (<5%). En las ecuaciones donde el coeficiente de determinación fue bajo o que resultó no significativa la comparación, se debió a que el espacio de exploración no fue suficientemente amplio. En el Cuadro 17 se presenta la comparación de medias del indicador de la salinidad por mes estudiado.

Cuadro 17. Comparación de medias del valor mensual de conductividad eléctrica en terrenos con condición natural (SP) y de pastoreo (CP) de cinco especies de animales en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.

Sitio	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene
	Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )											
<b>CP</b>	0.08a	0.05a	0.06a	0.06a	0.08a	0.04b	0.05b	0.44b	0.83a	0.43a	0.65a	0.68b
<b>SP</b>	0.05a	0.05a	0.08a	0.09a	0.09a	0.12a	0.11a	0.80a	0.82a	0.53a	0.41a	0.82a

Medias con distinta literal en la misma hilera columna indican diferencia significativa entre áreas con y sin pastoreo ( $p < 0.05$ ).

Las sales solubles en el suelo son consecuencia de varios factores, entre los que destaca el enriquecimiento de nutrientes por efecto de la mineralización de los materiales orgánicos del suelo y a la tasa de liberación de las reservas inorgánicas activas edáficas hacia la fase líquida del suelo. Lo anterior es promovido por una mayor actividad biológica y química durante el período de lluvias e incluso posterior a éste, lo que explicaría la tendencia de la conductividad eléctrica a través del año, donde en la época de estiaje más acentuado (febrero a junio) se detectaron los valores más bajos de dicho indicador y a medida que hubo mayor humedad en el suelo se incrementó la presencia de sales solubles, acumulándose aún en los meses posteriores a las lluvias (noviembre a enero) como efecto de la humedad residual, lo cual es atribuido por la formación del mantillo como resultado del depósito de la hojarasca del bosque sobre el terreno, tanto en las áreas de apacentamiento como en las zonas donde no se introduce el ganado. Con la idea de ilustrar las condiciones de humedad en el suelo, en la Figura 10 se presenta una serie de fotografías que representa de manera gráfica el terreno posterior a la época de lluvias.



Figura 10. Fotografías que muestran el mantillo del bosque en áreas pastoreadas y su efecto sobre la humedad residual incluso después de la temporada de lluvias en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

El suelo de la zona de estudio es muy arcilloso (>30% de arcilla), por lo que presenta una alta capacidad de almacenamiento de humedad en comparación a la que tendría un suelo franco o arenoso, lo cual a su vez dificulta el transporte de sales solubles hacia los estratos inferiores del perfil. La diferencia entonces estaría dada por el manejo del hato. El suelo en los terrenos bajo pastoreo es removido

durante el tiempo en que pasta el ganado por los propios hábitos en que cada especie adquiere su alimento, así como el desplazamiento de los animales al que se fuerza a través de la aplicación del tirol y de la torta ganadera. El movimiento del suelo ocasionado por el manejo del ganado hace que se tenga una capa de suelo más suelta que la contraparte de la condición natural y por ende mayor lixiviación de las sales solubles, lo que explicaría las diferencias en los valores de conductividad eléctrica observados entre ambos sitios (con y sin pastoreo).

Como acotación adicional, es importante señalar que aunque estadísticamente hay evidencias de la diferencia en la presencia de sales solubles entre los terrenos con pastoreo y aquellos donde no son perturbados por el ganado, desde el punto de vista biológico y agronómico, la salinidad no es significativa y no interfiere en los procesos de absorción nutrimental ni afecta el desarrollo de los sistemas radiculares de la vegetación.

El análisis del contenido nutrimental edáfico incluyendo todas las profundidades y pendientes del terreno, así como los sitios de condición natural y áreas de pastoreo varió como a continuación se indica: 1 kg ha<sup>-1</sup> a 79 kg ha<sup>-1</sup> (promedio = 17 kg ha<sup>-1</sup>); fósforo: 1 kg ha<sup>-1</sup> a 12 kg ha<sup>-1</sup> (promedio = 4 kg ha<sup>-1</sup>); potasio: entre 77 kg ha<sup>-1</sup> y 1065 kg ha<sup>-1</sup> (promedio = 557 kg ha<sup>-1</sup>). En el Cuadro 18 se presenta la concentración nitrógeno, fósforo y potasio analizados en las muestras de suelo colectadas en el área de estudio.

Las formas del nitrógeno en el suelo son de diferente tipo, esto es, como gas en la atmósfera edáfica (N<sub>2</sub>) y amoníaco (NH<sub>3</sub>), en la solución del suelo como nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) y amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), en los compuestos orgánicos se encuentra frecuentemente como grupo amino (-NH<sub>2</sub>). Los procesos que rigen la dinámica del nitrógeno en el suelo son principalmente de tipo biológico y condicionan tanto su disponibilidad como la eficiencia con la que la planta aprovecha el nitrógeno del suelo. El nitrógeno molecular es un gas que se encuentra en la atmósfera del suelo a una concentración superior a 70%, aunque es muy estable en esta forma no es aprovechable de manera directa por las plantas no leguminosas. Al respecto, las bacterias del género *Rhizobium* y actinomicetos transforman el N<sub>2</sub> en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (fijación biológica del nitrógeno). Cuando los microorganismos forman una asociación simbiótica con las plantas, este puede constituir un mecanismo para la nutrición del cultivo. Otras especies de vida libre como las cianobacterias también son capaces de fijar el N<sub>2</sub> atmosférico.

Cuadro 18. Mínimo (Mn), máximo (Mx) y comparación de medias de nitrógeno, fósforo y potasio contenidos en las muestras de suelo colectadas a diferentes profundidades y pendientes en sitios en condición natural (SP) y pastoreo de cinco especies (CP) en el campo experimental CEIEPASP, Chapa de Mota.

	Profundidad 0-5 cm				Profundidad 5-10 cm				Profundidad 10-20 cm			
	<5%	5-15%	15-30%	>30%	<5%	5-15%	15-30%	>30%	<5%	5-15%	15-30%	>30%
	Nitrógeno en el suelo (kg ha <sup>-1</sup> )											
<b>CP</b>	Terrenos con pastoreo											
<b>Mn</b>	3	6	2	9	2	4	2	5	2	5	2	2
<b>Mx</b>	41	60	79	39	23	22	21	41	38	51	27	32
<b>SP</b>	Terrenos sin pastoreo											
<b>Mn</b>	5	8	9	6	2	8	3	2	5	8	1	2
<b>Mx</b>	32	45	71	50	32	43	44	17	17	37	29	21
	Fósforo en el suelo (kg ha <sup>-1</sup> )											
<b>CP</b>	Terrenos con pastoreo											
<b>Mn</b>	2	4	1	1	2	4	1	1	1	1	1	4
<b>Mx</b>	4	9	1	2	4	7	4	7	4	2	1	4
<b>SP</b>	Terrenos sin pastoreo											
<b>Mn</b>	2	4	4	4	4	2	2	1	4	2	2	1
<b>Mx</b>	7	12	4	10	7	9	4	9	7	7	7	9
	Potasio en el suelo (kg ha <sup>-1</sup> )											
<b>CP</b>	Terrenos con pastoreo											
<b>Mn</b>	231	231	270	386	191	191	231	330	156	97	77	350
<b>Mx</b>	812	845	1025	965	772	666	1065	885	812	872	1065	965
<b>SP</b>	Terrenos sin pastoreo											
<b>Mn</b>	450	310	275	375	350	275	390	167	310	270	295	147
<b>Mx</b>	752	1025	1005	985	1051	1025	945	845	1011	965	885	865
	Comparación de medias para nitrógeno											
<b>CP</b>	19a	28a	23a	21 <sup>a</sup>	8a	11a	8a	13a	13a	19a	9a	8a
<b>SP</b>	14a	28a	32a	28 <sup>a</sup>	11a	21a	17a	10a	10a	19a	12a	8a
	Comparación de medias para fósforo											
<b>CP</b>	3a	6a	1a	1 <sup>a</sup>	3a	5a	2a	4a	3a	1a	1a	4a
<b>SP</b>	4a	7a	4a	5 <sup>a</sup>	6a	5a	3a	5a	6a	5a	4a	3a
	Comparación de medias para potasio											
<b>CP</b>	530a	532a	575a	588 <sup>a</sup>	458a	470a	510a	527a	434a	499a	454a	551a
<b>SP</b>	576a	710a	665a	645 <sup>a</sup>	692a	514a	622a	542a	635a	565a	549a	558a

El aprovechamiento del nitrógeno funciona apropiadamente en el ecosistema, donde la interacción planta-microorganismo es específica y el aporte nitrogenado de los organismos de vida libre es suficiente como para satisfacer la demanda de la vegetación.

Los compuestos orgánicos que contienen nitrógeno liberan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a través de la mineralización, proceso que comprende dos rutas intermedias, la aminización y la

amonificación, conducidas a través de la actividad de la biomasa microbiana que habita en el suelo. El  $\text{NH}_4^+$  producido es retenido en la solución del suelo, adsorbido sobre los sitios de intercambio catiónico o absorbido por las plantas. A su vez, el  $\text{NH}_4^+$  es transformado a  $\text{NO}_3^-$  a través de la nitrificación y ocurre en dos etapas. En la primera intervienen bacterias del género *Nitrosomona* que oxidan el  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2^-$  liberando hidrógenos ( $\text{H}^+$ ) al ambiente edáfico. En la segunda fase del proceso de nitrificación, las bacterias del género *Nitrobacter* oxidan los  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$  con un nuevo aporte de hidrógenos al medio. Por lo anterior se esperaba que el aporte de los estiércoles durante el pastoreo se acidificara el suelo, situación que se observó con cierta tendencia en los sitios de apacentamiento pero no llegó a ser la diferencia estadísticamente significativa respecto a la condición natural del terreno. En el proceso en comento intervienen bacterias heterótrofas y aerobias, por lo que la velocidad con que esto ocurre depende de la temperatura, humedad, aireación y disponibilidad de fuentes carbonadas lábiles, lo cual no fue suficiente como para dar un cambio notorio en la reacción del suelo, situación que coincide con lo reportado por Zhou y Wong (2000).

El hecho que no hubiese diferencias significativas en el contenido de nitrógeno entre los sitios con y sin pastoreo se atribuye a que los procesos que condicionan la disponibilidad del nitrógeno estuvieron presentes en la misma intensidad. Estos son de dos tipos (Pohlman *et al.*, 1986), los que restringen su aprovechamiento sin que se salga del suelo (inmovilización) y los que constituyen procesos de pérdida (desnitrificación, volatilización y lixiviación). En el primer caso, el nitrógeno no está disponible para las plantas cuando se encuentre en formas orgánicas y se depende de la relación con microorganismos para su aprovechamiento como es el caso de las micorrizas. Cuando el suelo permanece húmedo se crean sitios anaerobios, esto es, sin oxígeno libre. En estas condiciones se desarrollan bacterias especializadas que obtienen el oxígeno del  $\text{NO}_3^-$ , liberando entonces el nitrógeno en forma gaseosa hacia la atmósfera (desnitrificación). En este mecanismo intervienen bacterias heterótrofas y su velocidad depende de la temperatura y disponibilidad de compuestos carbonados lábiles, situación similar en ambas condiciones (con y sin pastoreo).

Para el caso del fósforo, su sorción y liberación están regidos por el potencial de oxidación-reducción, suministro de oxígeno, actividad microbiana así como las condiciones de humedad y temperatura del suelo que prevalecen (Vadas y Sims, 2002). Entre las variables del suelo que afectan los procesos de sorción están el

pH, la cantidad y tipo de minerales secundarios (arcillas), reservas orgánicas edáficas y la proporción de óxidos de hierro y aluminio extractables. La absorción del fósforo por las plantas ocurre después de que es desorbido de las reservas inorgánicas activas (lábil) y entra en la solución del suelo, cuya remoción del suelo dependerá de la cantidad disponible. Los aniones orgánicos e inorgánicos pueden competir entre sí por los sitios de sorción en el suelo y su presencia en la solución del suelo será consecuencia de la tasa con que son adsorbidos, ya que mientras esta sea menor, la disponibilidad del nutriente en la solución del suelo será mayor y viceversa. Dada la similitud en las condiciones edáficas entre los sitios con y sin pastoreo, esto hace que las diferencias en el contenido de fósforo no fuesen significativas desde el punto de vista estadístico.

La adsorción se define como la reacción de una sustancia en dos dimensiones y ocurre en la interfase que delimita la fase sólida de la acuosa, mientras que la precipitación es el desarrollo de una estructura molecular de una sustancia en tres dimensiones. El término sorción se emplea cuando no se conoce el mecanismo de retención de una sustancia. En la reacción de adsorción del fósforo se presentan dos mecanismos con diferente cinética, uno que es casi instantáneo porque ocurre en cuestión de minutos u horas y otro que es mucho más lento, el cual dura semanas o meses (López-Hernández *et al.*, 1986). La sorción rápida inicial se atribuye a la adsorción del anión sobre la superficie de los minerales del suelo, mientras que la disminución de la disponibilidad del anión a largo plazo es consecuencia de una difusión lenta del anión adsorbido hacia el interior de las partículas del suelo.

El aporte de fósforo en condiciones naturales proviene principalmente del reciclaje de los materiales orgánicos (hojarasca, mantillo, estiércoles, entre otros). Durante la etapa inicial de su mineralización ocurre un proceso de precipitación porque hay una concentración sobresaturada en la solución del suelo respecto a los compuestos insolubles del mismo elemento en el suelo (Ohno y Erich, 1997), situación común en toda el área de estudio. El elemento sorbido en la fase sólida es mucho menos disponible para la planta, así que el suelo contiene altos niveles del elemento en forma total, pero no en forma lábil (Guppy *et al.*, 2005), por lo que esto explicaría la baja concentración de fósforo detectada en este estudio.

La disponibilidad de los nutrientes con carga eléctrica positiva (cationes) es controlada por las interacciones que ocurren entre los diferentes componentes del suelo. La planta absorbe los cationes que se encuentran en la solución del suelo,

cuya concentración dependerá de la interacción que se establece entre la fase líquida y el potasio adsorbido (cationes intercambiables) sobre la superficie de los minerales arcillosos. La fuerza con la que reacciona el potasio dependerá de la cantidad y tipo de arcilla que predomina (Olk *et al.*, 1992). Cabe hacer notar que los cationes intercambiables se refieren a los elementos que son removidos al aplicar  $\text{NH}_4^+$  por el procedimiento de extracción con acetato de amonio en condiciones neutras y una concentración uno normal (Eick *et al.*, 1995).

Mientras más cercano se encuentre el potasio a la superficie del coloide, la intensidad de atracción y reacción será mayor, por lo que su disponibilidad será mucho menor. Cuando el potasio se encuentran en dicha zona, ya no puede ser extraídos a través de la adición del  $\text{NH}_4^+$ , encontrándose fuertemente ligados a la superficie de los minerales del suelo y se le denomina como potasio no intercambiable. Por lo mencionado anteriormente, se establece un flujo reversible desde la solución del suelo hacia la zona de intercambio y también de esta última hacia los sitios no intercambiables (Jardine y Sparks, 1990).

La velocidad de desplazamiento del potasio depende además del tipo y cantidad de arcilla, de la concentración de este nutriente, así como de las condiciones de humedad y temperatura que prevalezcan en el suelo, aunque cabe aclarar que la velocidad de reacción es más rápida e intensa entre la solución del suelo y los sitios de intercambio, en comparación a la que se produce entre estos y el área no intercambiable. Si el potasio no está en suficiente cantidad en la zona de intercambio, el flujo tenderá a ocurrir de la solución del suelo hasta la zona de no intercambio (Sparks *et al.*, 1981).

## 5.2 Efecto del pastoreo sobre la vegetación

La relación entre el peso seco y el peso fresco del material vegetal evaluado siguió en todos los casos una tendencia lineal, independientemente de las áreas muestreadas (con y sin pastoreo). En la Figura 11 se presenta la distribución de frecuencia de la variación del peso seco y peso fresco de las muestras de vegetación que se colectaron durante el año 2008 en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota

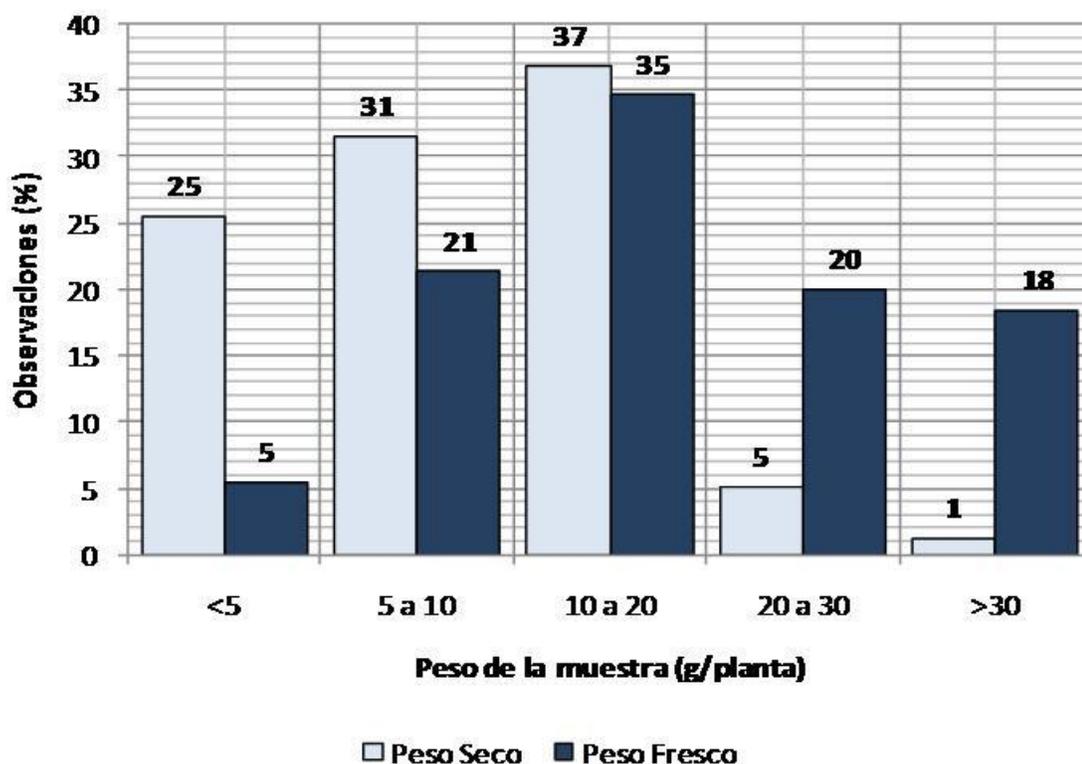
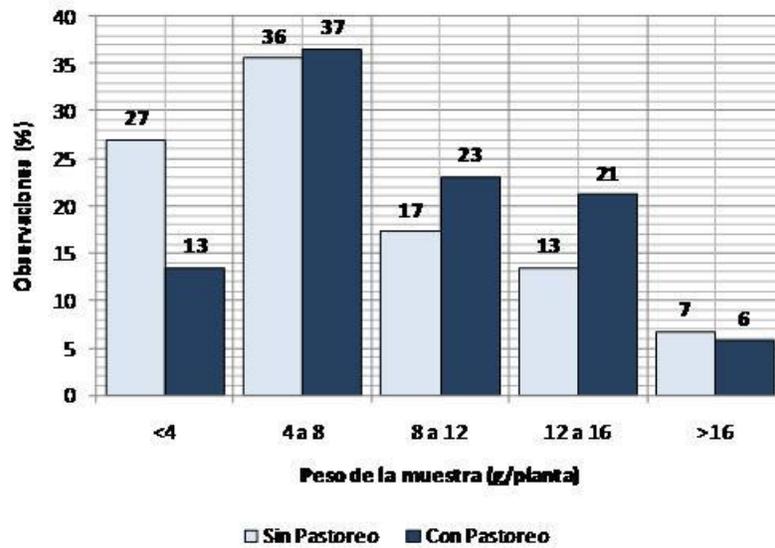


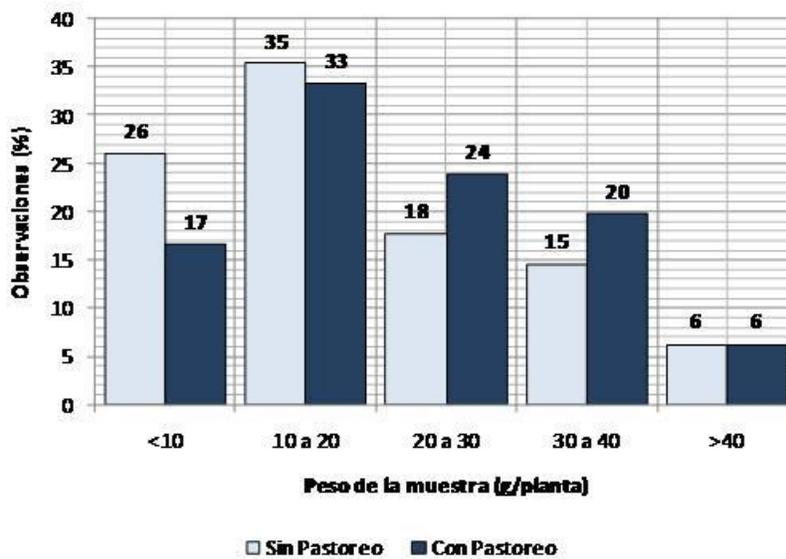
Figura 11. Distribución de frecuencia de la variación del peso seco y peso fresco de las muestras de vegetación colectadas durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

En el análisis general de todas las muestras sin diferenciar por época del año, características del terreno o si es pastoreado o no, la variación del contenido de humedad en el tejido vegetal tuvo un amplio ámbito de exploración, manteniendo 46% en promedio de la relación materia seca/peso fresco, sin que bajo estas condiciones hubiese diferencias estadísticas como consecuencia del manejo de los terrenos. En las Figuras 12 y 13 se presentan la distribución de frecuencia del peso seco y peso fresco de la fracción lábil y resistente, respectivamente, de las

muestras de vegetación que se colectaron durante el año 2008 en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota

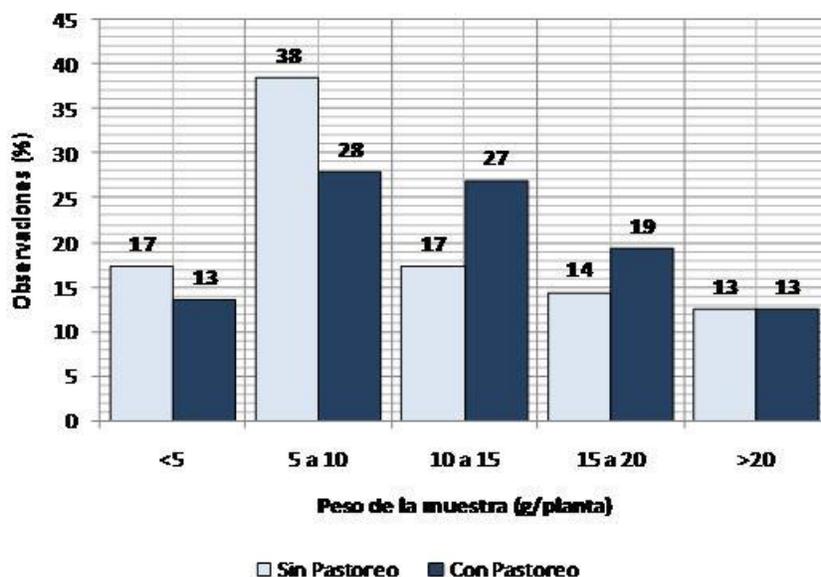


Variación del peso seco de la fracción lábil

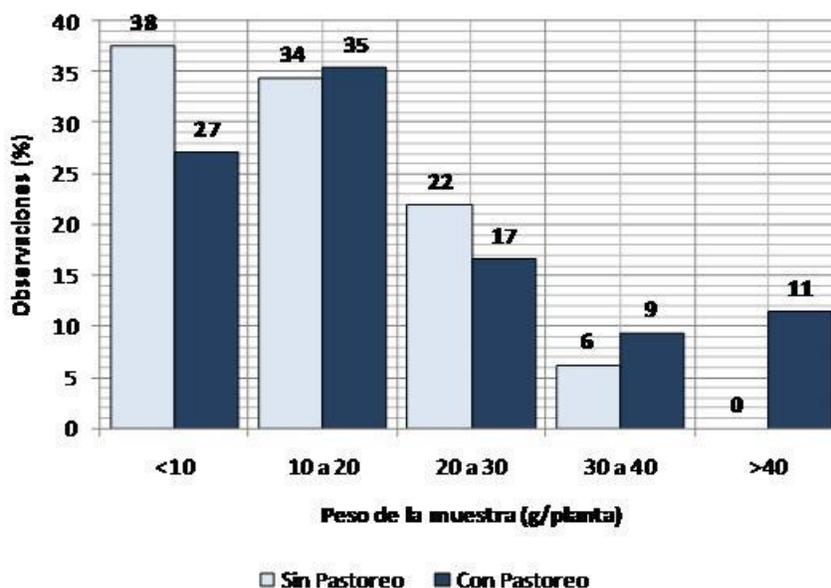


Variación del peso fresco de la fracción lábil

Figura 12. Distribución de frecuencia de la variación del peso seco y fresco de la fracción lábil de muestras de vegetación colectadas durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.



Variación del peso seco de la fracción resistente



Variación del peso seco de la fracción resistente

Figura 13. Distribución de frecuencia de la variación del peso seco y fresco de la fracción resistente de las muestras de vegetación colectadas durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

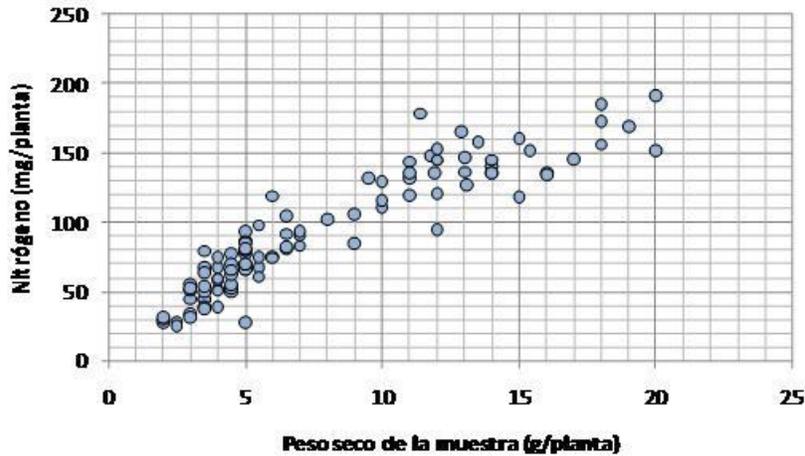
La comparación del contenido de humedad en la fracción lábil de la vegetación colectada en terrenos con y sin pastoreo no resultó estadísticamente significativa,

cuyo promedio fue 59% y 60%, respectivamente. En contraste, la fracción lábil de la biomasa vegetal fue más abundante en terrenos con pastoreo en comparación con los sitios donde no se permite el apacentamiento. El contenido de humedad en la fracción resistente de la vegetación fluctuó entre 12% y 50% en los terrenos pastoreados, mientras que en los sitios donde no se deja el paso a los animales el rango observado varió entre 19% y 26%. De manera consistente, el peso fresco y el contenido de materia seca en la fracción resistente fue significativamente inferior en las áreas sin pastoreo en comparación con los terrenos que son destinados a la alimentación del ganado. El pastoreo favoreció el crecimiento de plantas anuales de tallo corto, rastreras y cuya arquitectura presenta estolones y en forma de rosetas, mientras que las más afectadas fueron las de tipo perenne, de porte alto y erecto (Figura 14). Resultados similares fueron obtenidos por Díaz *et al.* (2007), aunque estos autores señalan que no obtuvieron efectos consistentes del pastoreo sobre la forma de crecimiento de la vegetación.

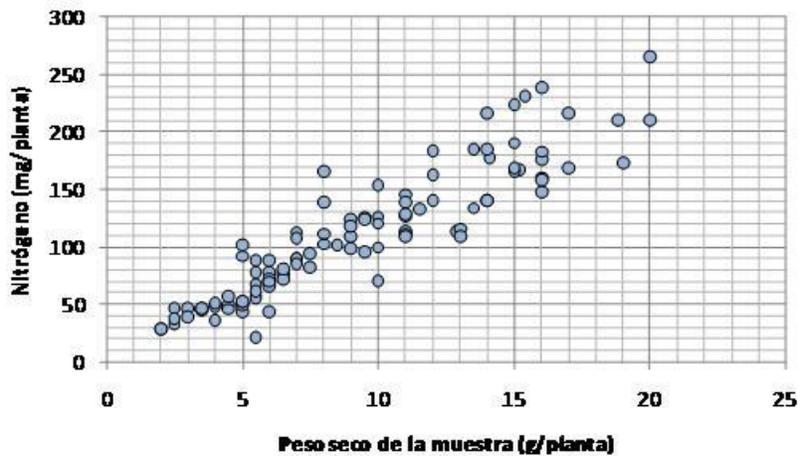


Figura 14. Fotografías que muestran el tipo de vegetación del bosque en áreas con y sin pastoreo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

En este experimento no se apreció afectación en la regeneración de la cubierta vegetal en las zonas sometidas al pastoreo de la manada, aunque algunos autores consideran que procedimientos similares al evaluado suele degradar los terrenos ganaderos, lo que impide el desarrollo socioeconómico de las regiones (Li *et al.*, 2008). De hecho, el manejo evaluado (pastoreo holístico) propició un consumo razonablemente uniforme de la vegetación sin que se observara un efecto negativo del pisoteo de los animales sobre la regeneración de la vegetación, sobre todo en las que presentan un hábito de crecimiento anual. Estos resultados coinciden con lo reportado por Loeser *et al.* (2007) quienes hacen énfasis que el pastoreo de alto impacto afecta la cobertura vegetal de tipo perenne y propicia a la vegetación herbácea anual, por lo que proponen llevar a cabo un pastoreo de intensidad intermedia para mejorar la diversidad de la población vegetal y no someter los terrenos a un apacentamiento intenso aunque sea de corta duración. Al respecto, Noy-Meir y Oron (2001) encontraron una respuesta positiva al pastoreo en geofitas de hojas pequeñas y concuerdan en que la intensidad del pastoreo debe regularse según las necesidades de restauración del dosel. La tendencia entre el contenido de nitrógeno y materia seca de la fracción lábil de la vegetación colectada se muestra en la Figura 15.



Sitios sin pastoreo

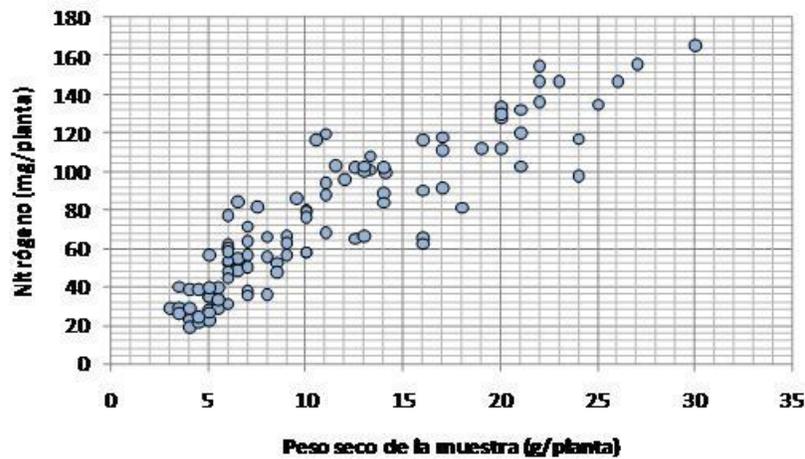


Sitios con pastoreo

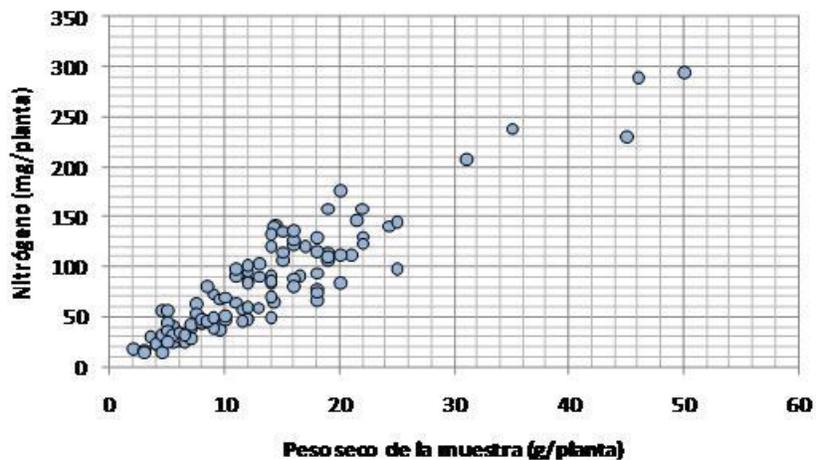
Figura 15. Tendencia del contenido de nitrógeno en la fracción lábil de muestras de vegetación colectadas en sitios con y sin pastoreo durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

El ámbito de exploración del contenido de nitrógeno en la fracción lábil de la vegetación varió de 0.57% a 2.28% (26 mg/planta a 192 mg/planta) en los sitios sin pastoreo, mientras que los terrenos empleados para la alimentación del ganado fluctuaron entre 0.38% y 2.07% (21 mg/planta a 265 mg/planta), con un promedio de 1.31% y 1.21% (92.5 y 108.7 mg/planta) para cada condición estudiada, respectivamente. Los cambios en la vegetación dependieron del clima y del manejo del pastoreo, lo cual también modificó el contenido de nitrógeno en la

fracción resistente de la cubierta vegetal y su relación con la materia seca en terrenos pastoreados en comparación con los que no se emplean para alimentar el ganado (Figura 16).



Sitios sin pastoreo



Sitios con pastoreo

Figura 16. Tendencia del contenido de nitrógeno en la fracción resistente de las muestras de vegetación colectadas en sitios con y sin pastoreo durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

El contenido de nitrógeno en la fracción resistente de la vegetación varió de manera amplia, con un ámbito de exploración entre 0.38% y 1.71% (19 mg/planta a 264 mg/planta) en los sitios que no están sometidos al pastoreo. En los terrenos

que se emplean para la alimentación del ganado el nitrógeno fluctuó entre 0.31% y 1.24% (14 mg/planta a 290 mg/planta). El promedio del porcentaje de nitrógeno en la fracción resistente de la cubierta vegetal fue 0.78% y 0.62% (85.6 mg/planta y 81.9 mg/planta) para los terrenos sin y con pastoreo, respectivamente. Las tendencias de la distribución de los puntos experimentales (variación del contenido de nitrógeno en la materia seca) mostrados en las figuras en discusión fueron ajustadas a ecuaciones de regresión, cuyos resultados están en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Ecuaciones de regresión ajustadas a la tendencia del contenido de nitrógeno de las muestras vegetales en sus fracciones lábiles y resistentes en condiciones naturales y sometidas a pastoreo de cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Pastoreo	Fracción	Ecuación	Coefficiente de determinación
No	Lábil	$y = 8.20x + 28.8$	$R^2 = 0.85$
Sí	Lábil	$y = 11.07x + 7.7$	$R^2 = 0.84$
No	Resistente	$y = 5.14x + 17.5$	$R^2 = 0.81$
Sí	Resistente	$y = 5.94x + 3.4$	$R^2 = 0.85$

La pendiente de las regresiones del cuadro en discusión se refiere a la variación del contenido de nitrógeno en la materia seca del tejido vegetal, por lo que era de esperarse que hubiese diferencias entre las que representan la fracción lábil y las de la fracción resistente. La composición del tejido de la fracción lábil está constituido por materiales orgánicos de fácil descomposición con una baja relación carbono/nitrógeno (menos de 40 g de carbono por cada gramo de nitrógeno), mientras que la fracción resistente se caracteriza por tener más materia seca con mayor proporción de lignina y menos nitrógeno respecto a la lábil.

Los terrenos sometidos al pastoreo presentaron mayor contenido de nitrógeno en la vegetación en ambas fracciones (lábil y resistente), en comparación a lo que se obtuvo en los terrenos en que no se introducen los animales para consumir la cubierta vegetal. El contenido de nitrógeno en la fracción lábil en los sitios en pastoreo fue 1.9 veces mayor al de la fracción resistente. En contraste, donde no se lleva a cabo el apacentamiento sólo fue 1.6 veces mayor, lo que refuerza el

planteamiento de que bajo el esquema del manejo evaluado en este estudio, no hay un efecto nocivo o deletéreo del ganado sobre la vegetación.

La abundancia de la vegetación varió a través del año, por lo que para conocer en qué medida esto se modificó, se hizo un análisis de la variación del peso seco (Cuadro 20) y peso fresco (Cuadro 21) en diferentes épocas, distribuyendo el estudio con base en la temporada de lluvias y de estiaje.

Cuadro 20. Distribución de frecuencia del peso seco de las muestras vegetales en sus fracciones lábiles y resistentes en condiciones naturales y sometidas a pastoreo de cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Rango o variable	Fracción lábil sin pastoreo				Fracción lábil con pastoreo			
Mes	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di
Temp. (°C)	9.8	14.4	13.6	8.2	9.8	14.4	13.6	8.2
Lluvia (mm)	0	0	188	0	0	0	188	0
Mínimo	3	2	2	9	3	2	4	6
Promedio	10	4	5	14	11	4	9	12
Máximo	20	5	10	19	20	7	17	20
Observ.	28	20	36	20	28	20	36	20
<2.5	4	15	3	0	4	20	0	0
2.5 a 5	21	85	61	0	18	50	11	0
5 a 10	21	0	36	10	21	30	56	45
10 a 15	39	0	0	60	29	0	28	35
15 a 20	14	0	0	30	29	0	6	20
>20	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fracción resistente sin pastoreo				Fracción resistente con pastoreo			
Mes	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di
Temp. (°C)	9.8	14.4	13.6	8.2	9.8	14.4	13.6	8.2
Lluvia (mm)	0	0	188	0	0	0	188	0
Mínimo	3	4	5	12	2	3	5	12
Promedio	8	6	12	20	16	7	13	18
Máximo	18	11	30	27	50	11	25	31
Observ.	28	20	36	20	28	20	36	20
<2.5	0	0	0	0	4	0	0	0
2.5 a 5	32	35	6	0	18	35	3	0
5 a 10	39	60	47	0	21	60	31	0
10 a 15	18	5	22	20	25	5	39	30
15 a 20	11	0	14	35	7	0	14	65
>20	0	0	11	45	25	0	14	5

Cuadro 21. Distribución de frecuencia del peso fresco de las muestras vegetales en sus fracciones lábiles y resistentes en condiciones naturales y sometidas a pastoreo de cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Rango o variable	Fracción lábil sin pastoreo				Fracción lábil con pastoreo			
Mes	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di
Temp. (°C)	9.8	14.4	13.6	8.2	9.8	14.4	13.6	8.2
Lluvia (mm)	0	0	188	0	0	0	188	0
Mínimo	6	4	10	16	8	5	10	15
Promedio	21	7	18	34	20	10	29	27
Máximo	45	11	31	50	39	15	64	40
Observ.	20	20	36	20	20	20	36	20
<5	0	35	0	0	0	5	0	0
5 a 10	<b>25</b>	<b>60</b>	3	0	<b>20</b>	<b>50</b>	3	0
10 a 20	<b>35</b>	5	<b>67</b>	10	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>28</b>	<b>25</b>
20 a 30	20	0	25	20	15	0	<b>31</b>	<b>45</b>
30 a 40	10	0	6	<b>50</b>	25	0	22	30
>40	10	0	0	20	0	0	17	0
	Fracción resistente sin pastoreo				Fracción resistente con pastoreo			
Mes	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di
Temp. (°C)	9.8	14.4	13.6	8.2	9.8	14.4	13.6	8.2
Lluvia (mm)	0	0	188	0	0	0	188	0
Mínimo	5	4	7	15	4	5	8	16
Promedio	15	7	15	24	20	8	25	22
Máximo	29	14	37	36	57	14	52	43
Observ.	20	20	36	20	20	20	36	20
<5	5	30	0	0	15	15	0	0
5 a 10	<b>35</b>	<b>60</b>	28	0	<b>30</b>	<b>65</b>	3	0
10 a 20	<b>30</b>	10	<b>53</b>	30	<b>20</b>	20	<b>47</b>	<b>45</b>
20 a 30	30	0	11	<b>55</b>	10	0	<b>11</b>	<b>50</b>
30 a 40	0	0	8	15	5	0	22	0
>40	0	0	0	0	20	0	17	5

Como era de esperarse, los cambios de las dos variables (materia seca y peso fresco) a través del año estudiado fueron similares, por la relación que existe en la tendencia entre ambas. La diferencia en la acumulación de materia seca y fresca obedeció a las condiciones climáticas con especial énfasis en el contenido de humedad en el suelo siguiendo un patrón parecido a una parábola invertida, esto es, la menor producción de biomasa coincidió con el estiaje más exacerbado y que es previo a la temporada de lluvias (marzo a mayo).

Durante la época de precipitación pluvial se observó una clara recuperación de la vegetación (junio a septiembre) y que incluso fue mayor el dosel durante los tres meses posteriores a las lluvias (octubre a diciembre), para decaer nuevamente en enero y febrero en la que se fue abatiendo el almacenaje de humedad en el suelo. Resultados similares fueron reportados por Bullock et al. (2001), quienes coinciden en que la tasa de recuperación y abatimiento de la vegetación en áreas de pastoreo se modifica por las condiciones climáticas, además del manejo practicado.

La tendencia de la producción de biomasa vegetal con la humedad ambiental (y edáfica) se mantuvo similar entre las dos condiciones estudiadas (con y sin pastoreo), esto es, la abundancia en la vegetación se modificó proporcionalmente a la capacidad de almacenamiento de agua, cuya variación dependió de las lluvias y del estiaje; sin embargo, el efecto climático no fue el mismo para las zonas con apacentamiento y las que permanecen sin la introducción del ganado.

En las zonas donde no se introduce el ganado para alimentarlo, los arbustos de porte bajo interactúan con la comunidad vegetal de hábito anual a través del sombreado, lo que impacta de manera directa en su crecimiento creando zonas con distinta densidad de población. Esto no se observó en las áreas sometidas al pastoreo porque se fuerza a los animales a consumir prácticamente toda la vegetación presente, lo cual marca un contraste notorio en la población vegetal y su correspondiente tasa con que se recupera el dosel después de que el ganado la ingiere. La situación anterior explicaría las diferencias en la materia seca y el peso fresco que se detectaron en la cubierta vegetal entre los terrenos con pastoreo y los que están libres de ganado.

La comparación de medias de la variación de la materia seca y del peso fresco de la fracción lábil y de la fracción resistente del tejido vegetal en las distintas épocas del año se presenta en el Cuadro 22.

Como ya se comentó, las diferencias principales en el crecimiento y desarrollo de la vegetación se detectó entre junio y diciembre respecto a la que se obtuvo de enero a mayo. Esto implicó que hubiese entre 19% y 28% menos materia seca de la fracción lábil en la época de estiaje, mientras que en lo que correspondió a la fracción resistente se abatió su peso seco entre 38% y 55% como consecuencia de la falta de humedad.

Cuadro 22. Comparación de medias de la materia seca y peso fresco de la fracción lábil y resistente de las muestras de vegetación colectada con y sin pastoreo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Pastoreo	ene-feb	mar-may	jun-sep	oct-dic
Materia seca de la fracción lábil (g planta <sup>-1</sup> )				
No	33b	28a	47a	36a
Sí	41a	32a	50a	39a
Materia seca de la fracción resistente (g planta <sup>-1</sup> )				
No	25b	25a	51b	29a
Sí	42a	27a	83a	28a
Peso fresco de la fracción lábil (g planta <sup>-1</sup> )				
No	67a	37b	91b	110a
Sí	71a	52a	135a	64b
Peso fresco de la fracción resistente (g planta <sup>-1</sup> )				
No	49b	48a	102b	58a
Sí	80a	53a	161a	55a

Al estudiar el efecto del pastoreo sobre la vegetación, Posadas *et al.* (2000) encontraron que con la baja densidad de carga animal se incrementa de manera importante la densidad de la población vegetal, número de ramas por arbusto y el área basal de las especies leñosas, aunque también se reduce la riqueza y diversidad de estas últimas. Estos mismos autores señalan que el efecto combinado del pastoreo y sombreado de arbustos reduce la vegetación herbácea entre 52% y 92%. Al respecto, otros investigadores (Yates *et al.*, 2000) sugieren que el pastoreo del ganado cambia las condiciones del terreno y alteran la fuente de los procesos regulatorios que mantienen el arreglo biológico natural en terrenos forestales. Más aún, consideran que es improbable que vuelva a recuperarse la diversidad de especies y estructura de la comunidad vegetal con sólo el desplazamiento del ganado de los terrenos forestales degradados, por ello afirman que para restaurar a la biomasa vegetal se requiere emplear otras estrategias que permitan capturar recursos bióticos que incrementen su capacidad de retención y mejoren el microclima.

En el Cuadro 23 se presenta la distribución de frecuencia del contenido de nitrógeno en la fracción lábil y resistente de la vegetación que se colectó en áreas con y sin pastoreo.

Cuadro 23. Distribución de frecuencia del contenido de nitrógeno las muestras vegetales en su fracción lábil y resistente en condiciones naturales y en las que estuvieron sometidas a pastoreo de cinco especies de animales en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Rango o variable	Fracción lábil sin pastoreo				Fracción lábil con pastoreo			
Mes	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di
Temp. (°C)	9.8	14.4	13.6	8.2	9.8	14.4	13.6	8.2
Lluvia (mm)	0	0	188	0	0	0	188	0
Mínimo	29	26	28	106	44	21	51	85
Promedio	111	47	79	141	132	44	115	133
Máximo	192	78	132	185	265	71	216	210
Observ.	28	20	36	20	28	20	36	20
<40	4	40	6	0	0	40	0	0
40 a 80	32	60	44	0	36	60	19	0
80 a 120	14	0	44	20	14	0	42	40
120 a 160	36	0	6	65	7	0	25	35
160 a 200	14	0	0	15	25	0	8	20
>200	0	0	0	0	18	0	6	5
	Fracción resistente sin pastoreo				Fracción resistente con pastoreo			
Mes	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di	En-Fe	Mr-My	Jn-Sp	Oc-Di
Temp. (°C)	9.8	14.4	13.6	8.2	9.8	14.4	13.6	8.2
Lluvia (mm)	0	0	188	0	0	0	188	0
Mínimo	21	19	29	62	16	14	24	74
Promedio	57	46	83	114	104	33	75	117
Máximo	108	94	166	156	295	64	146	208
Observ.	28	20	34	20	28	20	36	20
<40	46	40	15	0	18	75	14	0
40 a 80	25	55	41	10	32	25	44	5
80 a 120	29	5	32	50	18	0	25	60
120 a 160	0	0	9	40	18	0	17	25
160 a 200	0	0	3	0	0	0	0	5
>200	0	0	0	0	14	0	0	5

La mayor concentración de nitrógeno en el follaje de la fracción lábil como de la resistente (80 a 120 mg de N por gramo de materia seca), se obtuvo entre octubre y diciembre, período inmediatamente posterior a la época de lluvias, mientras que los valores más bajos de este nutriente (<80 mg de N por gramo de materia seca)

se observaron entre marzo y mayo, lapso previo al inicio de la estación lluviosa. Esto ocurrió tanto en los sitios que son sometidos al pastoreo como aquellos donde no se introduce el ganado, lo cual permite suponer que la principal variable que dicta la acumulación de nitrógeno en el tejido vegetal es el clima y el manejo de los animales aparentemente no influyó en ello; sin embargo, durante la temporada de precipitación pluvial (junio a septiembre), el nitrógeno en la fracción lábil de la vegetación fue mayor en los terrenos donde se introduce a los animales para que se alimenten.

### 5.3 Efecto del pastoreo sobre la producción animal

#### 5.3.1 Producción de estiércol

La relación entre el peso seco y el peso fresco del estiércol que se colectó de las cinco especies de animales en pastoreo durante el año de 2008 en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota se presenta en la Figura 17.

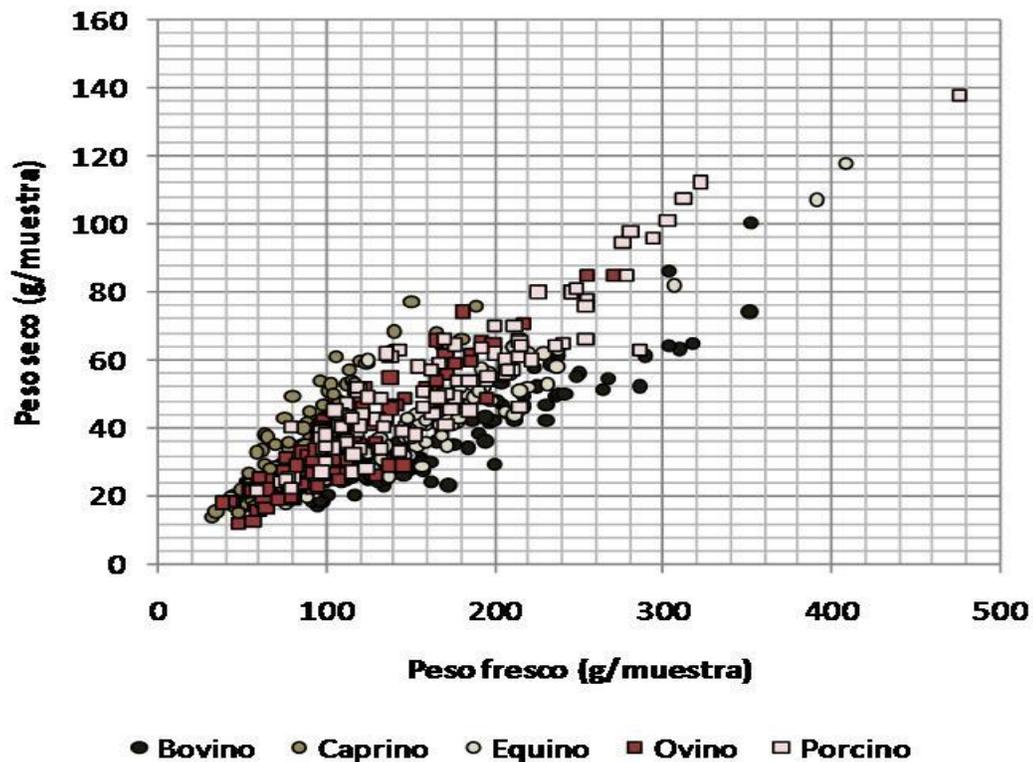


Figura 17. Relación entre el peso seco y el peso fresco del estiércol de cinco especies de animales, colectado durante el desarrollo del trabajo en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

El ámbito de exploración fue muy amplio por la diversidad de animales, condiciones ambientales y época de muestreo, variando de 12 a 138 g muestra<sup>-1</sup> en peso seco y de 32 a 476 g muestra<sup>-1</sup> en peso fresco. En todos los casos se mantuvo una tendencia lineal entre ambas variables evaluadas, cuyas ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación se presentan en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Ecuaciones de regresión ajustadas a la relación entre el peso seco y el peso fresco del estiércol de cinco especies de animales que se colectaron en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Espece Animal	Ecuación	Coficiente de determinación
Bovino	$y = 0.216x$	$R^2 = 0.85$
Equino	$y = 0.263x$	$R^2 = 0.85$
Porcino	$y = 0.310x$	$R^2 = 0.85$
Ovino	$y = 0.323x$	$R^2 = 0.84$
Caprino	$y = 0.419x$	$R^2 = 0.82$

El contenido de humedad en el estiércol dependió de cada especie animal, cuya variación en orden ascendente fue la siguiente: caprino (58%), ovino (68%), porcino (69%), equino (74%) y bovino (78%), valores que se encuentran entre los rangos reportados por otros autores (Gichangi *et al.*, 2010; Rufino *et al.*, 2007).

Los estiércoles son valiosos como fuente de nutrientes disponibles para los cultivos, por lo que suele considerarse su empleo como un medio eficaz para fertilizar los terrenos agrícolas y ganaderos; sin embargo, esto también puede traer consecuencias negativas como es el caso de la transferencia o acarreo de contaminantes hacia los cuerpos de agua originados por la adición de estos materiales orgánicos sobre la superficie del terreno, cuyo impacto nocivo sobre el ambiente depende del manejo de este tipo de insumos y su contenido nutrimental. En el Cuadro 25 se presenta el rango mínimo, promedio y máximo del peso seco y peso fresco, así como el contenido de nitrógeno del estiércol de cinco especies de animales que se colectaron durante el año 2008 en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

La variación extrema en el porcentaje de nitrógeno contenido en los distintos estiércoles evaluados fluctuó entre 0.51 y 2.8%N, lo que implica un rango de 112 a 2296 mg de N por kg de peso seco, que desde un punto de vista agronómico y su utilidad como material fertilizante implica diferencias hasta de seis veces, esto es,

de 5.1 a 28.0 kilogramos de nitrógeno por cada tonelada (en peso seco) de estiércol.

Cuadro 25. Rango mínimo, promedio y máximo del peso seco, fresco y contenido de nitrógeno del estiércol de cinco especies de animales que se colectaron en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Valor	PS	PF	%N	mgN	KgN t <sup>-1</sup>
<b>Estiércol de bovinos</b>					
<b>Mínimo</b>	17.0 a 24.5	83.0 a 117.0	0.73 a 0.81	156 a 193	7.3 a 8.1
<b>Promedio</b>	34.1 a 42.9	160.9 a 181.3	1.13 a 1.15	379 a 480	11.2 a 11.5
<b>Máximo</b>	55.0 a 100.0	268.0 a 352.0	1.48 a 1.65	738 a 1355	14.8 a 16.5
<b>Estiércol de caprino</b>					
<b>Mínimo</b>	14.0 a 25.0	32.0 a 63.0	0.89 a 1.03	169 a 452	8.9 a 10.3
<b>Promedio</b>	30.5 a 46.8	76.7 a 98.1	1.40 a 1.52	419 a 704	14.0 a 15.2
<b>Máximo</b>	53.0 a 77.0	147.0 a 189.3	1.77 a 2.11	764 a 1443	17.7 a 21.1
<b>Estiércol de equino</b>					
<b>Mínimo</b>	18.0 a 25.5	44.0 a 93.5	0.59 a 0.81	132 a 220	5.9 a 8.1
<b>Promedio</b>	40.6 a 47.4	155.0 a 180.1	1.04 a 1.09	424 a 490	10.4 a 10.9
<b>Máximo</b>	63.0 a 117.5	217.0 a 408.0	1.46 a 1.58	849 a 1309	14.6 a 15.8
<b>Estiércol de ovino</b>					
<b>Mínimo</b>	12.0 a 26.0	38.0 a 76.0	0.51 a 0.97	112 a 377	5.1 a 9.7
<b>Promedio</b>	30.5 a 47.6	98.8 a 138.7	1.36 a 1.45	420 a 672	13.6 a 14.5
<b>Máximo</b>	60.0 a 85.0	169.0 a 271.0	1.76 a 2.33	782 a 1215	17.6 a 23.3
<b>Estiércol de porcino</b>					
<b>Mínimo</b>	21.5 a 30.0	59.0 a 79.0	0.79 a 1.06	312 a 414	7.9 a 10.6
<b>Promedio</b>	50.6 a 56.0	164.4 a 174.6	1.39 a 1.41	728 a 797	13.9 a 14.4
<b>Máximo</b>	94.5 a 138.0	279.0 a 476.0	1.89 a 2.80	1560 a 2296	18.9 a 28.0

De acuerdo con Vadas *et al.* (2007), después de la aplicación del estiércol los nutrientes inmóviles en el suelo se incrementan rápidamente en los primeros dos centímetros de profundidad incluso después de las lluvias y se mantienen al menos durante tres meses, quedando sin modificación alguna el nivel nutrimental en capas o estratos inferiores (5 a 10 cm), por lo que para evaluar su eficacia como material fertilizante puede ser confundido si no se hace una correcta colecta de muestras. A su vez, como el estiércol de equinos y porcinos tiene más carbono orgánico total comparado con el de otros animales, podrían considerarse como los más indicados para el aporte de nutrientes, pero esto no coincide con su facilidad de descomposición, la cual está sujeta a la proporción lábil y que esta es mayor en el estiércol de caprinos. La heterogeneidad en la composición de las deyecciones sólidas de las diversas especies de animales ha dificultado la generación de

indicadores pragmáticos eficaces para modelar su contribución y utilidad como nutrientes disponibles para la vegetación (Moral *et al.*, 2005).

En el Cuadro 26 se presentan las ecuaciones de la tendencia del peso seco y fresco del estiércol colectado durante un año de pastoreo de las cinco especies de animales evaluadas en cuatro diferentes momentos del día, mientras que en el Cuadro 27 se muestran las ecuaciones de regresión respecto a la variación del contenido de nitrógeno.

Cuadro 26. Ecuaciones de la tendencia del peso seco y fresco del estiércol colectado durante un año de pastoreo de cinco especies de animales en cuatro diferentes momentos del día en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Hora	Rango (g/muestra)	Ecuación	R <sup>2</sup>	Rango (g/muestra)	Ecuación	R <sup>2</sup>
Peso seco del estiércol de bovino				Peso fresco del estiércol de bovino		
8	30	$y = -0.016x^2 + 3.160x - 50.96$	0.96	150	$y = 0.329x + 0.183$	0.90
10	120	$y = -0.012x^2 + 2.487x - 15.38$	0.98	300	$y = 0.377x - 9.890$	0.82
12		$y = -0.016x^2 + 2.980x - 29.80$	0.93		$y = 0.351x + 0.366$	0.95
15		$y = -0.011x^2 + 2.339x - 12.5$	0.99		$y = 0.274x + 11.90$	0.97
Peso seco del estiércol de caprino				Peso fresco del estiércol de caprino		
8	30	$y = -0.022x^2 + 4.326x - 99.03$	0.97	60	$y = 1.474x - 89.10$	0.99
10	120	$y = -0.007x^2 + 1.544x + 22.11$	0.99	120	$y = 1.025x - 25.64$	0.92
12		$y = -0.011x^2 + 2.185x + 4.807$	0.93		$y = 1.025x - 28.20$	0.99
15		$y = -0.013x^2 + 2.685x - 24.03$	0.97		$y = 1.153x - 47.43$	0.98
Peso seco del estiércol de equino				Peso fresco del estiércol de equino		
8	30	$y = -0.016x^2 + 3.160x - 50.96$	0.96	120	$y = 0.551x - 36.92$	0.96
10	120	$y = -0.022x^2 + 4.25x - 91.34$	0.93	240	$y = 0.551x - 29.23$	0.94
12		$y = -0.023x^2 + 4.421x - 97.36$	0.95		$y = 0.807x - 86.31$	0.97
15		$y = -0.017x^2 + 3.543x - 73.68$	0.99		$y = 0.666x - 67.36$	0.97
Peso seco del estiércol de ovino				Peso fresco del estiércol de ovino		
8	30	$y = -0.018x^2 + 3.685x - 81.73$	0.99	60	$y = 0.670x - 41.13$	0.95
10	120	$y = -0.011x^2 + 2.339x - 12.5$	0.99	210	$y = 0.560x - 10.91$	0.83
12		$y = -0.012x^2 + 2.384x - 3.846$	0.93		$y = 0.578x - 8.901$	0.85
15		$y = -0.011x^2 + 2.237x - 0.961$	0.96		$y = 0.586x - 9.890$	0.90
Peso seco del estiércol de porcino				Peso fresco del estiércol de porcino		
8	30	$y = -0.017x^2 + 3.538x - 84.61$	0.98	120	$y = 0.315x + 3.434$	0.83
10	120	$y = -0.015x^2 + 3.192x - 69.23$	0.99	300	$y = 0.348x - 2.747$	0.96
12		$y = -0.013x^2 + 3.121x - 74.03$	0.99		$y = 0.384x - 12.08$	0.97
15		$y = -0.011x^2 + 2.673x - 50.96$	0.99		$y = 0.38x - 10.57$	0.95

La fluctuación del peso seco y fresco en los distintos materiales evaluados fue consistente durante todo el año que se estudió su tendencia, a pesar de incluir las temporadas de lluvia y estiaje. La diferencia más notoria estuvo entre las muestras colectadas en el establo (8:00 A.M.), respecto a las que se tomaron en el bosque durante el pastoreo de los animales (10:00 A.M.; 12:00 P.M. y 3:00 P.M.)

Cuadro 27. Ecuaciones de la tendencia del contenido de nitrógeno en el estiércol colectado durante un año de pastoreo de cinco especies de animales en cuatro diferentes momentos del día en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

hora	I	Ecuación		I	Ecuación		I	Ecuación	
		%N en el estiércol de bovino			ppmN en el estiércol de bovino			kgN t <sup>-1</sup> de estiércol de bovino	
8	0.7	y=126.9x-91.15	0.98	300	y=0.173x-28.84	0.94	7	y=12.69x-91.15	0.98
10	1.5	y=125x-91.34	0.99	700	y=0.157x-8.846	0.96	15	y=12.5x-91.34	0.99
12		y=128.8x-95.57	0.98		y=0.165x-8.846	0.87		y=12.88x-95.57	0.98
15		y=128.8x-94.03	0.99		y=0.130x+4.61 5	0.95		y=12.88x-94.03	0.99
		%N en el estiércol de caprino			ppmN en el estiércol de caprino			kgN t <sup>-1</sup> de estiércol de caprino	
8	1.1	y=101.6x-105.5	0.94	400	y=0.188x-76.15	0.99	13	y=13.46x-155.7	0.98
10	2.1	y=97.80x-89.81	0.90	800	y=0.103x+15.3 8	0.97	19	y=11.15x-105.3	0.94
12		y=93.95x-86.86	0.91		y=0.119x+6.92 3	0.88		y=10.76x-103.0	0.94
15		y=104.4x-105.4	0.93		y=0.173x-33.84	0.94		y=13.46x-150	0.96
		%N en el estiércol de equino			ppmN en el estiércol de equino			kgN t <sup>-1</sup> de estiércol de equino	
8	0.7	y=142.3x-105	0.93	200	y=0.183x-33.22	0.96	7	y=14.23x-105	0.93
10	1.5	y=115.3x-70	0.94	700	y=0.204x-35.56	0.94	15	y=11.53x-70	0.94
12		y=136.8x-97.89	0.96		y=0.207x-49.52	0.94		y=13.68x-97.89	0.96
15		y=121.0x-79.47	0.95		y=0.204x-48.17	0.96		y=12.10x-79.47	0.95
		%N en el estiércol de ovino			ppmN en el estiércol de ovino			kgN t <sup>-1</sup> de estiércol de ovino	
8	1.1	y=111.5x-112.6	0.97	300	y=0.166x-57.96	0.97	9	y=10.96x-106.3	0.96
10	1.9	y=100x-89.23	0.99	900	y=0.120x-3.846	0.86	17	y=9.807x-85.96	0.98
12		y=128.8x-134.8	0.94		y=0.130x-4.120	0.84		y=12.11x-118.2	0.91
15		y=111.5x-104.2	0.92		y=0.140x-12.63	0.91		y=12.5x-118.6	0.97
		%N en el estiércol de porcino			ppmN en el estiércol de porcino			kgN t <sup>-1</sup> de estiércol de porcino	
8	1.1	y=115.3x-113.0	0.96	400	y=0.145x-53.02	0.93	11	y=11.53x-113.0	0.96
10	1.9	y=109.6x-106.7	0.96	1000	y=0.119x-32.55	0.96	19	y=10.96x-106.7	0.96
12		y=107.6x-100.7	0.94		y=0.137x-50.54	0.98		y=10.76x-100.7	0.94
15		y=113.4x-116.3	0.97		y=0.107x-25	0.97		y=11.34x-116.3	0.97

La adición del estiércol no siempre garantiza el aporte nutrimental deseado, porque depende de las condiciones ambientales su eficacia para descomponerse. Gichangi *et al.* (2010) evaluaron el efecto del estiércol de caprino sobre diversos indicadores e hicieron además un contraste con el uso de fertilizantes químicos,

encontrando que se llega a la misma respuesta de la vegetación, indistintamente de la fuente del material fertilizante, aunque su combinación causa un efecto sinérgico, lo cual es atribuido a que se propicia una mayor concentración de biomasa microbiana edáfica y mejor mayor efectividad en el uso de nutrientes.

Las condiciones ambientales de la zona de estudio indican una baja eficiencia en la descomposición de los estiércoles, incluso durante la época de lluvia porque la temperatura es la condición más restrictiva y en el resto del año además de ser la zona fría no existe la suficiente humedad para que se de este proceso de manera eficaz. Lo anterior fue observado en condiciones similares por Zhang y He (2006), quienes estudiaron cambios en las propiedades fisicoquímicas del estiércol, llegando a la conclusión de que la descomposición nutrimental primaria ocurre en la fase mesofílica, mientras que la del carbono orgánico se presenta en la fase termofílica. Esto fue corroborado por Álvarez y Lidén (2009), quienes encontraron que la digestión y la estabilización de los desechos animales para emplear el material orgánico como fertilizante se lleva a cabo en condiciones mesofílicas.

En el Cuadro 28 se presentan las ecuaciones de regresión ajustadas a la tendencia del peso seco, peso fresco y contenido de nitrógeno en el estiércol respecto al tiempo, considerando un año completo de pastoreo de cinco especies de animales, colectando las muestras en el establo y en el bosque del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Cuadro 28. Ecuaciones de la tendencia del peso seco, peso fresco y contenido de nitrógeno en el estiércol durante un año de pastoreo de cinco especies de animales colectado en el establo y el bosque del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Animal	Sitio de la colecta	Ecuación	Coefficiente de determinación
		Peso seco del estiércol	
<b>Bovino</b>	Establo	$y = 0.0004x^2 - 0.297x + 60.23$	$R^2 = 0.993$
<b>Bovino</b>	Bosque	$y = 0.0004x^2 - 0.141x + 42.85$	$R^2 = 0.568$
<b>Caprino</b>	Establo	$y = 0.0004x^2 - 0.240x + 58.38$	$R^2 = 0.872$
<b>Caprino</b>	Bosque	$y = 0.0004x^2 - 0.122x + 27.36$	$R^2 = 0.896$
<b>Equino</b>	Establo	$y = 0.001x^2 - 0.426x + 65.52$	$R^2 = 0.926$
<b>Equino</b>	Bosque	$y = 0.0004x^2 - 0.291x + 55.99$	$R^2 = 0.852$
<b>Ovino</b>	Establo	$y = 0.0004x^2 - 0.213x + 57.20$	$R^2 = 0.999$
<b>Ovino</b>	Bosque	$y = 0.0004x^2 - 0.101x + 28.09$	$R^2 = 0.886$
<b>Porcino</b>	Establo	$y = 0.0004x^2 - 0.240x + 71.69$	$R^2 = 0.999$
<b>Porcino</b>	Bosque	$y = 0.0004x^2 - 0.075x + 49.53$	$R^2 = 0.641$

		Peso fresco del estiércol	
<b>Bovino</b>	Establo	$y = 0.003x^2 - 1.128x + 239.8$	$R^2 = 0.996$
<b>Bovino</b>	Bosque	$y = 0.002x^2 - 0.725x + 198.0$	$R^2 = 0.611$
<b>Caprino</b>	Establo	$y = 0.001x^2 - 0.393x + 113.4$	$R^2 = 0.798$
<b>Caprino</b>	Bosque	$y = 0.001x^2 - 0.225x + 66.81$	$R^2 = 0.914$
<b>Equino</b>	Establo	$y = 0.005x^2 - 1.656x + 231.8$	$R^2 = 0.914$
<b>Equino</b>	Bosque	$y = 0.003x^2 - 1.027x + 197.0$	$R^2 = 0.830$
<b>Ovino</b>	Establo	$y = 0.002x^2 - 0.761x + 163.4$	$R^2 = 0.938$
<b>Ovino</b>	Bosque	$y = 0.001x^2 - 0.321x + 83.99$	$R^2 = 0.959$
<b>Porcino</b>	Establo	$y = 0.002x^2 - 0.978x + 221.7$	$R^2 = 0.979$
<b>Porcino</b>	Bosque	$y = 0.002x^2 - 0.561x + 172.0$	$R^2 = 0.856$
		Porcentaje de N en el estiércol	
<b>Bovino</b>	Establo	$y = 5E-06x^2 - 0.001x + 1.201$	$R^2 = 0.987$
<b>Bovino</b>	Bosque	$y = 4E-06x^2 - 0.001x + 1.272$	$R^2 = 0.674$
<b>Caprino</b>	Establo	$y = 3E-06x^2 - 0.001x + 1.676$	$R^2 = 0.485$
<b>Caprino</b>	Bosque	$y = 6E-06x^2 - 0.002x + 1.527$	$R^2 = 0.665$
<b>Equino</b>	Establo	$y = 1E-06x^2 - 0.0004x + 1.169$	$R^2 = 0.663$
<b>Equino</b>	Bosque	$y = 9E-06x^2 - 0.002x + 1.103$	$R^2 = 0.546$
<b>Ovino</b>	Establo	$y = -3E-06x^2 + 0.0002x + 1.521$	$R^2 = 0.318$
<b>Ovino</b>	Bosque	$y = 6E-06x^2 - 0.002x + 1.528$	$R^2 = 0.533$
<b>Porcino</b>	Establo	$y = 8E-06x^2 - 0.003x + 1.720$	$R^2 = 0.951$
<b>Porcino</b>	Bosque	$y = 3E-07x^2 - 0.001x + 1.633$	$R^2 = 0.803$
		ppm de N en el estiércol	
<b>Bovino</b>	Establo	$y = 0.011x^2 - 4.417x + 741.7$	$R^2 = 0.999$
<b>Bovino</b>	Bosque	$y = 0.006x^2 - 2.449x + 551.4$	$R^2 = 0.864$
<b>Caprino</b>	Establo	$y = 0.013x^2 - 4.890x + 991.2$	$R^2 = 0.995$
<b>Caprino</b>	Bosque	$y = 0.008x^2 - 1.930x + 412.8$	$R^2 = 0.794$
<b>Equino</b>	Establo	$y = 0.013x^2 - 5.013x + 758.4$	$R^2 = 0.863$
<b>Equino</b>	Bosque	$y = 0.010x^2 - 3.768x + 616.0$	$R^2 = 0.850$
<b>Ovino</b>	Establo	$y = 0.009x^2 - 3.493x + 885.0$	$R^2 = 0.804$
<b>Ovino</b>	Bosque	$y = 0.008x^2 - 2.015x + 428.9$	$R^2 = 0.866$
<b>Porcino</b>	Establo	$y = 0.013x^2 - 5.772x + 1219.$	$R^2 = 0.982$
<b>Porcino</b>	Bosque	$y = 0.006x^2 - 1.968x + 799.5$	$R^2 = 0.534$
		kgN por tonelada de estiércol	
<b>Bovino</b>	Establo	$y = 5E-05x^2 - 0.018x + 12.01$	$R^2 = 0.987$
<b>Bovino</b>	Bosque	$y = 4E-05x^2 - 0.018x + 12.72$	$R^2 = 0.674$
<b>Caprino</b>	Establo	$y = 3E-05x^2 - 0.017x + 16.76$	$R^2 = 0.485$
<b>Caprino</b>	Bosque	$y = 6E-05x^2 - 0.021x + 15.27$	$R^2 = 0.665$
<b>Equino</b>	Establo	$y = 1E-05x^2 - 0.007x + 11.69$	$R^2 = 0.663$
<b>Equino</b>	Bosque	$y = 9E-05x^2 - 0.027x + 11.03$	$R^2 = 0.546$
<b>Ovino</b>	Establo	$y = -3E-05x^2 + 0.001x + 15.21$	$R^2 = 0.318$
<b>Ovino</b>	Bosque	$y = 8E-05x^2 - 0.032x + 15.44$	$R^2 = 0.804$
<b>Porcino</b>	Establo	$y = 8E-05x^2 - 0.037x + 17.20$	$R^2 = 0.951$
<b>Porcino</b>	Bosque	$y = 3E-06x^2 - 0.009x + 16.33$	$R^2 = 0.803$

Los cambios en los distintos indicadores (peso seco, peso fresco y contenido de nitrógeno) fueron muy diferentes entre el estiércol de cada una de las especies de animales que se evaluaron, lo que se atribuye al tipo de alimentación de la que disponen los animales en el establo y cuando están en pastoreo en el bosque.

El impacto benéfico del estiércol en el bosque podría tener un efecto residual por al menos cuatro años, cifra a la que llegaron Kihanda *et al.* (2006) en terrenos similares a los del presente estudio por la concentración de nutrientes y contenido de carbono orgánico edáfico remanente, el cual declinó en 80% al cabo de nueve años. Por tales razones, los autores antes mencionados sugieren que sería suficiente si se aplica el estiércol intermitentemente sería suficiente para cubrir el requerimiento nutrimental de los cultivos sin necesidad de adicionar fertilizantes, aunque según Johnson *et al.* (2011), en Estados Unidos se han desarrollado nuevas tecnologías para incorporar de manera directa las excretas del ganado pero sus beneficios agronómicos y de tipo ambiental aún no han sido cuantificados.

### **5.3.2 Crecimiento y desarrollo de la manada**

La productividad de la manada se estimó por medio de las siguientes variables: índice de fecundidad, que comprende el total de animales nacidos entre el número de hembras en edad reproductiva; índice de mortalidad, porcentaje de animales que mueren en relación a los nacidos; e índice de extracción, que comprende el porcentaje de animales vendidos en relación al número de animales existentes.

#### **5.3.2.1. Caprinos**

La evolución productiva del rebaño caprino que pastoreó en bosque de encino y por la tarde se alojó en corrales recibiendo complemento alimenticio, se presenta en el Cuadro 29.

Los resultados que aparecen en el Cuadro 29, indican que en marzo y abril se presentaron más nacimientos. En cuanto a mortalidad ocho cabritos murieron en el año, registrándose 27% de mortalidad en abril. Esta situación se debe a la presencia de enfermedades o a deficiencias en la alimentación. La mortalidad registrada durante la investigación está por debajo a lo reportado en sistemas extensivos donde se ha registrado 50% de mortalidad (Mellado, 1997). Mientras que Ramírez *et al.* (2001) reportaron 24.3% de mortalidad en cabritos durante los primeros tres meses de vida bajo condiciones extensivas.

El tamaño del rebaño de cabritos disminuyó a partir de junio, momento en el que se realizó la venta de los animales, teniendo 37% de extracción. Durante el todo el año 54.4% del rebaño se destinó a la venta. En lo referente a la fertilidad, aproximadamente 50% de las hembras en edad reproductiva parieron cabritos en marzo, con una caída notable en mayo, que se relaciona a la estacionalidad de las pariciones.

Cuadro 29. Indicadores productivos de caprinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Mes	Nacimiento de cabritos	Muerte de cabritos	Índice de mortalidad (%)	Índice de extracción (%)	Índice de fertilidad (%)	Existencia de hembras	Existencia de cabritos
F	0	0	0	0	0	28	0
M	13	0	0	0	48.1	27	13
A	11	3	27	0	40.7	27	21
M	2	0	0	0	7.7	26	23
J	4	0	0	37	15.4	26	27
J	0	0	0	0	0	26	17
A	0	3	0	14.3	0	32	12
S	0	2	0	0	0	32	12
O	0	0	0	0	0	32	10
N	0	0	0	0	0	32	10
D	0	0	0	0	0	32	10
E	0	0	0	0	0	32	10

La productividad de las cabras se considera aceptable cuando supera 40% de fertilidad, al respecto en este trabajo se obtuvieron valores similares en dos meses, al respecto se ha mencionado que para elevar el índice de fertilidad se debe considerar la raza, el manejo animal y el sistema productivo (Martínez, *et al.*, 2005).

### 5.3.2.2. Ovinos

En el Cuadro 30 se muestra el desarrollo productivo del rebaño ovino que apacentó en bosque y recibió alimentación complementaria en los corrales.

Durante la investigación se tomaron registros productivos de los ovinos, encontrando que el mayor nacimiento de corderos sucedió durante la temporada de primavera, lo cual se explica porque los animales son estacionales, además de que se realiza el empadre del rebaño en la parte final del otoño. Por lo que

respecta a la mortalidad aumentó en mayo, llegando a 20%. Este índice se considera alto, porque Southey *et al.* (2004), reportaron 14.7% de mortalidad asociada principalmente a vulnerabilidad de los corderos en los primeros días de vida, enfermedades respiratorias, lesiones y falta de atención de la oveja.

Cuadro 30. Indicadores productivos de ovinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Mes	Nacimiento de corderos	Muerte de corderos	Índice de mortalidad (%)	Índice de extracción (%)	Índice de fertilidad (%)	Existencia de hembras	Existencia de corderos
F	0	0	0	0	0	148	0
M	21	0	0	0	14.4	146	21
A	41	1	2.4	0	28.1	146	61
M	25	5	20	0	17.4	144	81
J	12	0	0	0	8.4	143	93
J	0	0	0	0	0	143	93
A	0	0	0	0	0	143	93
S	0	0	0	62.4	0	140	58
O	0	0	0	28.9	0	139	45
N	0	0	0	12.5	0	139	40
D	0	0	0	5.3	0	139	38
E	0	0	0	5.6	0	139	36

En el Cuadro 30 se observa que el incremento de corderos alcanzó un máximo durante la temporada de lluvia y posteriormente descendió a partir de septiembre en que inicia la temporada de estiaje y en que se realiza la venta de los corderos. La fertilidad de los ovinos fue baja de acuerdo a la proporción de ovejas, debido a factores como el manejo animal, nutrición, edad de las hembras o sistema de producción. En el año se obtuvo 68.3% de fertilidad, porcentaje inferior al 72.5% reportado en fertilidad con ovinos en pastoreo (Casas *et al.*, 2005).

### 5.3.2.3. Porcinos

El manejo de la piara comprendió pastoreo durante el día en el bosque y por la tarde en encierro se complementó su alimentación, obteniéndose la siguiente respuesta productiva que se presenta en el Cuadro 31.

El mayor nacimiento de lechones se presentó en noviembre, mientras que las muertes se registraron al finalizar el año, siendo de 25% en diciembre. El índice de

mortalidad es elevado, ya que en un sistema semiintensivo porcino se reportó 15% de muertes en lechones próximos al destete (Baxter *et al.*, 2009).

Cuadro 31. Indicadores productivos de porcinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Mes	Nacimiento de lechones	Muerte de lechones	Índice de mortalidad (%)	Índice de extracción (%)	Índice de fertilidad (%)	Existencia de hembras	Existencia de lechones
F	1	0	0	0	12.5	8	1
M	12	0	0	0	109.1	11	12
A	0	0	0	7.7	0	11	13
M	17	0	0	17.2	154.5	11	29
J	0	0	0	20.8	0	11	24
J	6	0	0	0	54.5	11	30
A	17	0	0	0	154.5	11	47
S	0	0	0	17	0	11	39
O	12	1	8	54	92.3	13	23
N	36	1	3	29.3	327.3	11	41
D	16	4	25	56.6	145.5	11	23
E	14	0	0	0	140.0	10	37

El índice de extracción aumentó al finalizar el año, esta situación está relacionada con el mayor nacimiento de lechones. Estos indicadores de la evolución de lechones en el año muestran que en el segundo semestre la piara fue más productiva.

Generalmente los cerdos son muy fértiles por el número de lechones que nacen por camada, teniendo hasta dos partos por año, situación que se refleja en el índice de fertilidad. Pero al determinar el promedio de lechones nacidos mensualmente por el número de cerdas, la proporción máxima fue de cuatro lechones por hembra. De manera que este indicador es bajo si se compara con sistemas de producción intensivos, donde las cerdas llegan a tener diez lechones por camada, además se dispone de cuidado animal continuo, se cuenta con razas especializadas y se tiene como objetivo incrementar la producción animal (Kyriazakis y Whittemore, 2006).

#### 5.3.2.4. Equinos

La caballada tuvo un máximo de seis yeguas y sólo una parió en el año, por otra parte la mayoría de los equinos presentes en este centro experimental de la

UNAM, se destinan a investigación teniendo un efecto sobre la productividad que aparece en el Cuadro 32.

Cuadro 32. Indicadores productivos de equinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Mes	Nacimiento de potros	Muerte de potros	Índice de mortalidad (%)	Índice de extracción (%)	Índice de fertilidad (%)	Existencia de hembras	Existencia de potros
F	0	0	0	0	0	6	0
M	0	0	0	0	0	6	0
A	0	0	0	0	0	6	0
M	0	0	0	0	0	2	0
J	0	0	0	0	0	2	1
J	1	0	0	0	50.0	2	1
A	0	0	0	0	0	2	1
S	0	0	0	0	0	2	1
O	0	0	0	0	0	2	1
N	0	0	0	0	0	6	1
D	0	0	0	0	0	6	1
E	0	0	0	0	0	6	1

De acuerdo con el cuadro anterior, la caballada no tuvo movimientos notables en relación con las otras especies animales, la explicación a este hecho es que solo nació un potro. Durante el tiempo en que se realizó la investigación el potro sobrevivió y permaneció en el rancho. En la caballada se obtuvo 50% de fertilidad, puesto que se contaba con dos yeguas al momento del nacimiento. Sobre la fertilidad de equinos se ha mencionado que los caballos tienen baja eficiencia reproductiva en comparación con ganado de carne, cerdos y borregos, de forma que este índice llega a oscilar de 40 a 50% y puede disminuir por el manejo reproductivo (Gordon, 2000).

#### 5.3.2.5. Bovinos

El hato de bovinos en el campo experimental de la UNAM estaba constituido por animales criollos y heterosis de ganado Holstein que se cruzaron con un semental Limousine, cuya respuesta productiva se presenta en el Cuadro 33.

En el transcurso del año nacieron seis becerros y no se presentaron muertes, por la adaptabilidad y rusticidad de los bovinos. Por otra parte, el índice de extracción, fue igual en junio y agosto, cuatro becerros machos se vendieron en total. En

cuanto al número de existencias, éstas llegaron a un máximo de tres a la mitad del año durante tres meses. La fertilidad en bovinos permite observar que en mayo y junio parieron dos vacas y durante el año de once vacas existentes parieron seis, lo cual representa 54.4% de fertilidad en el hato. Este indicador se considera regular para ganado de doble propósito en pastoreo y aceptable cuando rebasa el 65%, (FIRA, 1989). Otros autores, reportaron 77.9% de fecundidad en cruza de ganado de carne con lechero en sistemas semiintensivos (Wolfová *et al.*, 2007).

Cuadro 33. Indicadores productivos de bovinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino del campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Mes	Nacimiento de becerros	Muerte de becerros	Índice de mortalidad (%)	Índice de extracción (%)	Índice de fertilidad (%)	Existencia de hembras	Existencia de becerros
F	0	0	0	0	0	12	0
M	0	0	0	0	0	12	0
A	0	0	0	0	0	12	0
M	2	0	0	0	16.7	12	2
J	1	0	0	66.7	8.3	12	3
J	2	0	0	0	16.7	12	3
A	0	0	0	66.7	0	11	3
S	0	0	0	0	0	11	1
O	0	0	0	0	0	11	1
N	0	0	0	0	0	11	1
D	1	0	0	0	9.1	11	2
E	0	0	0	0	0	11	2

### 5.3.3 Ganancia de peso, existencias de animales en pastoreo y encierro

#### 5.3.3.1. Caprinos

El manejo del rebaño caprino y la venta de animales tuvieron implicaciones en la ganancia de peso y existencias durante el año de estudio, que se indican en el Cuadro 34.

A través del año se observó que en cinco meses hubo pérdida de peso debido al nacimiento de cabritos a partir de marzo y al finalizar el año, situación que se atribuye a la escasez de forraje.

La ganancia de peso en los caprinos se presentó de junio a noviembre a pesar de que disminuyó el tamaño del rebaño, esta situación se debió a la presencia de

animales jóvenes que estaban en crecimiento, en los cuales se expresa más la ganancia de peso por la formación de músculo.

Cuadro 34. Tamaño, peso y ganancia de peso del rebaño caprino en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino y en encierro en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Mes	Tamaño del rebaño	Peso del rebaño (kg)	Ganancia de peso del rebaño (kg)
F	41	1933	403
M	52	1563	-370
A	68	1560	-3
M	70	1411	-149
J	52	1259	-152
J	52	1334	75
A	52	1451	117
S	52	1479	28
O	52	1622	143
N	52	1718	96
D	52	1607	-111
E	52	1479	-128

Las cabras en pastoreo son selectivas y cuando el pastizal o agostadero carece de vegetación tienen que recorrer mayores distancias para encontrar alimento por lo que el tiempo de pastoreo disminuye, de tal forma que la dieta varía y llega a afectar la ganancia de peso (Echavarría *et al.*, 2006). Por otra parte, cuando la disponibilidad de forraje es insuficiente para los caprinos tienden a consumir plantas tóxicas o con bajo aporte nutrimental que afectan su condición corporal, disminuyendo la ganancia de peso como su productividad (Walker *et al.*, 2007; Mellado *et al.*, 2003).

#### 5.3.3.2. Ovinos

La disponibilidad de forraje asociada a las condiciones climáticas en el año, fueron factores determinantes en la ganancia de peso de los borregos que se muestran en el Cuadro 35.

Cuadro 35. Tamaño, peso y ganancia de peso del rebaño ovino en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino y en encierro en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Mes	Tamaño del rebaño	Peso del rebaño (kg)	Ganancia de peso del rebaño (kg)
F	180	10544	1070
M	199	8813	-1731
A	240	8795	-18
M	258	5988	-2807
J	269	6831	843
J	268	7120	289
A	264	8758	1638
S	226	8592	-166
O	212	8818	226
N	206	9743	925
D	204	9428	-315
E	202	9908	480

En los resultados anteriores se observó que la ganancia de peso varió por los cambios en el tamaño del rebaño, mientras que de junio a agosto la ganancia de peso se estabilizó, a consecuencia del inicio de la temporada de lluvia en la que mejoró la calidad y disponibilidad del forraje. Posteriormente, disminuyó el rebaño y al final de año la ganancia de peso mejoró, porque los animales se complementaron con alimento para iniciar el empadre.

En cuanto a la pérdida de peso, ésta sucedió en marzo y mayo que comprendió la época de sequía. Esta situación llevó a complementar la alimentación de los animales, especialmente de aquellos que se encontraban en crecimiento o etapa reproductiva. Esta medida es recomendable cuando el forraje no cubre las necesidades de los animales, de tal forma que el complemento alimenticio permite disminuir la pérdida de peso y enfrentar momentos difíciles como el estiaje (Hess *et al.*, 2008; Godfrey y Dodson, 2003).

Cuando no se dispone de forraje de calidad se pueden implementar otras acciones como introducir animales en etapa no reproductiva o de desecho, que

puedan aprovechar la vegetación disponible para su mantenimiento, aunque no se obtengan ganancias de peso (Snowder *et al.*, 2001).

### 5.3.3.3. Porcinos

La ganancia de peso de los cerdos en silvopastoreo y el desarrollo de la piara durante un año en el centro de investigación de la UNAM se presenta en el Cuadro 36.

Cuadro 36. Tamaño, peso y ganancia de peso de los porcinos en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino y en encierro en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Mes	Tamaño de la piara	Peso de la piara (kg)	Ganancia de peso de la piara (kg)
F	19	1927	107
M	31	1819	-108
A	30	1921	102
M	42	1936	15
J	37	1966	30
J	43	2021	55
A	60	2036	15
S	52	1876	-160
O	36	1970	94
N	45	1949	-21
D	31	1453	-496
E	38	1496	43

El peso en la piara a través del año presentó diferencias entre el máximo y mínimo de peso de 583 kilos, apreciándose una caída al finalizar el año debido a la venta de cerdos. La variabilidad en cuanto a peso de la piara se adjudica a los nacimientos y ventas de cerdos. Los cerdos en pastoreo se alimentaron de forraje, raíces, semillas o insectos y una vez estando en encierro recibían avena y alimento comercial. La baja ganancia de peso de los cerdos en pastoreo se debió a que los animales realizaron mayores recorridos en la búsqueda de alimento, incrementando sus demandas de energía y pérdida de peso (Rachuonyo *et al.*, 2005; Sehested *et al.*, 2004). Aunque nos es fácil aumentar la ganancia de peso de los cerdos en pastoreo, ésta puede mejorar al aumentar la carga animal evitando la selección de vegetación, así como introducir animales en etapa de finalización (Rodríguez *et al.*, 2009; Rachuonyo *et al.*, 2002).

#### 5.3.3.4. Equinos

La caballada se caracterizó por ser pequeña con flujo continuo de animales que determinó su composición, modificando la ganancia de peso que se presenta en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Tamaño, peso y ganancia de peso de la caballada en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino y en encierro en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Mes	Tamaño de la caballada	Peso de la caballada (kg)	Ganancia de peso de la caballada (kg)
F	11	3565	215
M	11	3553	-12
A	10	3158	-395
M	11	3131	-27
J	11	3040	-91
J	11	2978	-62
A	11	3013	35
S	11	3053	40
O	11	3163	110
N	11	3306	143
D	10	3290	-16
E	9	2752	-538

En la caballada se presentaron pérdidas de peso, la mayor parte del año. Aunque en términos generales se muestra constante el número de caballos, durante el año hubo cambios en la entrada y salida de equinos, debido a que algunos animales se llevaban a otro rancho de la UNAM, mientras arribaron otros. A partir de agosto la ganancia de peso mejoró debido a la presencia de un potrero en crecimiento. La alimentación de los caballos en pastoreo durante el año se caracterizó por el consumo de zacate y pastos fibrosos con limitado aporte nutrimental que influyeron sobre el peso de la caballada.

Lo anterior, coincide con lo reportado por Rheinhardt y Rheinhardt (2004), quienes señalaron que los caballos en el bosque consumen preferentemente rebrotes y en segundo orden, hierbas en función de su disponibilidad y condiciones naturales.

Para mejorar la ganancia de peso en caballos en pastoreo se debe contar con forraje de calidad, además de implementar el método de pastoreo rotacional para aprovechar el forraje (Webb *et al.*, 2009), sin embargo esta situación no se presentó en la investigación realizada en Chapa de Mota por las condiciones particulares del bosque, así como por el manejo de los equinos. Por otra parte, la pérdida de peso observada en los caballos ocurrió porque los animales no estaban destinados a trabajo de carga o tiro y generalmente estaban en corrales con dietas de mantenimiento.

Es evidente que un alimento de calidad se reflejará en la ganancia de peso, sin embargo hay estudios en los que se ha reportado que el consumo de forraje lignificado aunque no mejore la ganancia de peso, permite el mantenimiento y puede reducir problemas digestivos en los caballos (Miraglia *et al.*, 2006; Hoskin y Gee, 2004).

#### 5.3.3.5. Bovinos

La ganancia de peso del hato apacentando en bosque y su desarrollo durante el año de estudio se presenta en el Cuadro 38.

Cuadro 38. Tamaño, peso y ganancia de peso del hato en pastoreo con enfoque holístico en un bosque de encino y en encierro en el campo experimental del CEIEPASP en Chapa de Mota.

Mes	Tamaño del hato	Peso del hato (kg)	Ganancia de peso del hato (kg)
F	21	6578	52
M	20	6826	248
A	19	6835	9
M	21	6790	- 45
J	20	6397	- 393
J	22	6420	23
A	19	6840	420
S	19	6717	- 123
O	19	6951	234
N	19	7270	319
D	20	7260	-10
E	20	7390	130

El peso del hato presentó un aumento a partir de julio hasta finalizar el año, exceptuando el mes de septiembre. El incremento de peso se debe a que un par

de vacas recibieron una alimentación complementaria, porque estaban criando becerros. El inventario promedio de bovinos osciló entre los veinte animales en el año pero se presentaron movimientos debido a la muerte de vacas y venta de becerros.

La ganancia de peso en pastoreo resulta compleja cuando el forraje no cubre las necesidades de los animales, situación que se agudiza durante el estiaje, de tal forma se ha recurrido a aplicar melaza por aspersion sobre la vegetación para estimular el consumo por el ganado y así evitar la pérdida de peso (Derek, *et al.*, 2001; Mayer *et al.*, 2003).

Por su parte, Casusus *et al.* (2002), reportaron que el pastoreo en bosque no cubre los requerimientos de los bovinos afectando su productividad, situación que se observó en el primer cuatrimestre del año donde aumentó el hato y hubo pérdida de peso asociado a baja disponibilidad de forraje.

## VI. Conclusiones

Las variables químicas edáficas evaluadas (pH, conductividad eléctrica, N, P y K) fueron estadísticamente iguales sin distingo de la profundidad del suelo y la pendiente del terreno, en las áreas con pastoreo y en las que se permite la introducción del ganado.

La introducción de la manda mixta al bosque permitió realizar un pastoreo uniforme y aprovechar la vegetación nativa. La abundancia de la vegetación del bosque no se afectó como consecuencia del pastoreo, en comparación con lo que existe en las áreas naturales, a pesar de que se fuerza a la manada a remover la vegetación incluyendo la no lábil (lignificada). El cambio de la biomasa vegetal se asoció en ambos casos (con y sin pastoreo) significativamente a la temporada de lluvia y de estiaje.

La respuesta productiva de la manada en el bosque fue baja, si se compara con sistemas de producción intensivos que disponen de infraestructura. Sin embargo, los animales se mantuvieron no importando la limitada calidad y disponibilidad de forraje, además de permitir su reproducción.

El bosque es una fuente de recursos naturales que puede ser aprovechado mediante el pastoreo con enfoque holístico, ya que es viable mantener la producción animal sin afectar negativamente el entorno.

El manejo holístico incluyó la planeación de las áreas de pastoreo, superficie del cuadrante donde se alimenta la manada, duración del ganado en cada pastizal, tiempo de recuperación de la biomasa vegetal acorde a las condiciones del marco físico, movimiento súbito de los animales para evitar la compactación del terreno a través del uso de la torta ganadera, remoción e ingesta de la vegetación de manera dirigida mediante el tirol ganadero. En este estudio se demostró que dichas prácticas de manejo son las convenientes para que no se afecte el ecosistema evaluado, por lo que el pastoreo holístico es un ejemplo de cómo debe ajustarse la actividad ganadera a condiciones ambientales específicas.

## VII. Literatura citada

- Álvarez, R., and G. Lidén. 2009. Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure for improved methane production. *Biomass and Bioenergy* 33: 527-533.
- Bardgett, R.D. and Wardle, D.A. 2010. *Aboveground-Belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global Change*. Oxford Series in Ecology and Evolution, Oxford University Press.
- Bell, W.L., J.A. Kirkegaard, A. Swan, J.R. Hunt, N.I. Huth, and N.A. Fettell. 2011. Impacts of soil damage by grazing livestock on crop productivity. *Soil and Tillage Research* 113: 19-29.
- Bhogal, A., F.A. Nicholson, I. Young, C. Sturroock, A.P. Whitmore, and B.J. Chambers. 2011. Effects of recent and accumulated livestock manure carbon additions on soil fertility and quality. *European Journal of Soil Science* 62: 174-181.
- Casas, E., B. A. Freaking, and K. A. Leymaster. 2005. Evaluation of Dorset, Finnsheep, Romanov, Texel., and Montadale breeds of sheep: V. reproduction of F1 ewes in spring mating seasons. *Journal Animal Science* 83: 2743-2751.
- Casas, P. V. 2001. Otra visión para el campo en México producción agro silvopastoril con visión holística. En: Ruíz, F. J. *Producción animal orgánica*. UACH. México. 188 p.
- Casasus, I., A. Sanz., D. Villalba, R. Ferrer, and R. Revilla. 2002. Factors affecting animal performance during the grazing season in mountain cattle production system. *Journal of Animal Science* 80: 1638-1651.
- Cingolani, A.M., Noy-Meir, I. & Diaz, S. 2005. Grazing effects on rangeland diversity: a synthesis of contemporary models. *Ecological Applications* 15: 757-773.
- Conway, M.G. 2000. The effects of grazing exclusion on a long-grazed species-rich Riverina grassland. Honours Thesis, Charles Sturt University, Wagga Wagga, Australia.
- Del Pozo, A., C. Ovalle, M. A. Casado, B. Acosta, and J. M. De Miguel. 2006. Effects of grazing intensity in grasslands of the Espinal of central Chile. *Journal of Vegetation Science* 17: 791-798.
- Derek, W. B., G. R. Welling, and T. E. Miller. 2001. Cattle use of foothills rangeland near dehydrated molasses supplement. *Journal of Range Management* 54: 338-347.
- Derner, J.D., and G.E. Schuman. 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management effects. *Journal of Soil and Water Conservation* 62: 77-85.

- Díaz, S., Noy-Meir, I. & Cabido, M. 2001. Can grazing response of herbaceous plants be predicted from simple vegetative traits. *Journal of Applied Ecology* 38: 497-508.
- Dorrough, J., J. Ash, and S. McIntyre. 2004. Plant responses to livestock grazing frequency in an Australian temperate grassland. *Ecography* 27: 798-810.
- Echavarría, C. F., L. R. Gutiérrez, R. R. Ledesma, V. R. Bañuelos, S. J. Aguilera, y P. A. Serna. 2006. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano. I *Vegetación nativa. Técnica Pecuaria México* 44 (2): 203-217.
- Elmore, J. A., and P. G. Asner. 2006. Effects of grazing intensity on soil carbon stocks following deforestation of a Hawaiian dry tropical forest. *Global Change Biology* 12: 1761-1772.
- Eick MJ, DL. Sparks, A. Bar-Tal and S. Feigenbaum. 1995. Analyses of Adsorption Kinetics Using a Stirred-Flow Chamber: II. Potassium-Calcium Exchange on Clay Minerals. *Soil Science Society of America Journal* 59: 760-765.
- Flamenco Sandoval, F.A. 2009. Evaluaciones de la deforestación en México. Aplicaciones del sistema MODIS para el monitoreo del territorio. CIGA. UNAM, México.
- FIRA. 1989. Ganado bovino productor de leche. Ed. Banco de México. México. 534 p.
- Fox, R. H, and W. P. Piekielek. 1978. Field testing of several nitrogen availability indexes. *Soil Science Society of America Journal* 42: 747-750.
- FRA. 2005. Terms and definitions. Global Forest Resources Assessment Update. Forestry Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 33 pp.
- Ganjugunte, G.K., G.F. Vance, C.M. Preston, G.E. Schuman, L.J. Ingram, P.D. Stahl, and J.M. Welker. 2005. Influence of different grazing management practices on soil organic carbon constituents in a northern mixed-grass prairie. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1746-1756.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, 4ª ed. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Garlipp, F., F. E. Hessel , and F. A. Vanden Weghe. 2011. Characteristics of gas generation (NH<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) from horse manure added to different bedding materials used in deep litter bedding systems. *Journal of Equine Veterinary Science* s/v: 1-13.
- Gichangi, M.E., P.N.S. Mnkeni and P.C. Brookes. 2010. Goat manure application improves fertilizer effectiveness through enhance biological cycling of phosphorus. *Soli Science and Plant Nutrition* 56: 853-860.

- Godfrey, W. R, and E. R. Dodson. 2003. Effect of supplemental nutrition around lambing on hair sheep ewes and lamb during the dry and wet seasons in the U. S. Virgin Island. *Journal of Animal Science* 81: 587-593.
- Gordon, I. 2000. Controlled reproduction in horses, deer and camelids. CAB International. United Kingdom. 215 p.
- Greenwood, K.L., McKenzie, B.M., 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental. Agriculture* 41: 1231-1250.
- Guppy, C. NW. Menzies, F.P.C. Blamey, and PW. Moody. 2005. Do Decomposing Organic Matter Residues Reduce Phosphorus Sorption in Highly Weathered Soils? *Soil Science Society of America Journal* 69:1405-1411.
- Hess, W. B., E. G. Moss, and C. D. Rule. 2008. A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *Journal of Animal Science* 86 (E. Suppl.): 188-204.
- Hoskin, S. O, and E. K. Gee. 2004. Feeding value of pastures for horses. *New Zealand Veterinary Journal* 52 (6): 332-341.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1988. Atlas nacional de medio físico. INEGI. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2008. Principales productores pecuarios por entidad federativa. INEGI. México.
- Ingram, J.L., P.D. Stahl, G.E. Schuman, J.S. Buyer, G.F. Vance, G K. Ganjegunte, J.M. Welker and J.D. Derner. 2007. Grazing Impacts on Soil Carbon and Microbial Communities in a Mixed-Grass Ecosystem. *Soil Science Society of America Journal* 72: 939-948.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Jardine, P.M. and D.L. Sparks. 1990. Potassium-Calcium Exchange in a Multireactive Soil System: I. Kinetics. *Soil Science Society of America Journal* 54: 739-744.
- Jarvis, S.C. 1993. Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil Use and Management*, 9: 99-104.
- Jonhson, N.K. P.J.A. Kleinman, B.D. Beegle, A.H. Elliott, and S.L. Saporito. 2011. Effect dairy manure slurry application in a no-till system on phosphorus runoff. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 90: 201-212.
- Kihanda, F.M., G.P. Warren and A.N. Micheni. 2006. Effect of application on crop yield and soil chemical properties in a long term field trial of semi-arid Kenya. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76: 341-354.

- Kyriazakis, I, and C. T. Whittmore. 2006. Science and practice of pig production. Ed. Blackwell. United Kingdom. 685 p.
- Kondoh, M. 2001. Unifying the relationships of species richness to productivity and disturbance. Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences 268: 269-271.
- Li, Q., E. Mayzlish, I. Shamir, S. Pen-Mouratov, M. Sterberg, and Y. Steinberger. 2005. Impact of grazing on soli biota in a Mediterranean grassland. Land Degradation and Development 16: 581-592.
- Li. X. G., F. Z. Wang, Q. F. Ma, and F. M. Li. 2007. Crop cultivation and intensive grazing affect organic C pools and aggregate stability in arid grassland Soil. Soil and Tillage Research 95: 172-181.
- Liu W., Fox J.E.D. y Xu, Z. 2000. Leaf litter decomposition of canopy trees, bamboo and moss in a montane moist evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain, Yunnan, south-west China. Ecological Research 15: 435-445.
- López-Hernández, D.,G. Siegert, and J. Rodríguez. 1986. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soils. Soil Science Society of America Journal 50: 1460-1462.
- Loveland, P.J.,Webb, J. & Bellamy, P. 2001. Critical levels of soil organic matter: the evidence for England and Wales. In: Sustainable Management of Soil Organic Matter (eds R.M. Rees, B.C. Ball, C.D. Campbell & C.A. Watson), pp. 23–33. CABI Publishing, Wallingford.
- Mahecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 15(2): 226-231.
- Martínez, R. R., L. A. Mastache, S. L. Santamaría, y M. J. Valencia. 2005. Comportamiento reproductivo de tres razas caprinas bajo condiciones de trópico seco en Guerrero, México. Veterinaria México 36 (2): 147-157.
- Mayer, C. A., V. Stöckli, C. Huovinen, W. Konold, L. B. Estermann, and M. Kreuzer. 2003. Herbage selection by cattle on sub-alpine wood pastures. Forest Ecology and Management 181: 39-50.
- McIntyre, S., K. M. Heard, and T. G. Martin. 2003. The relative importance of cattle grazing in subtropical grasslands: does it reduce or enhance plant biodiversity? Journal of Applied Ecology 40: 445-457.
- McIntyre, S. and Martin, T. G. 2001. Biophysical and human influences on plant species richness in grasslands: comparing variegated landscapes in subtropical and temperate regions. Austral Ecology. 26: 233-245.

- Miraglia, N., D. Bergero, M. Polidori, P. G. Peiretti, and G. Ladetto. 2006. The effects of a new fibre-rich concentrate on the digestibility of horse rations. *Livestock Science* 100: 10-13.
- Mellado, M. 1997. La cabra criolla en América Latina. *Veterinaria México* 28 (4): 333-343.
- Mellado, M., R. Valdez, M. L. Lara, and R. López. 2003. Stocking rate effects on goats: A research observation. *Journal of Range Management* 56: 167-173.
- Mellek, J.E., J. Dieckow, V. Lopes da Silva, N. Favaretto, V. Pauletti, F.M. Vezzani, and Da Souza. 2010. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a cambisol of Southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 110: 69-76.
- Moral, R., M.J. Caselles, M.D. Pérex-Murcia, A.P. Espinosa, B. Rufete, and C. Paredes. 2005. Characterization of the organic matter pool in manures. *Bioresource Technology* 96: 153-158.
- Morgan, J.W. 2007. Relationship between fire frequency and nitrogen limitation on foliage production in a native grassland community in Victoria, Australia. *The Rangeland Journal* 29: 101–105.
- Noellemeyer, E., Frank, F., Alvarez, C., Morazzo, G., Quiroga, A., 2008. Carbon contents and aggregation related to soil physical and biological properties under a land-use sequence in the semiarid region of Central Argentina. *Soil and Tillage Research*. 99: 179-190.
- Northup BK, Brown JR, Holt JA. 1999. Grazing impacts on the spatial distribution of soil microbial biomass around tussock grasses in a tropical grassland. *Applied Soil Ecology* 13: 259-270.
- Oosterheld, M., and M. Semmartin. 2011. Impact of grazing on species composition: adding complexity to a generalized model. *Austral Ecology* s/v 1-10.
- Ohno, T., and M. Susan Erich. 1997. Inhibitory Effects of Crop Residue-Derived Organic Ligands on Phosphate Adsorption Kinetics. *Journal of Environmental Quality* 26:889-895.
- Olk, DC K. G. Cassman, R. M. Carlson. 1992. Kinetics of Potassium Fixation in Vermiculitic Soils under Different Moisture Regimes. *Soil Science Society of America Journal* 56:1421-1428.
- Osem, Y., Perevolotsky, A. & Kigel, J. 2002. Grazing effect on diversity of annual plant communities in a semi-arid rangeland: interactions with small-scale spatial and temporal variation in primary productivity. *Journal of Ecology* 90: 936-946.

- Petersen, S.O., S. G. Sommer, F. Beline, C. Burton, J. Dach, J. Y. Doumad, A. Leip, T. Misselbrook, F. Nicholson, H. D. Poulsen, G. Provolo, p. Sorensen, B. Vinneras, A. Weiseke, M. P Bernal, R. BOhm, C. Juhasz, and R. Mihelic. 2007. Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. *Livestock Science* 112: 180-191.
- Pires da Silva, A., S. Imhoff, and M. Corsi. 2003. Evaluation of soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. *Soil and Tillage Research* 70: 83-90.
- Pohlman, A. A., Mid J. G. McColl. 1986. Kinetics of metal dissolution from forest soils by soluble organic acids. *Journal of Environmental Quality* 15: 86-92.
- Porazinska, D.L., Bardgett, R.D., Blaauw, M.B., Hunt, H.W., Parsons, A.N., Seastedt, T.R., Wall, D.H., 2003. Relationships at the aboveground–belowground interface: plants, soil biota and soil processes. *Ecological Monographs* 73: 377-395.
- Powers, J.S., and Veldkamp E. 2005. Regional variation in soil carbon and  $\delta C^{13}$  in forests and pastures of northeastern Costa Rica. *Biogeochemistry*, 72: 315-336.
- Preston, C.M., and Trofymow, J.A. 2000. Variability in litter quality and its relationship to litter decay in Canadian forests. *Canadian Journal of Botany* 78: 1269-1287.
- Quiroga, A., R. Fernández, and E. Noellemeyer. 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no till systems. *Soil and Tillage Research* 105: 164-170.
- Radford, B.J., Yule, D.F., Braunack, M., Playford, C., 2008. Effects of grazing sorghum stubble on soil physical properties and subsequent crop performance. *American Journal of Agricultural and Biological Science* 3: 734-742.
- Rachuonyo, H. A., V. G. Allen, and J. J. McGlone. 2005. Behavior, preference for, and use of alfalfa, tall fescue, white clover, and buffalograss by pregnant gilts in an outdoor production system. *Journal of Animal Science* 83: 2225-2234.
- Rachuonyo, H. A., W. G. Pond, and J. J. McGlone. 2002. Effects of stocking rate and crude protein intake during gestation on ground cover, soil nitrate concentration, and sow and litter performance in an outdoor swine production system. *Journal of Animal Science* 80: 1451-1461.
- Ramírez, B. J., J. L. Tórtora, L. M. Hernández, and M. Huerta. 2001. Main causes of mortalities in Dairy goats kids from the Mexican Plateau. *Small Ruminant Research* 41: 77-80.

- Rasool, R., S.S. Kukal, and G. S. Hira. 2007. Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers. *Soil and Tillage research* 96: 64-72.
- Rheinhardt, D. R, and C. G. Rheinhardt. 2004. Feral horses seasonal habitat use on coastal barrier spit. *Journal of Range Management* 57 (3): 253-258.
- Rodríguez, E. V., A. García., F. Peña, and A. G. Gómez. 2009. Foraging of Iberian fattening pigs grazing natural pasture in the dehesa. *Livestock Science* 120: 135-143.
- Rowntree, K., M. Duma, U. Kakembo, and J. Thornes. 2004. Debunking the myth of overgrazing and soil erosion. *Land Degradation and Development* 15: 203-214.
- Rufino, M.C., P. Tittonell, M. T. Van Wijk, A. Castellanos-Navarrete, R. J. Delve, N de Ridder, and K. E. GILLER. 2007. Manure as a key resource within smallholder farming systems: analyzing farm-scale nutrient cycling efficiencies with the NUANCES framework. *Livestock Science* 112: 273-287.
- Ryan, J., G. Estefan, and A. Rashid. 2001. Soil plant and analysis laboratory manual. Second edition. Syria. 172 p.
- Schultz, L. N., J. W. Morgan, and I. D. Lunt. 2011. Effecta of grazing exclusion on plant species richness and phytomass accumulation vary across a regional productivity gradient. *Journal of Vegetation Science* 22: 130-142.
- Sehested, J., K. Soegaard, V. Danielsen, A. Roepstorff, and J. Monrad. 2004. Grazing with heifers and sows alone or mixed: herbage quality, sward structure and animal weight gain. *Livestock Production Science* 88: 223-238.
- SIAP. 2010. Estadísticas básicas de la actividad agrícola y ganadera en México. Servicio de información agroalimentaria y pesquera, SAGARPA.
- Six J, Elliott ET, Paustian K. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 2099-2103.
- Six, J., S. D. Frey, R. K. Thiet, and K. M. Batten. 2006. Bacterial and Fungal Contributions to Carbon Sequestration in Agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 70: 555-569.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Pushpam, K., et al. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B*, 363: 789-813.
- Snowder, D. G., W. J. Walker, L. K. Launchbaugh, and D. L. Van Vleck. 2001. Genetic and phenotypic parameters for dietary selection of mountain big sagebrush (*Artemisa tridentata* Nutt. ssp. *vaseyana* Rydb beetle) in rambouillet sheep. *Journal of Animal Science* 79: 486-492.

- Southey, B. R., S. L. Rodríguez, and K. A. Leymaster. 2004. Competing risks analysis of lamb mortality in a terminal sire composite population. *Journal Animal Science* 82: 2892-2899.
- Sparks, D.L., L.W. Zelazny and D. Martens 1981. Kinetics of Potassium Desorption in Soil using Miscible Displacement. *Soil Science Society of America Journal* 45:1094-1099.
- Sternberg, M., M. Gutman, A. Prevolotsky, E. D. Ungar, and J. Kigel. 2000. Vegetation response to grazing management in a Mediterranean herbaceous community: A functional group approach. *Journal of Applied Ecology* 37: 224-237.
- Tang, Y., H. Zhang, J. L. Schroder, M. E. Payton, D. Zhou. 2007. Animal manure reduces aluminum toxicity in acid soil. *Soil Science Society of America Journal* 71: 1699-1707.
- Vadas, P. A., R.D. Harmel and P. J. A. Kleinman. 2007. Transformations of soil and manure phosphorus after surface application of manure to field plots. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 77: 83-99.
- Vadas PA. and J.T. Sims. 2002. Predicting Phosphorus Desorption from Mid-Atlantic Coastal Plain Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 66: 623-631.
- Velásquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J.L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta* 62. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT, México pp. 21-37.
- Walker, W. J., S. E. Campbell, J. C. Lupton, A. C. Taylor Jr., F. D. Waldron, and Y. S. Landau. 2007. Effects of breed, sex and age on the variation and ability of fecal near-infrared reflectance spectra to predict the composition of goat diets. *Journal of Animal Science* 85: 518-526.
- Webb, G., C. Duey, and S. Webb. 2009. Continuous vs. rotational grazing of cool season pastures by adult horses. *Journal of Equine Veterinary Science* 29 (5): 388-389.
- Whalen, K. J., C. Chang, W. G. Clayton, and P. J. Carefoot. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal* 64: 962-966.
- Wolfová, M., J. Wolf, J. Kvapilík, and J. Kica. 2007. Selection for profit in cattle: II Economic weights for dairy and beef sires in crossbreeding systems. *Journal Dairy Science* 90: 2456-2467.
- Wortmann, C. S., and C. A. Shapiro. 2008. The effects of manure application on soil aggregation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 80: 173-180.

- Wortmann CS, Walters DT. 2006. Phosphorus runoff during four years following composted manure application. *Journal of Environmental Quality* 35: 651-657.
- WWF. 2007. Deforestación en México. Bosques mexicanos. Programa de deforestación de bosques. WWF, México.
- Yang, X.M., C.F Drury, T.Q. Zhang, A. Ajakaiye, C.W. Forsberg, M.Z. Fan, and J.P. Philip. 2008. Short term carbon dioxide emissions and denitrification losses from soils amended with low P manure from genetically modified pigs. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 80: 153-160.
- Zhang, Y. and Y. He. 2006. Solid swine manure with pine sawdust as organic substrate. *Bioresource Technology* 97: 2024-2031.
- Zhou L. X., and J. W. C. Wong. 2000. Microbial Decomposition of Dissolved Organic Matter and Its Control during a Sorption Experiment. *Journal of Environmental Quality* 29: 1852-1856.
- Zhong, W., T. Gu, W. Wang, B. Zhang, X. Lin, Q. Huang, and W. Shen. 2010. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant Soil* 326: 511-522.