

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**



**“EFECTO DEL PASTOREO CON LLAMAS Y VACUNOS
EN LA FUNCIÓN HÍDRICA DEL PASTIZAL”**

Presentada por:

TEODORO BILL YALLI HUAMANI

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGÍSTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Lima – Perú

2017

DEDICATORIA

Primeramente a Dios quien me acompaña en todo momento.

A mis padres Teodoro y Sofía: que me trajeron al mundo y ya partieron a la eternidad que en paz descansen. A mis hermanos por el apoyo, amor y comprensión que me brindaron.

A Virginia y a mis hijos por su inmenso amor, comprensión y por las horas que hemos dejado de compartir para concluir esta Maestría.

AGRADECIMIENTO

Al Ph D. Enrique Flores Mariazza, Patrocinador de la tesis, por su constante apoyo, orientación, consejos y confianza para la realización del presente trabajo de investigación.

Al Ph D. Javier Ñaupari Vásquez y a la Ph D. Lucrecia Aguirre Terrazas por su apoyo y orientación durante mis años de estudio en la maestría. Asimismo, expresar mi más sincero reconocimiento por su amistad y recomendaciones que quedaron plasmados en este trabajo y por las largas jornadas de labor desplegadas. Personas que puedan ser maestros y amigos como ellos existen, pero muy pocos.

Al Equipo Técnico del Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo, contribución y las facilidades brindadas durante la ejecución de la presente investigación, especialmente a mi amigo Raúl Tácuna Céspedes.

A Doris Chávez y Instituto de Montaña por su apoyo y acompañamiento durante la toma de datos y monitoreo en campo.

A la Fundación Mc Knight por el financiamiento de la investigación.

A los comuneros socios del Comité de Investigación Local de Canrey Chico, por brindarme su apoyo en las jornadas de campo durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

Al personal administrativo de la Escuela de PosGrado de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo y orientación efectiva.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| I. INTRODUCCION | 01 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 04 |
| 2.1 Ciclo del Agua y Balance Hidrológico | 04 |
| 2.1.1 Ingresos, tránsito y salidas | 04 |
| 2.1.2 Balance hidrológico del ecosistema | 08 |
| 2.2 Factores que Influencian la Función Hidrológica | 10 |
| 2.2.1 Características de la vegetación | 11 |
| 2.2.2 Características del Suelo. | 17 |
| 2.3. Efecto del Manejo en la Función Hidrológica | 21 |
| 2.3.1 Carga animal | 21 |
| 2.3.2 Sistema de pastoreo | 23 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 29 |
| 3.1 Área de Estudio | 29 |
| 3.2 Tratamientos Experimentales | 31 |
| 3.3 Sistema de pastoreo | 31 |
| 3.4. Indicadores de la función hidrológica | 33 |
| 3.4.1 Biomasa disponible | 33 |
| 3.4.2 Mantillo | 33 |
| 3.4.3 Densidad aparente del suelo | 34 |
| 3.4.4 Tasa de infiltración | 35 |
| 3.4.5 Humedad del suelo | 36 |
| 3.4.6 Diseño Experimental | 37 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 38 |
| 4.1. Biomasa Disponible | 38 |
| 4.2. Cantidad de Mantillo | 43 |
| 4.3. Densidad del Suelo | 47 |
| 4.4. Tasa de Infiltración | 54 |
| 4.5. Humedad del Suelo | 60 |
| V. CONCLUSIONES | 66 |
| VI. RECOMENDACIONES | 67 |

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

68

VIII. ANEXOS

82

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Relación entre la tasa de infiltración, la intensidad de pastoreo con los atributos del suelo y la vegetación. | 14 |
| Tabla 2. Resumen de las relaciones entre la producción de sedimentos y los componentes de las cuencas hidrográficas. | 22 |
| Tabla 3. Atributos de vegetación en los sitios ecológicos. | 30 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. El ciclo del agua y sus principales procesos y vías de circulación. | 05 |
| Figura 2. Medias de tasa de infiltración por tres tipos de vegetación. | 12 |
| Figura 3. Presupuestos de agua y la cantidad de la erosión laminar, la escorrentía, interceptación de roble, pajonal, césped y áreas. | 13 |
| Figura 4. Arquitectura conceptual de un agregado del suelo y cambios causados en la estructura de suelo por el pisoteo en condiciones húmedas y secas. | 18 |
| Figura 5. Conceptos de cambios hidrológicos de un sitio. | 20 |
| Figura 6. Tasa media de de infiltración en cuatro tratamientos de pastoreo después de seis años. | 25 |
| Figura 7. Media de erosión laminar entre los diferentes tratamientos de pastoreo | 27 |
| Figura 8. Descripción del proceso de pastoreo. | 32 |
| Figura 9. Diferimiento y final de los pastoreos | 33 |
| Figura 10. Biomasa: Llamas vs Vacunos | 39 |
| Figura 11. Biomasa: Sitio pastizal regular vs Sitio pastizal pobre | 40 |
| Figura 12. Biomasa : Sitio regular vs Sitio pobre | 41 |
| Figura 13. Mantillo: Llamas vs Vacunos | 43 |
| Figura 14. Mantillo: Sitio regular vs Sitio pobre | 44 |
| Figura 15. Mantillo: Llamas vs Vacas | 45 |
| Figura 16. Densidad del suelo: Llamas vs Vacunos | 48 |
| Figura 17. Densidad del suelo: Sitio regular y Sitio Pobre | 48 |
| Figura 18: Densidad del suelo; Sitio regular vs Sitio pobre | 49 |
| Figura 19. Tasa de Infiltración: vacunos y llamas | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 20. Tasa de Infiltración: Sitio pobre | 55 |
| Figura 21. Tasa de Infiltración: Sitio regular | 56 |
| Figura 22. Humedad del suelo (%) entre Llamas y Vacas | 60 |
| Figura 23. Humedad del suelo: Sitio regular y pobre | 61 |
| Figura 24. Humedad del suelo (%) al final del pastoreo Sitio regular vs sitio pobre | 62 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Pág. |
|---|------|
| Anexo 1. Biomasa del pastizal, diferido final, pastoreo final | 83 |
| Anexo 2. Mantillo del pastizal, diferido final, pastoreo final | 84 |
| Anexo 3. Densidad aparente final del diferimiento | 85 |
| Anexo 4. Densidad aparente, final del pastoreo | 86 |
| Anexo 5. Humedad de suelo, diferido final, pastoreo final | 87 |
| Anexo 6. Tasa de infiltración del agua | 88 |
| Anexo 7. Formatos de censos de vegetación (Parker) | 89 |
| Anexo 8. Formatos de tendencia del pastizal | 90 |
| Anexo 9. Formato de toma muestras de biomasa y mantillo del pastizal | 91 |
| Anexo 10. Formatos para de toma de muestras de la densidad del suelo | 92 |
| Anexo 11. Formatos para de toma de muestras de la infiltración del agua | 93 |
| Anexo 12. Formatos para de toma de muestras de la humedad del suelo | 94 |
| Anexo 13. Cuadro de resultados de análisis estadístico, biomasa, mantillo del pastizal; densidad del suelo, humedad del suelo | 95 |

RESUMEN

Se realizó una investigación bajo un enfoque participativo en un ecosistema montañoso de la Cordillera Blanca (Región Ancash). El objetivo del estudio fue evaluar el impacto del pastoreo con vacas y llamas en la función hídrica en dos sitios ecológicos de pajonal, uno dominado por la asociación *Festuca humilior* - *Carex ecuadorica* y otro por *Calamagrostis macrophylla* - *Stipa brachiphylla*, ambos manejados bajo un régimen de pastoreo diferido. El área experimental fue diferida al inicio de lluvias hasta que las especies claves *F. humilior* y *C. macrophylla* diseminaron sus semillas. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2 donde los factores fueron las especies animales y sitios ecológicos, con medidas repetidas tomadas y al final del diferimiento y final del pastoreo, y se utilizó como covariable el estado de los parámetros evaluados al inicio del pastoreo. Se estudiaron los cambios ocurridos en biomasa, mantillo, densidad aparente del suelo, tasa de infiltración y humedad del suelo. Los resultados demostraron que en ambos sitios ecológicos hubo una mayor biomasa en los potreros pastoreados con llamas (1398 KgMS/ha) en comparación con los vacunos (1226 KgMS/ha) ($p < 0.01$) y con una similar respuesta para el mantillo (65 KgMS/ha vs 50 KgMS/ha) ($p < 0.01$), respuesta explicada por una mayor cantidad de biomasa residual y mantillo post-pastoreo y una mayor compactación del suelo con los vacunos (0.88 g/cc) que con las llamas (0.86g/cc) ($p < 0.01$). No se observaron diferencias significativas en las tasas de infiltración, sin embargo se apreció una tendencia favorable al pastoreo con llamas (sitio pobre, 0.14 vs 0.06 cm/min; sitio regular: 0.18 vs 0.17 cm/min). Finalmente, la humedad fue superior ($p < 0.01$) en los pastoreos con llamas (29%) en comparación a los vacunos (26%). Se concluyó que la mejor respuesta hídrica del pastizal fue obtenido con el manejo del pastoreo con llamas, debido principalmente a que ejercen una menor compactación sobre el suelo. Se recomendó evaluar el impacto del pastoreo diferido en comparación con el descanso rotativo sobre la función hidrológica del pastizal de condiciones diferentes y con variaciones en la carga, a fin de establecer el rol del mantillo en el balance hidrológico y su interacción con la disponibilidad de la biomasa vegetal en diferentes tipos de vegetación.

Palabras claves: *Diferido, vacas, llamas, biomasa, mantillo, densidad, infiltración, humedad, suelo y pastizal.*

ABSTRACT

A research was carried out under a participatory approach in a mountain ecosystem of the Cordillera Blanca (Ancash Region). The goal of this study was to assess the impact of grazing on cattle and llamas in the water function in two grassland sites. One dominated by the *Festuca humilior* - *Carex ecuadorica* association and the other one by *Calamagrostis macrophylla* - *Stipa brachiphylla*. Both were managed under different grazing systems. The experimental area was delayed at the beginning of rainfall until the key species *F. humilior* and *C. macrophylla* disseminated their seeds. A completely randomized design (CRD) with 2x2 factorial arrangement was used in which the factors were the animal species and the grassland sites with repeated measures taken and at the end of the delay and the end of the grazing, and the status of the parameters evaluated at the beginning of grazing changes were observed in available biomass, mulch, soil bulk density, infiltration rate and soil moisture. The results showed that in both ecological sites there was a higher biomass in llamas grazed pastures (1398 kg/ha) compared to cattle (1226 kg/ha) ($p < 0.01$) and with a similar response to the mulch (65 kg/ha) ($p < 0.01$). A response explained by a higher amount of residual biomass and post-grazing mulch and greater soil compaction with cattle (0.88g/cc) than with llamas (0.86 kg/ha) g/cc) ($p < 0.01$). No significant differences were observed in infiltration rates, however, a favorable trend was observed in llama grazing (poor condition, 0.14 vs 0.06 cm/min, regular condition 0.18 vs 0.17 cm / min). Finally, soil moisture was higher ($p < 0.01$) in llamas soil samples (29%) compared to the cattle ones (26%). It was concluded that the best water response of pasture was obtained with management with llamas, because they exert less soil compaction. It is suggested that it should assess the impact of delayed grazing in relation to the rotational rest system on the hydrological function of rangelands of different conditions and with variations in stocking rate, in order to establish the role of mulch in the hydrological balance and its interaction with the available biomass in different types of vegetation.

Key words: *delayed, cows, llamas, biomass, mulch, density, infiltration moisture, soil and pasture.*

I. INTRODUCCIÓN

Los pastizales son ecosistemas de gran valor para el sustento forrajero de la ganadería alto andina así como para la sobrevivencia de más de 1.5 millones de familias campesinas. Este ecosistema está dominado por gramíneas cuya cobertura contribuye a la función hidrológica del pastizal (Hess y Holechek, 1995; Yayneshet *et al.*, 2009), intercepción de lluvia y almacenamiento de agua en el suelo y drenaje profundo. Según Newman *et al.*, (2006) ayudan a la retención de sedimentos y escurrimientos, mejoran la infiltración y fijación de carbono que se llevan a cabo gracias a los hábitos de crecimiento, a su estructura fisiológica y su interacción con el medio ambiente (Reynolds *et al.*, 2005 citados por Viramontes *et al.*, 2012). La degradación debida al sobrepastoreo y mal manejo es un fenómeno generalizado en los andes. Lo cual tiene implicancias negativas tanto para la producción como la ecología del pastizal, particularmente si se tiene en cuenta que en la actualidad un 62% de los pastizales en el Perú están en condición pobre (Flores, 1991; Warren *et al.*, 2001) y el 20% de pastizales se consideran degradados por sobrepastoreo y compactación en el mundo (Steinfeld *et al.*, 2006; Fernández *et al.*, 2009).

El sobrepastoreo afecta las propiedades del ecosistema principalmente alterando la cobertura vegetal, reduciendo la tasa de infiltración y aumentando los niveles de escorrentía (Taboada y Lavado, 1988; Beattie *et al.*, 1993; Castellano y Valone, 2007; Blackburn, 1984). Procesos ecológicos claves, como el flujo de energía, ciclo del agua y de nutrientes pueden verse alterados debido a su efecto negativo sobre los atributos funcionales del ecosistema, lo cual finalmente conlleva al deterioro del ecosistema sobre su capacidad para proveer servicios ambientales a la sociedad y la capacidad productiva del suelo (Petersen y Stringham, 2008). Los suelos constituyen un sistema vital para la producción de biomasa y la biodiversidad (Blum, 1998). Así mismo, filtran, amortiguan y transforman compuestos adversos que contaminan el ambiente, protegiendo así de la polución, la cadena alimenticia. Regulan la calidad del agua subterránea mediante el filtrado, amortiguando, desintoxicando y la regulación de los ciclos geoquímicos (Blum, 1998; Lal, 1998).

Un rol fundamental del ecosistema de pastizales es la función hidrológica del suelo, determinado por sus propiedades físicas, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada (Singer y Ewing, 2000). Este rol hidrológico del suelo puede verse afectado si las propiedades físicas son impactadas durante el pastoreo por efecto de la compactación del suelo (Denoia *et al.*, 2000). Sin embargo, existe escasa información sobre la compactación provocada por camélidos al respecto, Echevarría *et al.* (2007) reporta que los camélidos defieren en el grado de compactación generado sobre el suelo, debido a diferencias morfológicas en sus pezuñas.

La sostenibilidad de los ecosistemas de pastizal depende en gran medida del equilibrio existente entre el estatus del agua, el suelo y la vegetación. En pastizales de condición pobre, la cubierta vegetal no es la suficiente por lo que el suelo se encuentra pobremente protegido, conllevando a la alteración de este equilibrio, lo cual afecta la fertilidad del suelo y por ende la productividad del pastizal. Mejora en atributos del pastizal como cobertura vegetal, composición de la vegetación y porcentaje de mantillo favorecen una mejor infiltración y almacenaje de agua (Pyke *et al.*, 2002). Una alternativa para mejorar la condición del pastizal es diferir o posponer el pastoreo hasta que las especies claves hayan diseminado sus semillas y utilizar especies animales que compacten menos el suelo (Flores, 1991). La recuperación del pastizal deberían expresarse en mejoras del estatus ecológico y en ingresos económicos derivados de la producción animal (Michalk *et al.*, 2003; Briske *et al.*, 2008). La condición del pastizal va asociada a una mejora en la función hídrica debido a incrementos en la cobertura vegetal, mantillo, masa radicular y estabilidad de agregados que finalmente se traduce en un mejor balance hídrico (Willms y *et al.*, 1993).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el impacto del pastoreo diferido con llamas y vacunos sobre la función hídrica del pastizal, a fin de encontrar respuesta a preguntas claves referidas a ¿Cómo afecta el pastoreo de vacas versus llamas en la función hídrica en dos sitios ecológicos diferentes? uno dominado por la asociación *Festuca humilior* y *Carex ecuadorica* (*Fehu-Caec*) en sitio de condición regular y otro por *Calamagrostis macrophylla*, y *Stipa brachiphylla* (*Cama-Stibra*) en sitio de condición pobre manejados bajo un régimen de pastoreo diferido rotativo y verificar la hipótesis que afirma que las llamas afectan menos la tasa de infiltración y los patrones de humedad del suelo que los

vacunos debido a que alteran menos las propiedades físicas del suelo por su fisiología y morfología de sus pezuñas almohadilladas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El efecto del pastoreo con llamas y vacunos en la función hídrica del pastizal está relacionado con su influencia sobre la vegetación, por el hábito de consumo y el impacto al suelo a través del pisoteo por la forma de sus pezuñas. El tipo de vegetación, la biomasa y el mantillo son variables claves que juegan un rol importante en la protección de las condiciones físicas del suelo y regulan el ciclo hídrico del agua. Sin embargo el sobrepastoreo provoca la compactación, degradación del suelo, la erosión, alterando el balance del agua en el suelo (Steinfeld *et al.*, 2006). En el mundo el 20% de los pastizales son considerados degradados por el sobrepastoreo y la compactación (Steinfeld *et al.*, 2006; Fernández *et al.*, 2009; Yayneshet *et al.*, 2009) y en el Perú más del 60% en condición pobre (Flores, 1993). Una medida para controlar a la degradación es la exclusión de pastoreo (Lunt *et al.*, 2007; Magner *et al.*, 2008), más aún cuando las recomendaciones típicas consistan en reducir la cantidad de ganado a niveles más sostenibles o también implementar sistemas de pastoreo (Michalk *et al.*, 2003).

2.1 Ciclo del Agua y Balance Hidrológico

El ciclo hidrológico es el proceso del movimiento constante del agua, el cual varía dependiendo de cuánta agua entra en el sistema, el modo y la velocidad de tránsito y cómo el agua sale del sistema (Thurow *et al.*, 1986). Las vías fundamentales de ingreso, tránsito y salida del movimiento del agua muestra los principales procesos y vías de circulación de agua a través de una cuenca (Figura 1). En la Figura 1 se ilustra el proceso del ciclo del agua, la cual inicia con el ingreso a través de la precipitación, consecuentemente el tránsito y/o circulación con la escorrentía superficial desaguardo en los ríos y/o mares, los ingresos de agua al suelo es a través de la infiltración y drenaje profundo, las salidas se observan a través de la escorrentía y transpiración por las plantas, finalmente la evapotranspiración y evaporación del agua de las superficies libres.

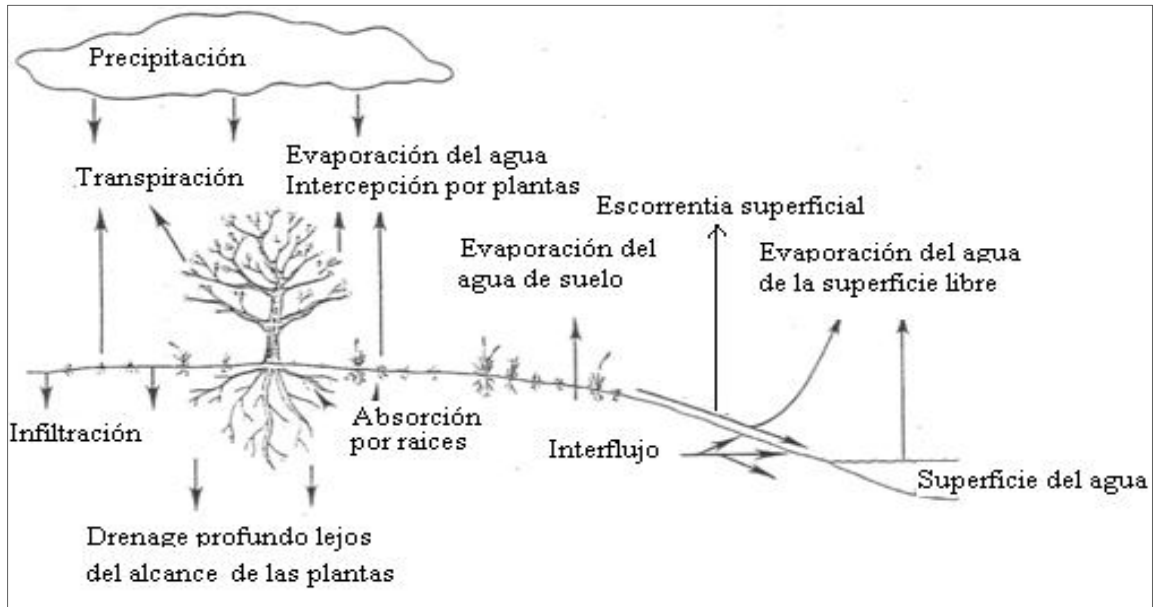


Figura 1: Ciclo del agua a través de una cuenca. Ingreso del flujo del agua = Salida del flujo del agua \pm almacenamiento Adaptado de Thurow *et al.* (1986).

El balance del agua en pastizales está determinado por las características de la precipitación: ingresos y salidas del agua asociada con la escorrentía, evapotranspiración, y drenaje profundo. La cantidad de agua disponible para la producción del forraje es dependiente de las características de los componentes que afectan el equilibrio del agua.

2.1.1 Ingresos, tránsito y salidas

Los ingresos del agua al sistema a través de la precipitación se inician cuando el aire caliente en la superficie de la tierra se eleva a la atmósfera y lleva el vapor de agua con ella. A medida que el aire se enfría el vapor de agua comienza a condensarse en pequeñas partículas de materia en suspensión en la atmósfera formando las nubes. La coalición de estas gotas continúa hasta que su peso en suspensión sea mayor que la gravedad para superar la fuerza del aire ascendente y estas caen finalmente en forma de lluvia, o si es lo suficientemente frío, en nieve o granizo (Thurow *et al.*, 1986).

La precipitación se define como la cantidad de intensidad de lluvia, duración y forma de distribución, pudiendo ser temporalmente y/o intervalos del tiempo de las precipitaciones siendo influenciadas por las condiciones climáticas. La

precipitación que llega al suelo, se almacena en las depresiones de la superficie para ingresar al suelo y con el tiempo sale del sistema vía drenaje profundo, por evapotranspiración y la penetración en la superficie o flujos de escorrentía subterránea. Una pequeña porción de agua se adhiere a las partículas del suelo (agua higroscópica) y no está disponible para el uso de la planta (Thurow *et al.*, 1986).

Condensación del vapor de agua que forma el rocío sobre la vegetación o en el suelo es generalmente un componente insignificante del balance hídrico en un ecosistema. Sin embargo, el rocío del agua puede constituir una fuente significativa de agua en las zonas costeras y de montañas (p.e. localizadas, como en el norte de Kenia) y a lo largo del Océano Pacífico en América del Norte y Sur (Azevedo y Morgan, 1974). El tránsito del agua a través del sistema terrestre, como es la interceptación, la cantidad y la intensidad de la precipitación que alcanza la superficie del suelo pueden estar influidos por el pastoreo en la medida en que el pastoreo altera la cantidad y el tipo de cobertura de la vegetación en un sitio del pastizal (Thurow *et al.*, 1986).

El flujo superficial denominado escorrentía es parte de la precipitación, comienza cuando la cantidad de agua en la superficie del suelo excede a la cantidad de agua que entra en el suelo y cuando la capacidad de almacenamiento de la superficie de depresiones está saturado. La escorrentía no sólo representa una pérdida de agua, sino que también es una fuerza erosiva que transporta la capa superior del suelo y los nutrientes desde el sitio del pastizal. En tal sentido el agua y el suelo en el sitio del pastizal son los recursos disponibles para la producción de forraje en el futuro, lo que se traduce la mejora de la producción animal. Por tanto, es evidente que el éxito a largo plazo de cualquier estrategia en el manejo del pastoreo depende de la capacidad de mantener o mejorar el estado hidrológico del pastizal y de los suelos del sitio. El mayor impacto potencial que tiene el pastoreo en la hidrología de pastizales es el efecto sobre los parámetros que determinan la tasa de infiltración como son: la estructura del suelo, la cantidad de la cobertura y el tipo de vegetación (Thurow *et al.*, 1986).

La mejor gestión de las áreas del pastoreo ayuda a tomar decisiones para preservar las áreas susceptibles a la escorrentía y la erosión de suelo, reduciendo al mínimo las perturbaciones de pastoreo. Asimismo, protegiendo las áreas ribereñas en las que existen grandes eventos de escorrentía en épocas de lluvia. El término evapotranspiración engloba el efecto combinado de estos dos procesos, transpiración, por el cual el vapor de agua se libera a la atmósfera mediante el paso a través de membranas permeables o poros de los organismos vivos; y evaporación, proceso por el cual el vapor de agua entra en la atmósfera (Thurrow *et al.*, 1986).

La cantidad de agua que regresa a la atmósfera a través de la evapotranspiración se ve afectada principalmente por las características del suelo y de la planta. La evaporación del agua en la superficie del suelo húmedo y delgado es rápida, cuando la capa es delgada de las superficies de suelos seco, pueden reducir drásticamente la cantidad de agua en el suelo (Penman, 1948; Veihmeyer, 1964; Ripple *et al.*, 1972). La cantidad de agua de la transpiración es dependiente de las condiciones climáticas (como la humedad relativa, viento, temperatura, etc.), humedad del suelo, las características morfológicas de la vegetación, la etapa de desarrollo fenológico de la vegetación y la cantidad de tejido transpirante (Hibbert, 1983).

El drenaje profundo, viene a ser el movimiento del agua a través de una columna del suelo y después de que haya ingresado en la tierra se llama percolación. El agua que se filtra fuera del alcance de raíces de las plantas se denomina drenaje profundo y su volumen depende de la cantidad de agua infiltrada. La disminución en la tasa de percolación puede verse afectado con la densidad del suelo reduciendo el movimiento del agua hacia abajo. Así mismo, la cantidad y tipo de cobertura influyen el drenaje profundo en la medida en que afectan las tasas de infiltración y la pérdida de la evapotranspiración. En tales situaciones los sitios del suelo desnudo almacenan más agua porque no hay pérdida de la transpiración a través de la vegetación, resultando que en las parcelas desnudas resulta una mayor escorrentía (Carlson *et al.*, 1990). Por lo general, la distribución, el crecimiento y la mortalidad de la vegetación es más sensible al ciclo hidrológico que a cualquier otro factor, como los nutrientes y la luz solar (Weltzin, 2003),

debido a que cuanto mayor sea la precipitación total anual, existirá mayor acumulación de biomasa y el crecimiento de la vegetación (Knapp y Smith, 2001; Waring y Running, 1998).

La detención del agua en la superficie, está asociada también a las características de microrelieve, pendiente, textura, estructura y la profundidad del suelo. Microrelieve formado por la topografía, crecimiento de la vegetación, y el mantillo acumulado, las cuales influyen en el tamaño, forma, el número de depresiones y la cantidad de agua que puede ser detenido en ellos: la escorrentía generalmente aumenta a medida que aumenta la pendiente, debido a la disminución asociada en el tamaño de los sitios de almacenamiento vía detención superficial (Thurow *et al.*, 1986).

2.1.2 Balance hidrológico del ecosistema

El balance de agua en pastizales está determinado por la diferencial de dos componentes el ingreso y salida del agua hacia el sistema. El ingreso del agua está representado por la precipitación y la salida por la escorrentía, evapotranspiración, y drenaje profundo (Thurow *et al.*, 1986). Investigaciones reportan que los procesos donde la humedad del suelo es el vínculo clave que expresa las fluctuaciones del clima y la dinámica de la vegetación en el espacio y el tiempo, componentes relacionados a través de una ecuación de balance que cuantifica esa relación cuantitativa entre la dinámica hidrológica y patrones de procesos ecológicos (Rodríguez, 2000).

Una ecuación básica para estimar el balance hídrico superficial está definida por $\frac{dV}{dt} = E - S$, la cual expresa que la variación del volumen (V) es igual a las entradas (E) menos las salidas (S) de agua para un intervalo de tiempo t específico (Thurow *et al.*, 1986). Sobre dicha relación, si tomamos como plano de referencia la superficie se expresaría de la siguiente forma:

$$\Delta V = (C_p + A_r + R_e + I_m) - (A_b + U + E_v + E_x)$$

Donde :

ΔV : variación de volumen,

- Cp : escurrimiento natural por cuenta propia,
- Ar : escurrimiento aguas arriba,
- Re : retornos de agua,
- Im : importaciones desde cuencas vecinas,
- Ab : escurrimiento a la salida de la cuenca (aguas abajo),
- U : usos del agua,
- Ev : evaporación en cuerpos de agua, y
- Ex : exportaciones hacia cuencas vecinas.

Todas las variables son volúmenes de agua, expresadas en hectómetros cúbicos (hm^3) y el intervalo de tiempo es de un mes (Unesco, 2006). Al respecto, Pierson *et al.* (2002), indicaron en la respuesta hidrológica de las diversas tierras de pastoreo, existen varias generalizaciones o supuestos concernientes a la hidrología de pastizales y las relaciones de erosión encontradas en la literatura y en el área de manejo. Thurow *et al.* (1986), indicaron que un grupo indeterminado de factores determina la infiltración y erosión la cual depende del tipo de vegetación y condiciones del sitio (Figura 2).

La humedad del suelo es variable síntesis de la acción del clima, el suelo y la vegetación sobre el balance hídrico y de su dinámica sobre las plantas. En los ecosistemas áridos y semiáridos la transpiración es la más importante pérdida de humedad y, por lo tanto, la vegetación asume el papel dominante en la regulación local del agua del suelo a través del control estomático, así como el equilibrio en la determinación de sus propias condiciones, disminuyendo la pérdida de agua interna y del suelo maximizando la ganancia de carbono fotosintético. Sin embargo, cuándo la humedad de suelo es alta, la tasa de evotranspiración depende principalmente de las características morfológicas de la planta (p.e. índice del área foliar) y de las condiciones climáticas (p.e. velocidad del viento, temperatura del aire, humedad relativa, entre otras) (Rodríguez-Iturbe y Porponato, 2004). Por otro lado, la humedad del suelo tiene una influencia sobre la cantidad y calidad de la hojarasca, especialmente sobre la relación carbono/nitrógeno (C/N), que a su vez afecta las tasas de descomposición de la materia orgánica del suelo (MOS). Esta MOS contribuye a mantener altos niveles orgánicos en el suelo, que protege los nutrientes esenciales asociados contra la mineralización y su pérdida desde el

suelo. Sin embargo, está sujeto a fluctuaciones inducidas por la variabilidad hidrológica y climática, así que todo el ciclo de carbono en el suelo es sensible a disturbios externos (Rodríguez-Iturbe y Porponato, 2004).

La escorrentía no sólo representa una pérdida de agua, sino que también es una fuerza erosiva que el transporte de capa superior y los nutrientes del suelo en el sitio del pastizal. El flujo del agua bajo y sobre la tierra, procedente de una fuente que no sea en el sitio de precipitación puede ser un componente importante del equilibrio hídrico de un ecosistema. En consecuencia la ecohidrología como una nueva ciencia nos dará una mejor comprensión de las implicancias del cambio en la vegetación asociado al ciclo del agua. Además describen algunas de las interacciones entre la vegetación y el agua en los pastizales, la cual nos ayudara comprender qué papel desempeñan los pastizales durante los procesos de degradación. Para abordar eficazmente estas preguntas, debemos ampliar el conocimiento de la conectividad hidrológica y cómo cambia en el tiempo, e investigar los circuitos de retroalimentación entre la vegetación y el ciclo del agua (Wilcox y Thurow, 2006).

2.2 Factores que Influencian la Función Hidrológica

La cobertura vegetal, los tipos de vegetación, la biomasa y mantillo son factores claves que influyen la función hidrológica del pastizal, por lo se requiere manejarlos aplicando los principios ecológicos. La comprensión de cómo los factores de vegetación y del suelo afectan a la cantidad y calidad del agua, y como el pastoreo altera estos factores es esencial para desarrollar estrategias de pastoreo destinadas a la producción sostenible mediante la conservación de los recursos agua y suelo.

2.2.1 Características de la vegetación

La clave para el desarrollo de los sistemas de gestión más efectivos, es comprender que tipos de vegetación son más eficaces en la estabilización de un sitio y como proporcionan señales de alerta temprana en la degradación de los pastizales (Blackburn *et al.*, 1986). Es así las tasas de infiltración varían estacionalmente y están sometidos a la variación en la dinámica de crecimiento

del pastizal (Thurrow *et al.*, 1988). Otro factor clave e importante por su efecto sobre la tasa de infiltración es la cantidad de mantillo, el follaje caído acumula mantillo que a su vez conduce a un aumento de la materia orgánica del suelo, favoreciendo la actividad de los microorganismos para mejorar la formación de los agregados del suelos estables que ayudan a infiltrar el agua (Thurrow *et al.*, 1988).

La cobertura vegetal en pasturas altamente productivas con una cobertura densa, los sistemas radiculares abundantes de este tipo de plantas actúan como amortiguadores, disminuyendo el efecto compactador de los pisoteos de los animales (Vicente *et al.*, 1974; Mares, 1984). El incremento de la densidad aparente del suelo disminuye los niveles de tasa de infiltración de agua en el suelo e incrementa la escorrentía superficial (Mwendera y Saleem, 1997b). Sin embargo, la compactación se manifiesta como un incremento en la densidad aparente del suelo con una reducción en la porosidad, la permeabilidad, la aireación y la actividad de los microorganismos del suelo, aspecto que pueden estar influenciada por la cobertura vegetal.

Los tipos de vegetación afectan a la cantidad y la estructura de la cubierta vegetal, por lo tanto, la tasa de infiltración observada se diferencia entre los tipos de vegetación pueden influenciar sobre la tasa de infiltración, en los árboles por lo general es más alto, siguiendo en orden decreciente como el pajonal, pastos cortos y suelo desnudo, observados por (Blackburn, 1975; Thurrow *et al.*, 1986). La tasa de infiltración en el bosque de roble es más alta que el pajonal y la vegetación césped, sugiriendo que el tipo de vegetación y la cobertura vegetal están estrechamente relacionados entre sí para afectar la hidrología de pastizales (Figura 2).

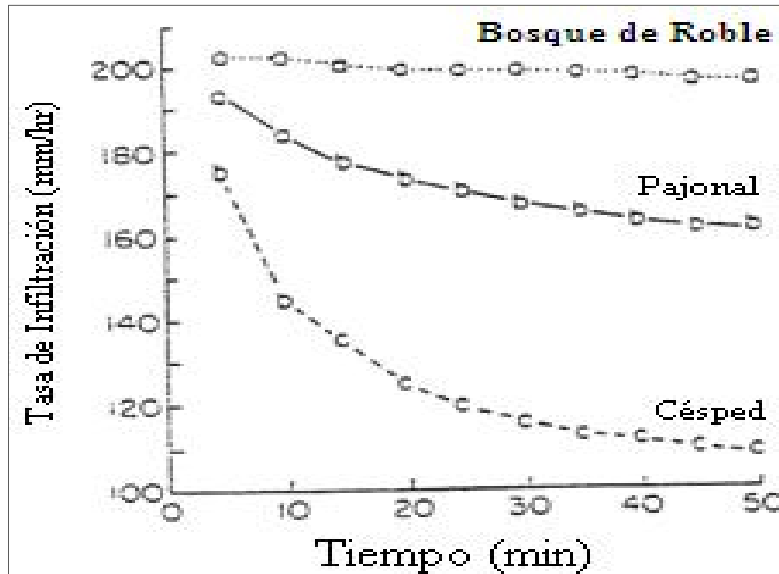


Figura 2: Medias de tasa de infiltración por tres tipos de vegetación, Edwards Plateau, Texas. Medias dentro de un período de tiempo dado, con diferentes letras son significativamente diferentes a $P \leq 0,05$ (Thurrow et al., 1986).

Un análisis más exhaustivo de como el agua de las precipitaciones se distribuye según tipo de vegetación, se ilustran en la Figura 3, donde se observan que la canopia del monte de roble intercepta el 7% del agua de precipitación, así como el mantillo intercepta hasta un 12% de agua. Este monte de roble se caracteriza porque infiltra más del 81% de agua precipitada, controlando la escorrentía superficial y pérdida de suelo. Para el caso del pajonal, el pastizal y mantillo juegan un rol importante porque interceptan hasta un 0.5% del agua e infiltran 75%, permitiendo solo el 24% de escorrentía superficial con una pérdida del suelo de 200 kg/ha. Sin embargo la vegetación Césped el pastizal y mantillo intercepta solo el 0.4% del agua precipitada e infiltran el 54.6% del agua, permitiendo un 45% de escorrentía superficial con una pérdida de suelo hasta 1400 kg/ha, finalmente se observan que el suelo desnudo sin vegetación conlleva una gran pérdida del suelo con alta escorrentía superficial y muy baja tasa de infiltración del agua.

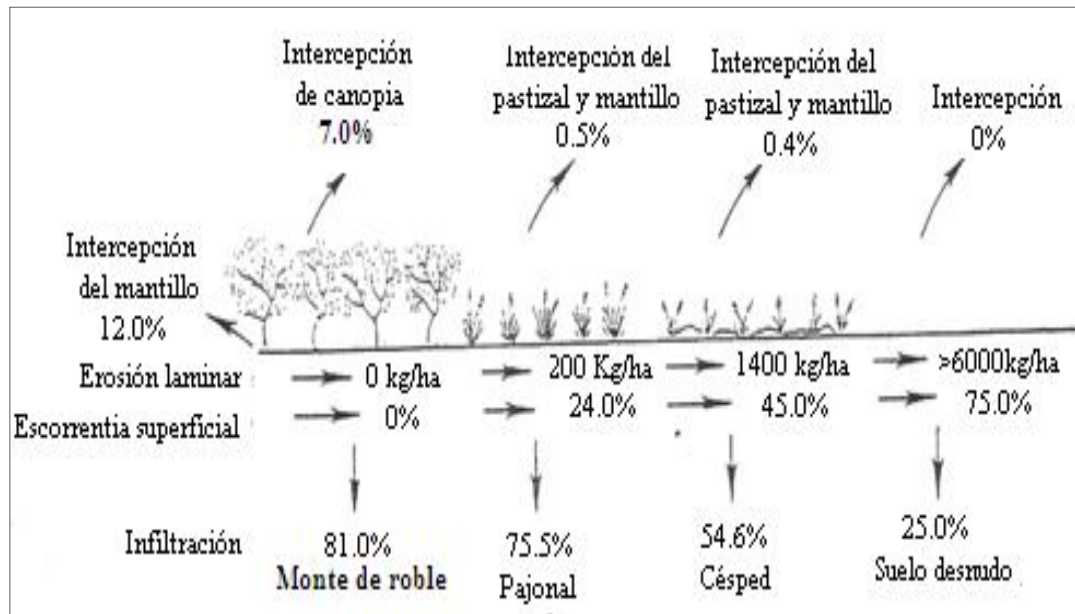


Figura 3: Los presupuestos de agua y la cantidad de la erosión laminar, la escorrentía, y la interceptación de roble, pajonal, Césped y áreas desnudas terrestres dominadas, Edwards Plateau, Texas: En base a 10 cm de lluvia en 30 minutos (Adaptado de Blackburn *et al.*, 1986).

Los atributos del suelo y la vegetación mantienen una relación estrecha con las tasas de infiltración terminal y la intensidad de pastoreo (Tabla 1). Los cultivos permanentes con alta biomasa y mantillo mejoran la tasa de infiltración, pero si la intensidad de pastoreo se incrementa la tasa de infiltración disminuye. Los animales herbívoros en pastoreo afectan la vegetación y la estabilidad de agregados de varias maneras (Blackburn *et al.*, 1986):

- Disminuyendo la cobertura vegetal a la vez reduce la interceptación del agua y en consecuencia, la lluvia golpea el suelo rompiendo los uniones entre agregado.
- Una disminución en la biomasa por encima del suelo (cultivo en pie y el mantillo) se traduce en menos materia orgánica que con el tiempo se incorporan al suelo, factor importante en la formación de estabilidad de agregados.
- Una disminución de la biomasa aérea finalmente se refleja en una disminución de la biomasa de las raíces por la relación que existe entre estos dos compartimientos de la vegetación.

Tabla 1: Relación entre la tasa de infiltración, la intensidad de pastoreo con los atributos del suelo y la vegetación. Los símbolos reflejan relaciones relativas entre positivos (+) y negativo (-). Indicando que a medida que aumenta la estabilidad de agregados, aumenta la tasa de infiltración de agua (+), mientras que a medida que aumenta la intensidad de pastoreo, disminuye la estabilidad de los agregados (-) lo que disminuye la tasa de infiltración del agua (Adaptado de Blackburn *et al.*, 1986).

| Atributos del suelo | Tasa de Infiltración | Intensidad del Pastoreo |
|--|----------------------|-------------------------|
| Estabilidad de Agregados | + | - |
| Densidad Permanente | - | + |
| Atributos de la vegetación | | |
| Cultivos permanentes y/o Biomasa de Mantillo | + | - |
| Permanente y/o Cobertura de Mantillo | + | - |

La biomasa forrajera o producción de forraje se define como el peso de las especies vegetales presentes en un determinado momento, la cual es influenciada por el tipo de pradera, temperatura y principalmente por la humedad (Sociedad de Manejo del Prado, 1989, citado por Holecheck, 1989; Bonham, 1989). En el Sistema Internacional de Unidades (SI) se expresa en kilogramos por hectárea por lo que en los cálculos deberá incluirse la unidad de tiempo (anual, por día, por semana, mes, etc.). La biomasa forrajera es un indicador importante de los procesos ecológicos y del manejo de los pastizales, estimación que sólo considera a la parte aérea que está por encima del suelo y comúnmente disponible para los herbívoros más grandes, siendo el método de Corte y Separación Manual de Plantas uno de los más empleados para determinar este atributo (Holecheck, 1989; Flores *et al.*, 2005). Asimismo otro factor importante son los niveles de materia seca residual (Brown, 1968; Wood y Blackburn, 1984), el cual está directamente relacionado con la capacidad de infiltración del agua en la superficie del suelo, y a su vez esta puede experimentar una disminución volumétrica por efecto del impacto de la pezuña animal, la cual indicaría una baja acción protectora del suelo por la escasa vegetación pudiendo ser susceptible a la compactación superficial.

El mantillo u hojarasca (*mulch*) es material botánico muerto que está en contacto con la superficie del suelo proporcionando la fuente principal de materia orgánica al suelo y el material para el ciclo de nutrientes (Whitford, 1988 y Whitford, 1996). El mantillo también contribuye al microclima y provee de alimento a los microorganismos (Hester *et al.*, 1997). El grado y cantidad de movimiento del mantillo es un indicador del grado de erosión por agua y/o aire existente en el sitio. Al respecto, Pierson *et al.* (2007) indicaron que la recuperación hidrológica estuvo altamente correlacionada con la dinámica del mantillo. La cantidad de mantillo en suelo ayuda también a darle cierta resistencia al suelo contra la erosión, asimismo disipa la energía de las gotas de lluvia y el escurrimiento, por lo que reduce el potencial de transporte del suelo (Hester *et al.*, 1997), mostrando una significativa obstrucción para el escurrimiento del agua (Thurow *et al.*, 1988).

La cobertura de la vegetación y la textura del suelo también influye en los mecanismos conocidos para afectar la infiltración del suelo. Los edafólogos por mucho tiempo han determinado que la compactación del suelo causado por el pastoreo puede reducir significativamente el balance entre ingresos salidas del agua por su efecto sobre la cobertura vegetal y las propiedades físicas del suelo (Fleischner, 1994; Schlesinger *et al.*, 1990, citados por Castellano y Valone, 2007).

La reducción de la cobertura vegetal por el pastoreo puede incrementar la compactación del suelo y reducir la tasa de infiltración del agua, a un nivel que no es suficiente para el crecimiento de las plantas (Castellano y Valone, 2007). Clary (1995) reportó que la reducción de la altura de la vegetación forrajera bajo un pastoreo directo no controlado puede afectar el grado de compactación del suelo por el pisoteo. Sin embargo, Bartley *et al.*, (2010), sugieren que un buen manejo del pastoreo puede mejorar la cobertura de la biomasa y reducir las áreas desnudas del suelo, que se tradujo en una reducción de los coeficientes de escorrentía y erosión del suelo. Por el contrario, una alta intensidad de pastoreo puede reducir la infiltración y por lo tanto aumentar la susceptibilidad a la erosión en los sitios del pastizal. Asimismo, Steinfeld *et al.* (2006) indicaron que alrededor del 20% de los pastos del mundo y los pastizales se encuentran degradados por el sobrepastoreo y la compactación del suelo.

A presiones altas de pastoreo el pisoteo animal influye de modo directo sobre el rendimiento, composición botánica y persistencia de las praderas (Mares, 1984), a través de efectos negativos sobre la pastura, generando compactación superficial de los suelos (Warren *et al.*, 1986; Koppi *et al.*, 1992 y Profitt *et al.*, 1993). La magnitud de estos daños depende principalmente por la carga animal, el grado de humedad y tipo de suelo, así como las características de la cobertura vegetal (Mares, 1984; Pearson e Ison, 1987). En suelos con humedad elevadas el impacto de la pezuña puede provocar un incremento de la densidad y la deformación de la superficie del suelo (Scholefield y Hall, 1986; Sosa *et al.*, 1995). Estas alteraciones disminuyen los niveles de ingreso de agua al perfil del suelo (Warren *et al.*, 1986; Nguyen *et al.*, 1998). Mulholland y Fullen (1991) mencionaron que la zona del perfil del suelo más compactado por el pisoteo varía entre 0-7 y 0-10.5 cm de profundidad, donde el impacto del pisoteo de los animales dependió de la textura del suelo, estado fenológico de la vegetación, la humedad del suelo en el momento de pastoreo (Hiernaux *et al.*, 1999). Hay numerosos estudios que muestran una fuerte relación entre el deterioro de la vegetación por el sobrepastoreo y la erosión del suelo (Giordanengo *et al.*, 2003). En las superficies del suelo descubierto, los agregados y las estructuras del suelo son susceptibles a la destrucción por el impacto de la lluvia (Thurow, 1991) que suelos más cubiertos por el material vegetal.

La compactación del suelo por pisoteo del animal puede tener efectos perjudiciales de las condiciones físicas del suelo y las plantas en crecimiento (Sparling *et al.*, 2004). Asimismo restringe el almacenamiento de agua en el suelo e inhibe la penetración y el crecimiento de las raíces (Braunack y Walker, 1985), incrementando la escorrentía superficial, el arrastre de nutrientes esenciales para las plantas esenciales y sedimentos, lo que reduce el potencial productivo del suelo (Schlesinger *et al.*, 2000). Denoia *et al.*, (2000) demostraron el efecto del pisoteo animal sobre las propiedades físicas y la velocidad de infiltración de un suelo. Concluyendo, que el pisoteo provocó alta densificación superficial y una reducción de la tasa de infiltración, resaltando que la vegetación influyó positivamente en el incremento de la tasa de infiltración y disminuyó la producción de sedimentos. Al respecto, Warren *et al.* (2001) indicaron que, el

pastoreo no controlado de ganado es uno de las principales causas de degradación del suelo y vegetación, pues afecta a las propiedades de los pastos mediante la alteración de la cubierta vegetal por los efectos mecánicos de sus pezuñas (Mwendera y Saleem, 1997a).

En adición señalar que la porosidad (volumen de poro) del suelo es una función de la textura del suelo y el grado en que se agrega el suelo. La porosidad y el tamaño de los poros determinan la tasa de circulación de agua en el suelo (Allison, 1973), si existe más compactación se deterioran más las propiedades físicas del suelo y la pérdida de suelo se incrementa a través de la erosión del suelo, influyendo negativamente sobre el crecimiento y la productividad de las plantas (Thurow, 1991). El efecto de la compactación puede disminuir la porosidad total, sobre todo el volumen de los grandes agregados entre los poros. Se ha demostrado que la destrucción de la estructura suelo de textura gruesa son más susceptibles al pisoteo por el ganado (Mulholland y Fullen, 1991). Finalmente, indicar que el mantillo de un pastizal amacollado representó una obstrucción significativa del escurrimiento, dando como resultado una reducción en la capacidad de transporte de sedimentos y en la cantidad de sedimento depositado (Thurow, *et al.*, 1988).

2.2.2 Características del suelo

La estructura del suelo es la disposición de las partículas del suelo y de los espacios de poros intermedios, en donde la característica estructural del suelo se determina por el grado en que las partículas del suelo se mantienen juntas en grupos individuales que se denominan agregados (Figura 4). Agregación se produce cuando las partículas del suelo se unen mecánicamente por las raíces, hifas de hongos y/o subproductos con propiedades adhesivas resultado de la descomposición de la materia orgánica y la síntesis microbiana (Brady, 1974). Pietola *et al.* (2005) indicaron que si la estructura del suelo es destruida puede resultar en un incremento del agua de escorrentía superficial, por los efectos del pisoteo del ganado, la cual afecta los parámetros físicos del suelo, mientras la formación de agregados del suelo es ayudado por cualquier acción que mezcla el suelo promoviendo así el contacto entre la descomposición de materia orgánica y

partículas inorgánicas del suelo. En la Figura 4 se observa que, en los suelos no disturbados, la porosidad es alta, no así comparado en suelos secos pisoteados, lo que indicaría que existe una alta reducción de la porosidad. Similarmente, en suelos húmedos pisoteados se incrementa más la reducción de la porosidad, considerando como componentes de la arquitectura del agregado a la arcilla, bacteria y materia orgánica (Brady, 1974).

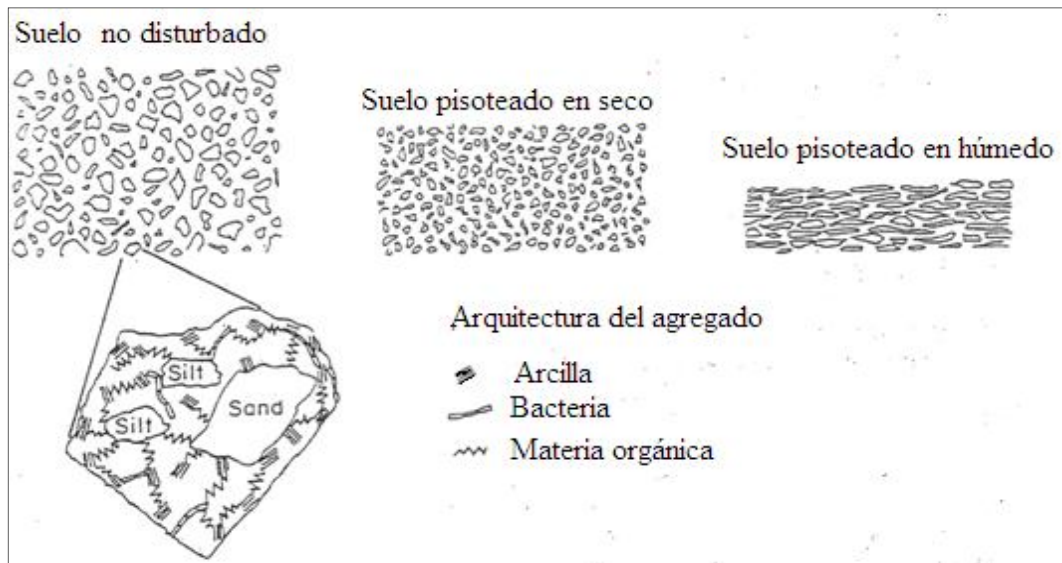


Figura 4: Estructura física de un agregado del suelo y cambios causada en la estructura de suelo por el pisoteo en condiciones húmedas y secas (Brady, 1974; Adaptado de Thurow *et al.* (1986).

La estabilidad de agregados del suelo es una propiedad dinámica que refleja la reacción del suelo cuando es sometido a diferentes fuerzas y se basa en una comparación del estado inicial y final de los coloides del suelo. La estabilidad de agregados condiciona las propiedades mecánicas y de transferencia de agua, aire temperatura y nutrientes en el suelo, y brinda la información acerca del grado de desarrollo estructural del suelo y su resistencia a la erosión. Además afecta; la integridad biótica del pastizal, dado que el contenido de materia orgánica en el suelo funciona como material cementante de las partículas del suelo, que es coadyuvada por la actividad de microorganismos del suelo y de las raíces de las plantas del pastizal (Pellant *et al.*, 2005). Por ello la estabilidad de los agregados se utiliza como un indicador de la estructura del suelo y como una definición empírica del nivel de agregación (Kemper y Rosenau, 1986).

La resistencia del daño mecánico en el suelo producido por las pezuñas de los animales depende de la morfología, estructura y hábito de crecimiento de las gramíneas. En las diferentes especies, los puntos de crecimiento pueden estar localizados debajo, sobre o al nivel del suelo, reaccionando de manera diferente al pisoteo (Mares, 1984). La estructura física del suelo puede ser dañado por el pisoteo del ganado provocando su compactación, la cual afecta a largo plazo de manera indirecta a la pastura (Peng *et al.*, 2004).

El incremento de la intensidad de pastoreo disminuye la cobertura vegetal, disminuyendo la condición del sitio, afectando la disposición de materia orgánica en el suelo, que a su vez afecta la estructura del suelo disminuyendo la tasa de infiltración del agua. Cuando hay un control de la intensidad del pastoreo se revierten a una mejora incrementando la cobertura y la materia orgánica del suelo y su condición. En la Figura 5 se ilustra el patrón de deterioro del suelo por efectos de la erosión, el resultado de la desertificación y la condición hidrológica de los pastizales, así como la compleja interrelación de los factores del suelo, la vegetación, la topografía y el clima. El performance o mejora de condiciones hidrológicas y la retención del suelo son determinantes críticos de la producción sostenible a largo plazo, teniendo en cuenta que la ganadería afecta los parámetros del suelo y la vegetación influyendo la hidrología de pastizales (Satterlund, 1972).

El pisoteo animal es uno de los procesos principales generadores de compactación superficial de los suelos (Koppi *et al.*, 1992; Profitt *et al.*, 1993). En humedades edáficas elevadas, el impacto de la pezuña puede incrementar la densidad deformando la superficie del suelo (Sosa *et al.*, 1995). Tales alteraciones suelen derivar en una disminución de los niveles de ingreso de agua al perfil (Nguyen *et al.*, 1998). Por otro lado, Clary (1995) afirmó que la reducción de la altura de la vegetación forrajera bajo pastoreo directo es una consecuencia de la compactación por pisoteo.

Investigaciones demostraron que las capas superficiales de los suelos son las más afectadas con el pisoteo del ganado (Denoia *et al.*, 2000). De igual modo Mulholland y Fullen (1991) reportaron que la zona del perfil de mayor

densificación resultante por el pisoteo de la pradera nativa varía entre 0-7 y 0-10.5 cm superficiales, en donde el impacto del pisoteo generado por vacunos fue más en la segunda capa, mientras que el capa superficial se vio menos afectada por los mayor actividad de raíces y contenido de materia orgánica del suelo (Martínez y Zinck, 2004).

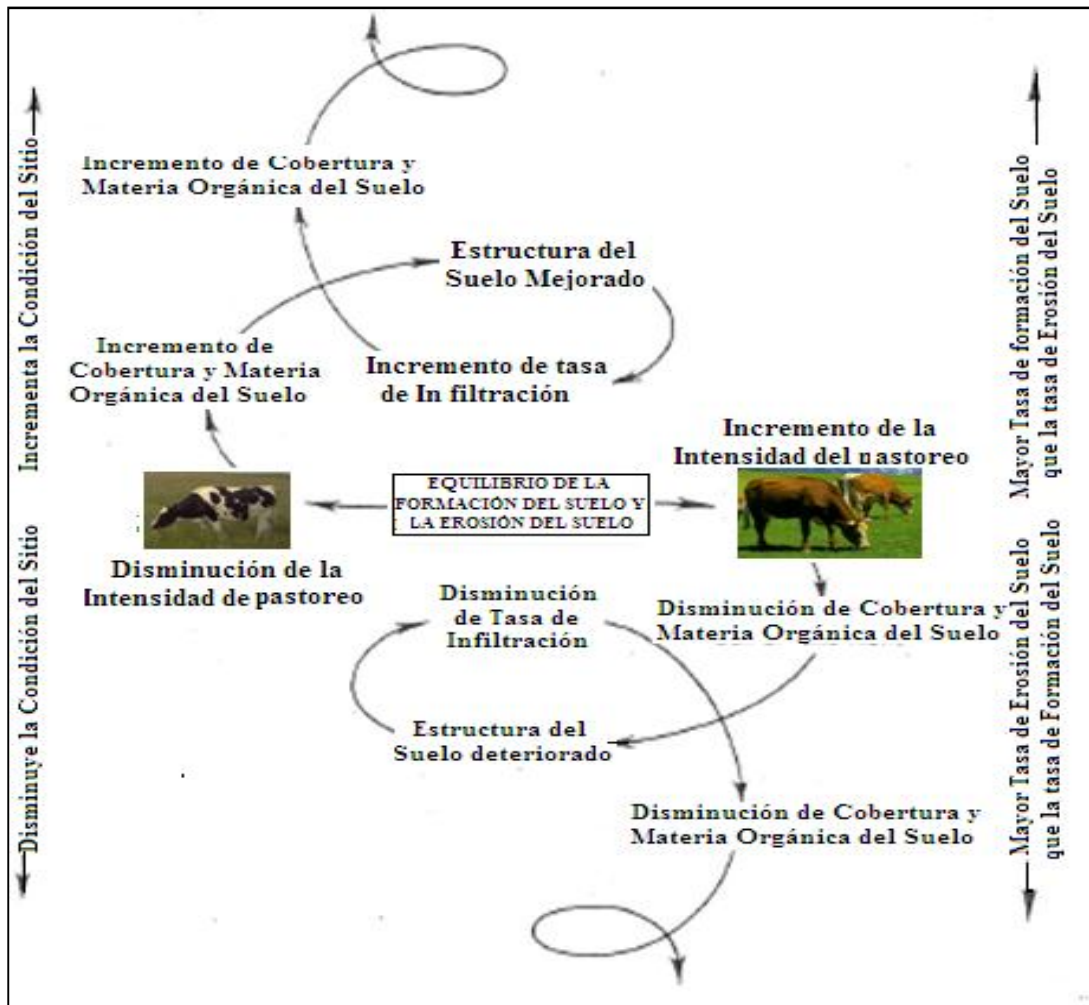


Figura 5: Conceptos de cambios hidrológicos de un sitio (Satterlund, 1972).

2.3 Efecto del Manejo en la Función Hidrológica

2.3.1 Carga animal

La carga es el número de animales por unidad de área, la cual es considerada como otro de los factores que afectan a la hidrología del pastizal y la condición ecológica, cuando no es controlado de manera adecuada. Una de las razones

principales de la degradación de los pastizales es el uso de una carga animal excesiva la cual ocasiona compactación y detrimento del pastizal. El uso de cargas animales bajas puede ocasionar deterioro de la pastura por subpastoreo o bajo consumo, lo que trae como consecuencia un exceso de forraje, que al no consumirse se lignifica, perdiendo calidad y creando un ambiente propicio para plagas y enfermedades (Flores, 1991).

La carga animal sobre la pradera afecta directamente la cantidad de forraje disponible, variable que está en relación estrecha con la cantidad de tejido fotosintético disponible para la intersección de luz, producción de energía y subsecuente rebrote. En la medida que se excede a capacidad de soporte de la pradera, se utilizan más rápidamente las reservas de la planta, para el proceso de rebrote a través del tiempo, sin permitir la recuperación de esta con lo cual se crean condiciones apropiadas para la pérdida de plantas deseables, que son sustituidas por otras de menor valor forrajero (anuales, herbáceas y de hoja ancha, principalmente) que a su vez no son las apropiadas para la conservación del pastizal (Hernández *et al.*, 1995). El sobrepastoreo afectan los pastos, compacta los suelos, acentúa el escurrimiento y causa erosión con la formación de terracetas (pata de vaca), cárcavas y suelos desnudos (Burgos, 1991). El pastoreo del ganado ha sido una consideración importante en gran parte de la investigación hidrológica (Blackburn, 1984). Tratamientos de manejo de pastizales suelen compararse directamente con la pérdida de sedimentos o la tasa de infiltración, estas comparaciones tienen un valor limitado ya que el verdadero problema muchas veces no es la práctica en sí, sino la forma en la que altera las propiedades del suelo y la vegetación, componentes que influyen en la hidrología de pastizales (Blackburn *et al.*, 1986).

El proceso de pastoreo afecta las variables físicas del suelo y la vegetación, las cuales determinan directamente la tasa de erosión del suelo. El alcance de este impacto depende en gran medida de la presión de pastoreo (Blackburn *et al.*, 1986). La presión ejercida sobre el suelo por un animal está en función de la masa del animal, el tamaño del pie, y la energía cinética. La mayor parte de la fuerza aplicada es vertical, pero las presiones aumentan cuando un animal se está moviendo como se generan fuerzas que compactan el suelo (Greenwood y

McKenzie, 2001). La cantidad de la compactación del suelo generada por el pastoreo de animales depende de la humedad del suelo, en suelo seco la compactación se limita normalmente a la parte superior de 50 a 150 mm y puede ser mejorada a través de ciclos húmedos y secos, el crecimiento y la disminución de las raíces de pasto, y de la acción de los microorganismos del suelo (Greenwood y McKenzie, 2001).

El nivel en que el pastoreo reduce la cobertura, reduce el mantillo y cambia la composición de especies de la cobertura vegetal, así mismo depende de la intensidad y frecuencia del pastoreo. El consumo de pasto por los herbívoros está estrechamente relacionado con la variación estacional y los factores climáticos que influyen la dinámica del crecimiento de la vegetación. La mayoría de los parámetros que influyen en la función hidrológica se observan en la Tabla 2 donde se lista una serie de variables independientes interrelacionadas. La comprensión de sus interacciones es básica para continuar investigando, asimismo los datos que se toman deben ser tomados en un tiempo preciso, consistente y periódico de manera que los resultados revelen los cambios ocurridos en el tiempo (Blackburn *et al.*, 1986).

Tabla 2: Resumen de las relaciones entre la producción de sedimentos y los componentes de las cuencas hidrográficas citado en la literatura (+ generalmente citado como una relación positiva; - generalmente citado como una relación negativa) (Adaptado de Thurow *et al.*, 1986).

| Variables | Producción de sedimentos |
|--------------------------|---------------------------------|
| Escurrimiento | + |
| Suelo desnudo | + |
| Densidad aparente | + |
| Humedad del suelo | + |
| Presión de pastoreo | + |
| Cobertura de roca | +/- |
| Cobertura de vegetación | - |
| Cobertura de mantillo | - |
| Carga animal | - |
| Rugosidad superficial | - |
| Profundidad del suelo | - |
| Materia orgánica | - |
| Estabilidad de agregados | - |

La mayoría de los parámetros que influyen en la función hidrológica son variables independientes y están interrelacionadas. La comprensión de sus interacciones es fundamental por lo que es necesario tomar los datos en un determinado tiempo de una manera consistente y periódica, lo cual nos dará resultados, sobre cómo se producen los cambios con el tiempo (Thurow *et al.*, 1986). Los porcentajes de arena y cobertura de roca son indicadores de fragmentos en el perfil del suelo que también se relacionan positivamente con la pérdida de sedimentos. Por lo tanto, un suelo con un alto porcentaje de arena y/o una alta proporción de cobertura de roca son generalmente menos productivos para las plantas debido a la capacidad reducida del agua en el suelo (Thurow *et al.*, 1986).

2.3.2 Sistema de pastoreo

El sistema de pastoreo es una de las estrategias más importantes que se utilizan con la finalidad de mejorar la condición y la capacidad de carga del pastizal. Consiste en combinar periodos de pastoreo y no pastoreo aplicados a un grupo de plantas basados en el conocimiento cabal de su respuesta a la defoliación (Flores, 1993). Contempla el uso sistemático de dos o más canchas o sitios por uno o más hatos y tienen como objetivo mejorar la condición de los campos, logrando una utilización uniforme del pastizal, mejorando la producción animal, minimizando la destrucción de áreas deterioradas, manteniendo los pastizales de elevada calidad y reduciendo las áreas de sacrificio. El fundamento del sistema de pastoreo es la combinación de tratamientos de descanso y diferimiento que evite, el pastoreo en la misma época y con la misma especie animal, todos los años y el pastoreo de las canchas cuando las plantas son más susceptibles al pastoreo (Flores, 1997).

Existen varios sistemas de pastoreo como son: Pastoreo continuo, diferido rotativo, descanso rotativo, mixto complementario y rotación corta. Pastoreo continuo es la ocupación durante una estación o todo el año de una cancha o sitio por un solo hato, el pastoreo diferido rotativo, se refiere al descanso del potrero de manera alternada, durante un periodo de producción de semillas. Para llevar a cabo este tipo de pastoreo se requiere que la cancha sea dividida en dos potreros como mínimo. Cada potrero es diferido un año sí y otro no. El descanso rotativo

es único en el sentido que una cancha o porción de ella no se pastorea durante todo el año, de setiembre hasta agosto (Walter, 1984). El pastoreo mixto complementario requiere de tres especies y cuatro potreros. En este sistema, cada potrero es pastoreado en forma continua por un año y luego se le da un periodo de descanso de cuatro meses durante las épocas de lluvia, seca y transicional. El sistema es excelente para mejorar la condición de pastizales pobres donde hay más de tres especies, alpacas, llamas, vicuña y equinos pastorean en forma conjunta. El sistema de alta intensidad - baja frecuencia involucra la división de la cancha en tres o más potreros con períodos de pastoreo de 15 días o más y períodos de no pastoreo de 60 días o más (Blackburn *et al.*, 1986).

Mucho tienen que ver con los factores ecológicos que componen el campo como el clima, la vegetación, el suelo y los objetivos de manejo que se persiguen para la aplicación de los sistemas de pastoreo. Además, es necesario analizar los aspectos económicos, debido a los costos adicionales en que incurren, como por ejemplo cercos, manejo de agua, fertilizantes, considerando que el sistema debe pagar con resultados la inversión efectuada (Florez y Malpartida, 1987). Herbel (1983) determinó, con el uso del sistema de pastoreo la producción forrajera puede incrementarse hasta en un 200 %, lo que refleja la importancia de la utilización de esta práctica de manejo en la acumulación de la biomasa mantillo y la cobertura del suelo con la consecuente mejora de la función hídrica del pastizal. Asimismo Blackburn (1984) consideró al pastoreo de ganado un factor importante en gran parte de la investigación hidrológica, enfocando que el manejo de pastizales se relaciona con la pérdida de sedimentos y la tasa de infiltración. Estas comparaciones tienen un valor limitado ya que el verdadero problema no es la práctica en sí, sino la forma en práctica como altera el suelo y la vegetación, componentes que influyen en la hidrología de pastizales (Blackburn *et al.*, 1986).

Thurow *et al.* (1988) y Walter (1984) indicaron que el tipo de manejo del pastoreo utilizado en el sitio del pastizal, puede influenciarla la tasa de infiltración terminal a través del pisoteo rompiendo la estructura de los agregados del suelo debido a la fuerza aplicada por los cascos de sus pezuñas. Brady (1974) sostiene que una tasa de infiltración terminal baja es un indicador de la estructura de un

suelo pobre, relacionados con las características del suelo y de la vegetación del sitio.

En la Figura 6 se ilustra la influencia de los sistemas de pastoreo sobre la tasa de infiltración terminal. En áreas de reserva y/o descanso la tasa de infiltración es alta debido a que las propiedades del suelo no han sido afectadas ni tampoco la vegetación. Sin embargo, los sistemas de pastoreo utilizados muestran su efecto gradual hasta que el pastoreo continuo influencia fuertemente las propiedades físicas del suelo y la vegetación reduciendo la tasa de infiltración (Thurow *et al.*, 1986). En consecuencia la aplicación de un sistema de pastoreo adecuado no altera el equilibrio ecológico del pastizal promoviendo un impacto ambiental positivo; mientras el sobrepastoreo ocasiona un aumento de plantas indeseables y la desaparición de plantas claves para el ganado, las plantas vuelven a recuperarse de un pastoreo gracias por la cantidad de reservas acumuladas durante el periodo de diferimiento y se encuentran más sanas y vigorosas; también, asigna áreas en el tiempo para el mantenimiento de reservas de fauna silvestre. El impacto negativo viene a ser lo opuesto de lo mencionado anteriormente (Flores, 1993).

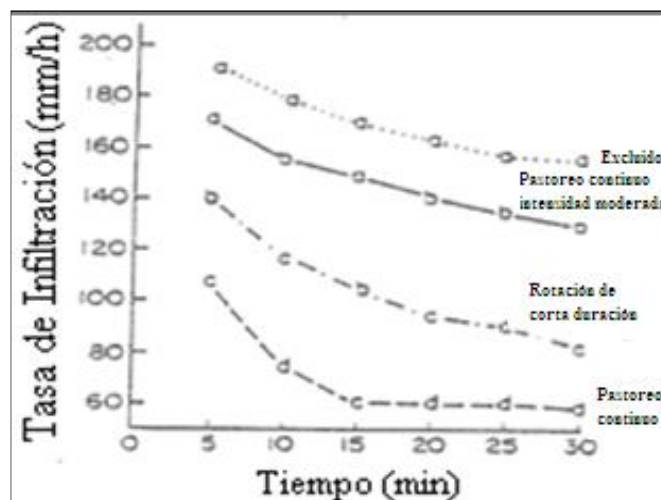


Figura 6: Tasa media de de infiltración en cuatro tratamientos de pastoreo después de seis años de Edwards, Texas. LEX = pastoreo excluido del ganado; MCG = pastoreo continuo a una intensidad moderada; SDG = rotación de corta duración; HCG = pastoreo continuo. Promedios dentro de un período de tiempo con diferentes letras son significativamente diferentes a $P \leq 0,05$ (Adapatadon de Thurow *et al.*, 1988).

Los sistemas de pastoreo pueden alterar la composición botánica y productividad de los pastizales por el uso diferencial en el tiempo, espacio, o la intensidad (Vermeire *et al.*, 2008). Así como el pastoreo excesivo puede desestabilizar a las comunidades vegetales generando cambios en la composición florística, y la estructura y estabilidad de agregados del suelo. El pastoreo de grandes herbívoros puede afectar en gran medida la cantidad de agua retenida en o perdido de una cuenca. Por lo tanto, el mantenimiento o la mejora de las condiciones hidrológicas y edáficas de los ecosistemas de pastoreo son objetivos importantes en la gestión de pastoreo, ya que afectan en gran medida la productividad primaria y secundaria (Thurow *et al.*, 1986; Fraser *et al.*, 2007), según experimentos previos han demostrado que el pastoreo mixto o conjunto, cuando dos o más especies de animales son pastoreados juntos, pueden conducir a un mejor desempeño de una o varias de las especies una mayor producción total por unidad de superficie como también pueden mejorar el potencial de la productividad; lo que indica que el mejor desempeño de los bovinos y ovinos en pastoreo mixto es el resultado de una combinación de factores, más que una respuesta a un parámetro de pradera en particular. Buttolph y Coppock (2004) recomiendan con una gestión muy bien manejada, se podrán reducir la degradación de los pastizales y aumentar su productividad, para ello se deben tener presente la existencia del equilibrio entre la vegetación y la dinámica de los herbívoros, los cuales están fuertemente influenciados.

Las aplicaciones adecuadas de un sistema de pastoreo pueden influir la tasa de infiltración y mejoran la detención de la superficie del suelo para reducir la pérdida de sedimentos, que se traducen en los cambios en la cobertura vegetal, mejoran la erosión laminar del suelo. Las diferencias en la erosión dentro de un tipo de vegetación se relacionan con la cantidad de cobertura vegetal y la acumulación de residuos asociados con los sistemas de pastoreo contrastantes (Figura 7). Aumento de la intensidad pisoteo reduce la estructura del suelo, por lo que las partículas de suelo son más susceptibles al desprendimiento (Thurow *et al.*, 1986).

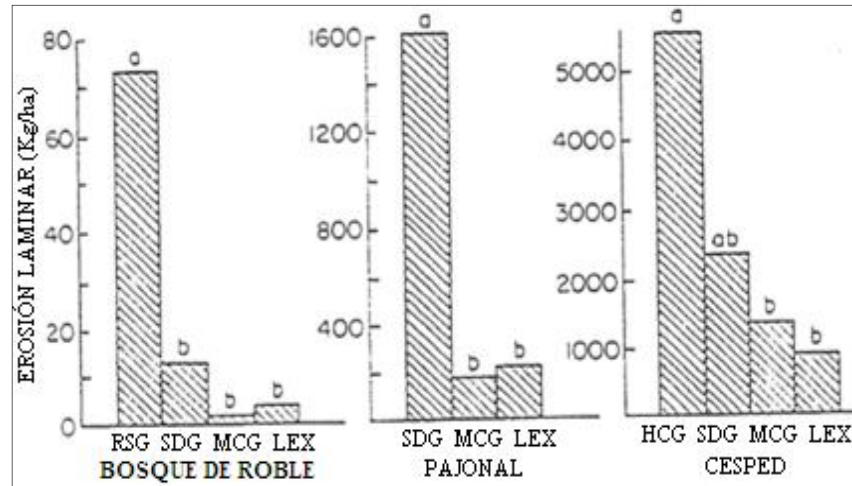


Figura 7: La media de erosión laminar entre los diferentes tratamientos de pastoreo de Edwards Plateau, Texas. Basado de 10 cm de lluvia en 30 minutos. LEX = pastoreo excluido; MCG = Pastoreo continuo con intensidad moderada; SDG = rotación de corta duración; RCG = pastoreo continuo. Medias dentro de un determinado tipo de vegetación con diferentes letras son significativamente diferentes a $P < 0.05$ (Adaptado de Thurow *et al.*, 1986).

El control de deterioro causado por el hombre en pastizales se basa en la capacidad de reconocer y modificar las causas que determinan la erosión, el control puede lograrse mejor, evitando al mínimo las condiciones de riesgo que causan la erosión Satterlund (1972). Un plan de manejo de pastos es un instrumento de gestión sostenible de los recursos forrajeros y sirve para realizar un trabajo planificado asegurando su eficiente utilización, mejorando su productividad, reduciendo los costos de producción y protegiendo el medio ambiente; asimismo, tiene la posibilidad de que las estrategias propuestas pueden ser corregidas y actualizadas conforme se presenten diversos acontecimientos o contingencias (Flores, 2008).

Los pastizales están sometidos a rápidos cambios en respuesta a los cambios en el uso del suelo y por los efectos del clima. Las implicaciones hidrológicas del cambio del uso de suelo y la introducción de especies no nativas pueden influir en la modificación del ciclo hidrológico, especialmente en procesos de infiltración, escorrentía y evapotranspiración (Seyfried *et al.*, 2005), así como en la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica (SSDS, 2000).

El aporte insuficiente del residuo vegetal como el mantillo, conlleva a la sobreprotección del suelo, lo cual provoca hacer susceptibles a la compactación, erosión del suelo y la escasa contribución en la formación de la materia orgánica en el suelo, de este modo pueden influir cambios en la estabilidad de agregados, integridad biótica y la función hidrológica del pastizal. Con una gestión adecuada del manejo del pastizal y la ganadería se pueden mejorar e incrementar la función hidrológica del pastizal, e incrementar la condición de los sitios promoviendo la mayor tasa de formación de los suelos y disminuyendo la erosión de los suelos (Flores 2008; Thurow *et al.*, 1986).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de Estudio

La presente investigación se realizó en dos sitios ecológicos, un pajonal de condición regular para alpacas (Cotocancha) y un pajonal de condición pobre para vacunos y llamas (Sillacancha). El área de estudio corresponde a un pastizal de usufructo comunal y está ubicado en la Cordillera Blanca, en el distrito y provincia de Recuay, de la región Ancash, a una altitud de 4095 msnm. Ambas zonas de estudio de acuerdo con la descripción los Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro pertenecen a la clasificación Pajonal Altoandino Húmedo (Flores y Ñaupari, 2011), caracterizados por presentar una temperatura promedio de 12°C con vientos fríos y secos, y una precipitación anual total de 700mm (Mamani, 2002). Las lluvias son estacionales concentrándose la mayor cantidad entre los meses de diciembre a marzo (60%) correspondiente a la época lluviosa.

El área del estudio presentó una tendencia negativa y con signos de erosión laminar. La cobertura vegetal para en el pastizal pobre fue 75% y en el pastizal regular 94%, presentan como vegetación dominante a la asociación de *Calamagrostis macrophylla* - *Scirpus rigidus* y *Nassella brachiphylla* - *Festuca humilior* respectivamente, con un 35 kgMS/ha y 60 kgMS/ha de mantillo. Las características fisiográficas del área de estudio revelan una topografía ligeramente inclinada, con pendientes que variaron entre el 2 a 5% y los suelos muy superficiales, con pedregosidades superficiales que varían entre el 2 a 25%, y texturas francas y francas arenosas (Tabla 3).

Tabla 3: Atributos de vegetación en los sitios ecológicos.

| Atributos | Área de Estudio | |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | Pastizal de condición Regular | Pastizal de condición Pobre |
| Especies deseables (%) | 28 | 32 |
| Índice forrajero (%) | 62 | 35 |
| Plantas Indeseables (%) | 23 | 28 |
| Suelo desnudo (%) | 4 | 12 |
| Cobertura vegetal (%) | 94 | 75 |
| Biomasa(kgMS/ha) | 1375 | 964 |
| Mantillo (KgMS/ha) | 60 | 35 |
| Densidad aparente(g/cc) | 0.82 | 0.84 |
| Tasa de Infiltración (cm/min) | 0.13 | 0.06 |
| Humedad del suelo (%) | 16% | 8.3% |
| Pedregosidad superficial (%) | 2.0 | 25.0 |
| Textura del suelo | Fr. | Fr. A |
| Profundidad del suelo | Superficial (25 a 50cm) | Muy superficial (<25cm) |
| Erosión del suelo | Moderada | Severa |
| Materia Orgánica (%) | 6.90 | 4.80 |

Fuente: Elaboración propia.

El suelo del área experimental presentó niveles de pH fuertemente ácidos (4.53), conductividad eléctrica muy ligeramente salinos de 0.11 dS/m, capacidad de intercambio catiónico de 9.12 meq/100g, contenido de fósforo bajo de 3.4 ppm, y niveles de potasio bajo de 24 ppm y el contenido de materia orgánica alto del 4.2%, signado por el Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas UNALM.

La investigación tuvo una duración de un año y tres meses comprendido entre agosto 2010 y noviembre 2011. El diferimiento se inició en setiembre del 2010 a inicios de lluvia finalizando en junio del 2011 con la caída de semillas de los pastizales.

3.2 Tratamientos Experimentales

Se aplicaron cuatro tratamientos siguiendo un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2x2 y covarianza donde los factores fueron 2 especies y 2 sitios ecológicos, en donde cada tratamiento fue aplicado en parcelas individuales de evaluación de un área 625m² debidamente cercadas y excluidas del usufructo comunal. Los tratamientos fueron T1: Pastoreo con llamas en sitio del pastizal pobre, T2: Pastoreo con llamas en sitio del pastizal regular, T3: Pastoreo con vacas en sitio del pastizal pobre y T4: Pastoreo con vacas en sitio del pastizal regular. Todos los tratamientos contemplan una densidad de carga de 3 Unidades Animal (UA) y 9 Unidades llama (ULL) considerando la equivalencia entre vacas (UA/ha/año) y llamas (ULL/ha/año). En todos los tratamientos se utilizó un esquema de pastoreo rotativo intensivo-pesado con cinco días de pastoreo y 55 de descanso. Previamente a la aplicación de los pastoreos, los animales fueron adiestrados con fines de acostumbramiento a este sistema de uso del pastizal.

3.3 Sistema de Pastoreo

Antes de iniciar los tratamientos de los pastoreos el área experimental fue diferida, es decir no fue pastoreada para permitir que las plantas semillen. Al final del diferimiento se hizo una evaluación de la vegetación y se determinó la capacidad de carga del área experimental con el propósito de planificar el pastoreo, programar el tiempo de ocupación y el número de animales, siguiente el esquema mostrado en la Figura 8.

La condición del pastizal se evaluó a través de los censos de vegetación (Parker, 1951; y Ratliff, 1993) estimado en diferentes etapas: inicio del diferimiento, final del diferimiento (antes del pastoreo) y final del pastoreo. Previamente a las evaluaciones se estableció transectos fijos de 30 m dentro de cada uno de los potreros experimentales, a fin de realizar el monitoreo respectivo de la vegetación durante todo el proceso de investigación. Los censos de vegetación nos permitieron estimar además la composición florística, condición y tendencia del pastizal.

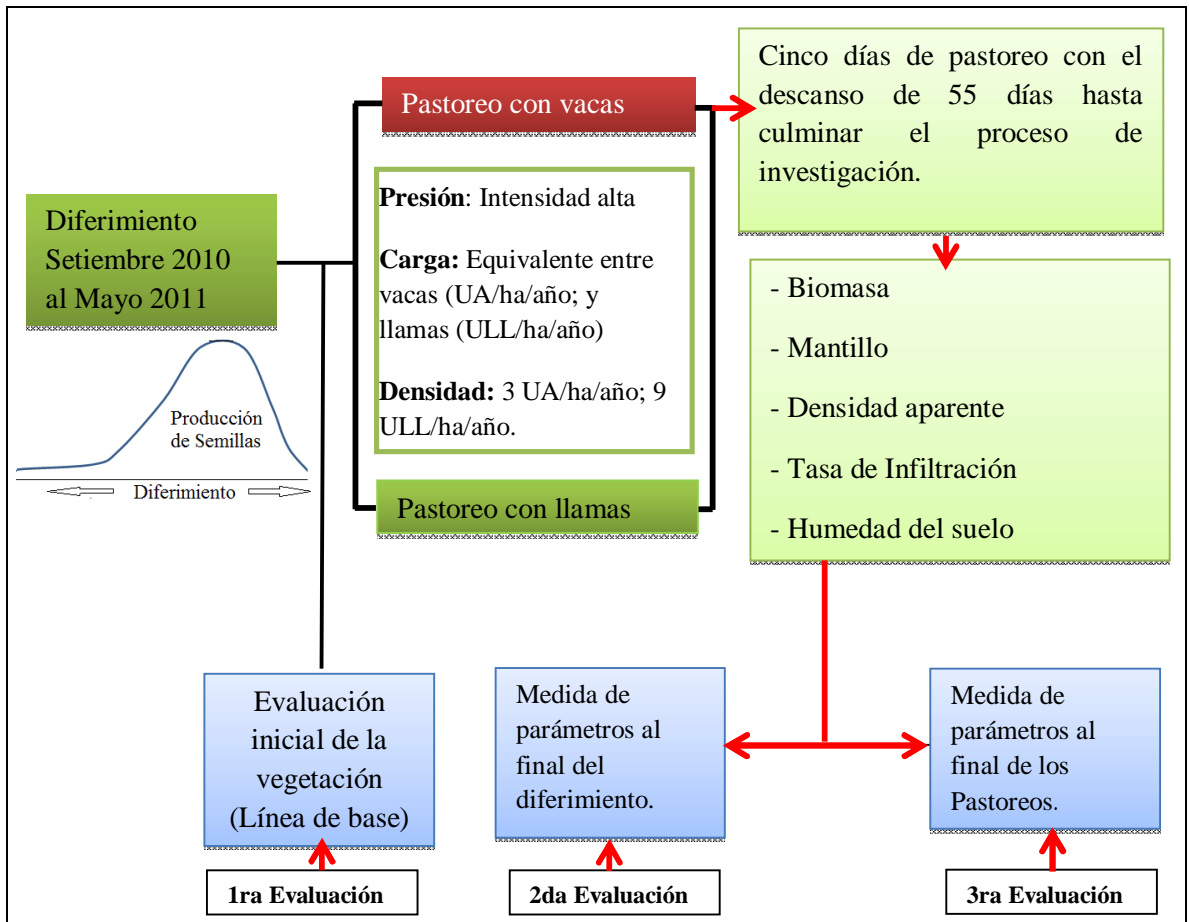


Figura 8: Descripción del proceso de pastoreo.

Los índices de especies deseables, índice forrajero, vigor de especies claves y cobertura vegetal fue obtenida a partir de los censos de vegetación. La condición de los sitios se determinó hallando el puntaje al cual se comparó con las tablas generadas en el Laboratorio de Utilización de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Flórez y Malpartida 1987), según la siguiente fórmula:

$$\text{Puntaje (0-100\%)} = 0.5 (\% D) + 0.2 (\% IF) + 0.2 (\% C) + 0.1 (\% IV)$$

Donde:

- Deseables : (% D)
- Índice Forrajero : (% IF)
- Cobertura vegetal : (% C)
- Índice de Vigor : (% IV)

El levantamiento de datos de la vegetación y suelos inició a mediados de mayo del 2010 y culminaron en agosto del 2011 (Figura 9). Cabe resaltar que los monitoreos

fueron realizados utilizando la metodología de Investigación con Enfoque Participativo (IEP) (Greenwood y Levin, 1998).

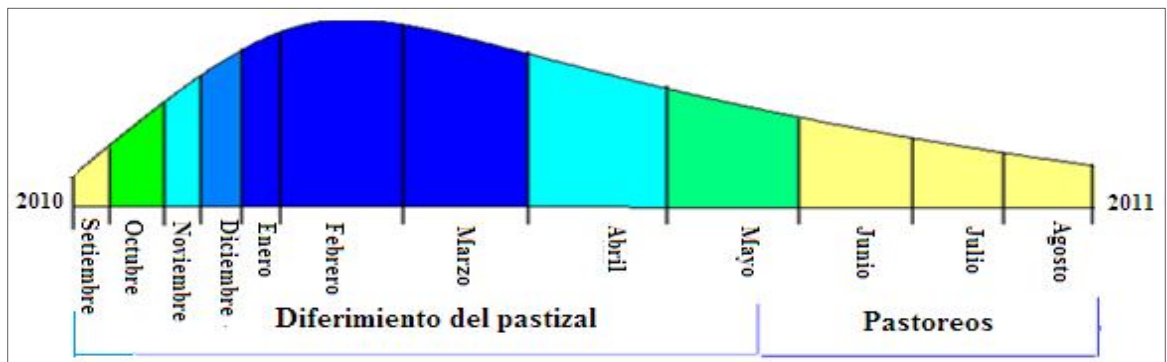


Figura 9: Diferimiento y final de los pastoreos

3.4 Los Indicadores de la Función Hidrológica

3.4.1 Biomasa Disponible

La biomasa aérea disponible en pie se estimó en ambos sitios ecológicos (pastizal Pobre y pastizal Regular) y en dos momentos, al final del diferimiento y al final del pastoreo. Se extrajeron cinco muestras manualmente utilizando tijeras (podadoras) por tratamiento, en cuadrantes de 1.0 m². La cantidad de pasto extraída fue colocada en bolsas de polietileno y etiquetadas, posteriormente para estimar el peso húmedo y seco. El secado de las muestras se realizó a 105 °C por 24 horas, para obtener el rendimiento la materia seca (MS) de la biomasa en kg MS/ha (AOAC, 1980).

3.4.2 Mantillo

Se realizó conjuntamente con la evaluación de la biomasa, para ello antes del muestreo de la biomasa en pie, se procedió a la separación manualmente el mantillo u hojarasca de la superficie del suelo contenida en el cuadrante de 1 m² y se tomaron cinco muestras de la cantidad de mantillo disponible por tratamiento, las cuales fueron derivadas al laboratorio para la determinación del contenido de materia seca (kg MS/ha) en estufa a 105°C por 24 horas (AOAC, 1980).

3.4.3 Densidad Aparente del Suelo

La densidad aparente (DA) se estimó a través del método de cilindro (Blake, 1965; Porta *et al.*, 2003; Henríquez y Cabalceta, 1999); para lo cual se instalaron en cada potrero experimental de cada sitio ecológico, cuatro transectos permanentes de 30 metros lineales distribuidos a cuatro metros de distanciamiento entre sí. Las mediciones se realizaron en dos momentos: al final del diferimiento (antes del pastoreo) y al final de cada pastoreo (se realizaron dos pastoreos). Por cada tratamiento se recolectó doce muestras de suelo con la ayuda de cilíndricos metálicos de medidas 4.3 cm diámetro y 6.5 cm de altura a una profundidad de 10cm del horizonte superior del suelo. Posteriormente, las muestras se pesaron en fresco con una balanza de precisión y luego fueron derivadas al Laboratorio de Utilización de Pastizales de la UNALM para su presecado y deshidratación en estufa a 105 °C por 24 horas. Finalmente, la densidad aparente se obtuvo a través de la fórmula: $Da = m/v$, y el volumen del cilindro: $V = \pi * r^{2*} * h$ finalmente se expresó en g/cm^3 .

$$DA = \frac{\text{Peso seco de suelo}}{\text{Volumen del cilindro}} = g/cm^3$$

La densidad aparente de un suelo seco expresa la relación entre la masa de sólidos y el volumen total de suelo, incluyendo los poros y viene dada por la siguiente expresión (Blake, 1965).

$$pb = \frac{Ms}{Vt} = \frac{Ms}{(Vs + Va + Vw)}$$

Donde:

- Pb : Densidad aparente
- Ms : Es la masa de sólidos.
- Vt : Viene dado por el sumatoria del volumen.
- Vs : Es el volumen total de sólido.
- Va : Es el volumen de aire.
- Vw : Es el volumen de agua que posee un suelo.

3.4.4 Tasa de Infiltración

La tasa de infiltración se estimó a través del método de inundación (Bouwer, 1986; Mwendera y Saleem, 1997; Hurtado, 2007), mediante el empleo de un infiltrómetro metálico de dos anillos concéntricos de medidas internas de 30 cm de diámetro por 40 cm de altura y externas de 40 cm de diámetro por 40 cm de altura, cuya instalación consistió en la introducción del anillo interno en el suelo a una profundidad de 10 cm y el externo a 5 cm para reducir el efecto de borde. Una vez instalado el infiltrómetro se procedió al llenado del agua en el anillo interno hasta una altura predeterminada, y las mediciones fueron realizadas tomando lecturas cada 1, 5 y 10 minutos para finalmente obtener el valor en el que el diferencial cm/min es constante (Mwendera y Saleem, 1997b). Esto permitió desarrollar curvas de infiltración y estimar el valor promedio de infiltración por tratamiento (Bouwer, 1986; Hurtado, 2007). En total se realizaron dos mediciones de la tasa de infiltración por tratamiento, al final del tratamiento diferido y del pastoreo. Para generar las curvas de infiltración expresando las unidades en centímetros/minuto y las tasas terminales de este parámetro se calculó con la ecuación de Kostiakov, según la metodología descrita por Henríquez y Cabalceta (1999), utilizando los valores del intercepto y pendiente obtenidos en la ecuación para cada tratamiento y el tiempo de referencia de una hora.

$$F = K t^n$$

Dónde:

F : es la infiltración acumulada (lámina).

K : es una constante cuyo valor depende de las unidades de F y de tiempo.

tⁿ : es el tiempo y n un exponente que representa el gradiente de disminución de la infiltración con el tiempo.

Tanto **K** como **n** están relacionados con la textura y estructura de los suelos.

La infiltración instantánea representa la tasa de variación de la infiltración con relación al tiempo y por consiguiente se obtiene derivando la ecuación:

$$= \frac{\delta F}{\delta t} = K n t^{n-1}$$

Donde:

f : es la infiltración instantánea (lámina/tiempo). Por lo general **f** se expresa como cm/h. indica que cuando el tiempo tiende al infinito, la infiltración tiende a cero, lo cual no es cierto ya que como se mencionó anteriormente, la infiltración se reduce hasta llegar a una tasa mínima, igual a la infiltración básica. Esto indica que ese tipo de ecuaciones tienen limitaciones para todos los usos.

3.4.5 Humedad del Suelo

La medición de la humedad consistió en la toma de muestras del suelo a 15 cm de profundidad a lo largo de las transecta cada cuatro metros (Blake, 1965). Se tomaron un total 12 muestras por tratamiento en dos momentos, al final del diferimiento (antes del pastoreo) y al final del pastoreo, para permitir ajustar los valores al final del experimento con los iniciales. Las muestras del suelo fueron depositadas en un recipiente de plástico, etiquetadas y pesadas tanto en fresco como en seco (Pierson *et al.*, 2002).

$$CH\% = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

Donde:

CH% : contenido de humedad (%)

P1 : peso húmedo

P2 : peso seco

3.4.6 Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado fue el completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2x2 donde los factores fueron las especies animales (llamas y vacunos) y los sitios ecológicos de pastizal tipo pajonal (regular y pobre). Se adicionó a este análisis una covariable representada por el estado de los parámetros evaluados al inicio del pastoreo diferido. Se encontró que todos los parámetros evaluados al inicio y al final del pastoreo diferido estuvieron correlacionados positivamente ($p < 0.01$) justificando el

ajuste del estado de las variables al final del experimento con aquellas observadas al inicio.

Modelo aditivo lineal utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} : Cov_{ijk} + E_j + S_j + (E*S)_{jk} + E_{ijk}$$

Y_{ijk} : variable respuesta de la covariancia ijk ;

Cov_{ijk} : covarianza de la factorial j _ésimo especie animal con la k _ésimo sitio ecológico medidas en el final del experimento;

A_j : efecto de la j _ésimo animal (Vacas y Llamas);

S_k : efecto de la k _ésimo sitio ecológico condición (Regular y Pobre);

$E*S_{jk}$: es la interacción entre el j _ésimo especie con la k _sitio (1,2);

E_{ijk} : es el error estándar de los efectos de la covariable ijk ;

Finalmente, para separar los promedios en la respuesta al pastoreo con llamas y vacunos en los dos sitios ecológicos se empleó una prueba de Diferencia de Limite Significativa DLS a un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Biomasa Disponible

La cantidad de biomasa disponible al final del pastoreo diferido fue mayor cuando se pastoreo con llamas (1398 kgMS/ha) en comparación con los vacunos (1226 kgMS/ha) ($p < 0.01$) (Figura 10). Similarmente, la biomasa en sitios del pastizal en condición regular fue mayor (1540 kgMS/ha) que en sitios de pastizal en condición pobre (1084 kgMS/ha) ($p < 0.01$) (Figura 11). La mayor acumulación de la biomasa en las parcelas experimentales pastoreadas con llamas, podrían deberse a que el consumo del forraje por las llamas estaría influenciado por su tasa de requerimiento y el peso vivo por unidad animal, debido a que las llamas consumen menos cantidad de biomasa (San Martín, 1987) (Figura 12), relacionado también con su hábito alimenticio que es exclusivamente en su mayor parte de gramíneas altas de los géneros *Festuca*, *Bromus*, *Calamagrostis* y *Stipa* (Brack, 2003).

Otra de las características de la forma de pastorear por los camélidos es la prehensión de los pastos que no lo hacen jalando o arrancando como los ovinos, caprinos y equinos; sino que llevan a cabo un corte ligero con los incisivos inferiores y el rodete dentario, permitiendo un rebrote más rápido del estrato herbáceo y dejando un mayor residuo de pastos (Bustinza, 1986). Asimismo, San Martín y Bryant (1987) precisan que las llamas son “animales ecológicos” debido a que están adaptados a los pastos duros y poco palatables de la puna, y tienen una forma eficiente de controlar la desertificación en los altos Andes, por la estructura de sus patas con almohadilla en el plantar, hacen que la uña o casco no afecten la superficie del suelo, durante el pisoteo lo cual genera un menor impacto y daño por donde caminan (Brack, 2003).

Al contrastar nuestros resultados por el efecto del sistema de pastoreo diferido utilizado entre los sitios del pastizal de condición regular y pobre; la biomasa residual del pastizal incrementó en ambos sitios, respuesta que al ser comparado con los

resultados obtenidos de línea de base en el sitio regular y al final de los estudios se encontraron de 1540 kgMS/ha en el mismo sitio, por lo que se pueden afirmar que el sistema de pastoreo tuvo un impacto positivo, tal como lo reportado por Muhammad *et al.* (2011), quienes observaron que la cobertura basal del pastizal incrementó de forma constante durante los 4 años con el tratamiento de pastoreo diferido en temporada de 6 meses, indicando que el cambio relativo en la cobertura basal fue significativa sólo en el cuarto año, lo que atribuyeron a la precipitación más favorable en ese año, y en el pastoreo diferido rotativo, observaron la reducción de la biomasa seca, la cual no fue significativa; sugiriendo que el manejo del ganado durante el pastoreo diferido promueve el descanso del pastizal buscando reducir el impacto de los animales sobre las plantas, permitiendo mayor rebrote y acumulación de reservas antes del nuevo pastoreo (Flores, 2008).

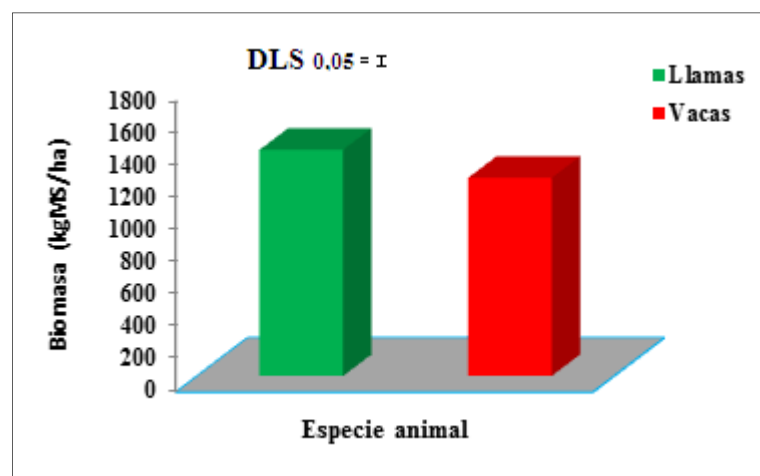


Figura 10: Biomasa al final del pastoreo diferido. Llamas vs Vacunos

Nuestros resultados demostraron también que el incremento de la biomasa del pastizal en los sitios estudiados podría contribuir en la protección del suelo amortiguando la compactación como resultado del tránsito y pisoteo del ganado que pastorea. Mientras el pastoreo se ajusta a un sistema no habrá acumulación de biomasa muerta en pie lo cual puede reducir los regímenes de fuego en formas no deseadas (Hobbs *et al.*, 1991). Finalmente el intenso pisoteo por el ganado, la distribución desigual de los animales y el consumo excesivo de plantas puede producir la degradación irreversible del ecosistema, incluso en ecosistemas productivos (Cingolani *et al.*, 2005; Cingolani *et al.*, 2008). Sin embargo, Zarría *et al.* (2015), indicaron que la cobertura vegetal y el mantillo son críticos cuando el sobrepastoreo se incrementa de modo que en los

procesos de recuperación del ecosistema pastizal no estarían siendo fuertemente afectados, debido a un alto porcentaje de cobertura (89.89%), sugiriendo que el pastoreo rotativo diferido de baja o moderada intensidad realizado por períodos cortos de tiempo (menos de una semana) evitará el sobrepastoreo y sus efectos negativos como la alta remoción de cobertura vegetal y la compactación de los suelos.

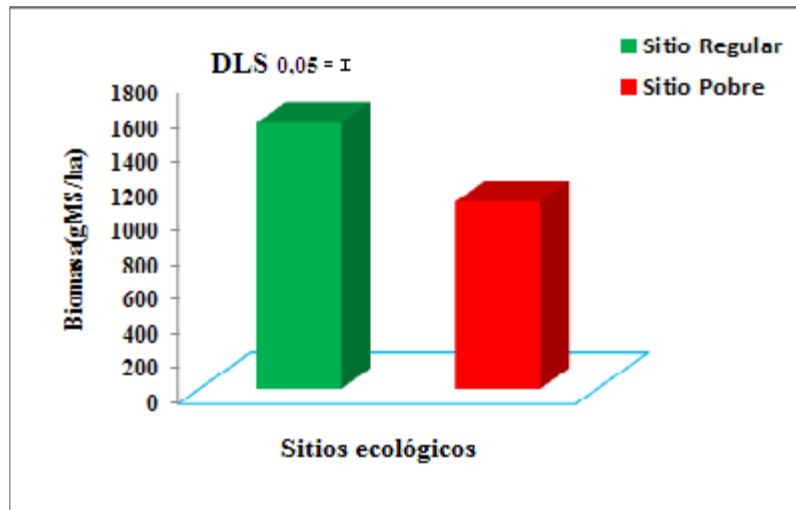


Figura 11: Biomasa sitio del pastizal regular vs sitio pastizal pobre

La menor cantidad de biomasa encontrada en los sitios del pastizal pobre y regular en las áreas pastoreadas con vacunos, podría deberse a que los vacunos poseen un mayor peso corporal y por lo tanto son mayores sus requerimientos absolutos a una elevada demanda energética de mantenimiento, las cuales hayan influido en el mayor consumo del pasto por unidad de peso vivo (San Martín y Bryant, 1988). Una de las características de los vacunos es consumir grandes volúmenes de forraje, prefiriendo los estratos altos y son herbívoros habitualmente más selectivos (Aldezabal, 2001; Bartolomé, *et al.*, 2012), por lo que pueden generar un impacto en la producción de biomasa, observándose estas diferencias en la acumulación del residuo de la biomasa pastoreados con llamas y vacunos (Heady y Child, 1994).

No hubo interacción entre sitios ecológicos y especies animales ($p > 0.05$), sin embargo la respuesta de la biomasa disponible fue superior en los tratamientos de pastoreo con llamas debido a su menor consumo de la biomasa. Respuesta que no fue influenciada por la condición de los pastizales (regular vs pobre) (Figura 12). Al no existir interacción entre ambos factores, el análisis de la respuesta fue de modo individual. En

tal sentido las llamas y los vacunos van consumir el forraje hasta cubrir su tasa de requerimiento, asimismo la disponibilidad de forraje es clave al iniciar el pastoreo. En un sitio pobre, el animal consume más forraje y degrada más; mientras en sitios regulares por la cantidad de biomasa podría cubrir sus requerimientos en menos tiempo (Cingolani *et al.*, 2005 y Cingolani *et al.*, 2008).

La mayor cantidad de biomasa contribuye a una mejor cobertura del suelo (Thurow *et al.*, 1986; Snyman, 2005; Castellano y Valone, 2007). El impacto positivo de tener una buena cobertura por vegetación es evitar que las gotas de lluvia impacten directamente sobre la superficie del suelo, evitando la erosión e incrementando la infiltración el agua en el suelo.

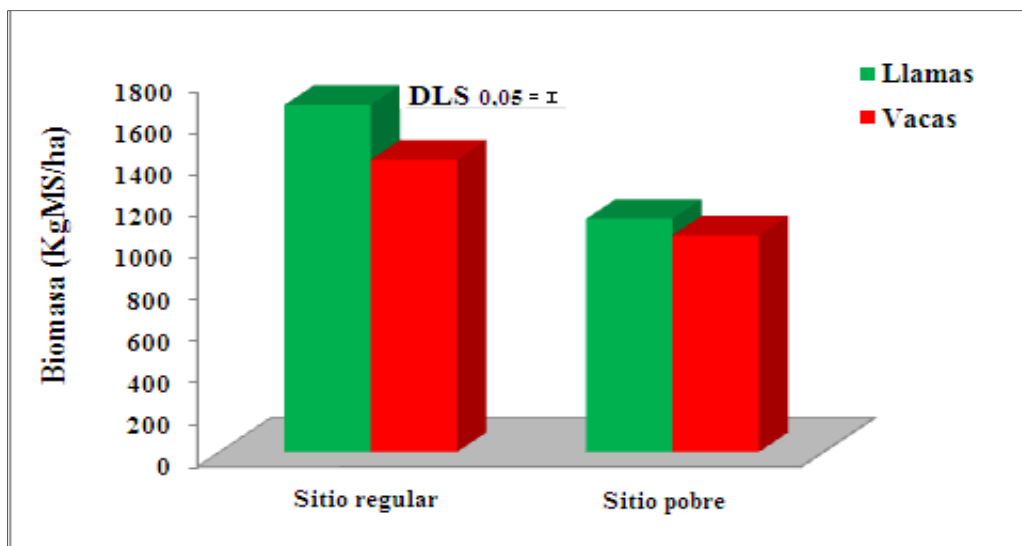


Figura 12: Biomasa; Sitio regular vs Sitio pobre pastoreado con vacas y llamas

El sistema diferido rotacional favorece la integridad del ecosistema por cuanto permite periodos de descanso y recuperación (Flores, 1993), lo que no ocurre cuando el pastoreo es continuo y podría impactar negativamente su condición ecológica. El patrón de deterioro del suelo por efectos de la erosión como resultado de la desertificación y la condición hidrológica de los pastizales, indicando la complejidad de la interrelación de los factores del suelo, la vegetación, la topografía y el clima. La mejora de condiciones hidrológicas y la retención de la pérdida del suelo son determinantes en la producción sostenible a largo plazo.

Los herbívoros en pastoreo sin control pueden afectar negativamente la vegetación y la estabilidad de agregados; disminuyendo la cobertura vegetal y reduciendo la

interceptación del agua, como indican los estudios realizados (Warren *et al.*, 2001), además el pastoreo continuo es uno de las principales causas de degradación del suelo por lo que afectan las propiedades físicas del suelo y cubierta vegetal (Strunk, 2003). Una disminución en la biomasa se traduce en menos materia orgánica con el tiempo que se incorporan al suelo, factor importante en la formación de estabilidad de agregados (Blackburn *et al.*, 1986). Asimismo, García-González (2008) y Hulme (1996) ratifican que un pastoreo continuo puede generar cambios importantes en pastizales de estrato alto como en el presente estudio; además el efecto del sobrepastoreo en las plantas deseables pueden influir un cambio por especies de menor valor forrajero, debido a los eventos continuos de pastoreo ocasionando que las plantas deseables sean pastoreadas con mayor frecuencia e intensidad, afectando notablemente su capacidad de recuperación.

Para entender la dinámica y la relación entre la vegetación y el pastoreo es importante señalar los factores relacionados a la vegetación con los animales: volumen de biomasa sobre el suelo, su estructura o arquitectura (césped, matas de pajonales, etc.) y la cantidad y calidad del forraje ofrecido (palatabilidad y digestibilidad). Del mismo modo, los factores relacionados con los animales son varios, entre ellos están el tipo de animal (vacuno, ovino, alpaca, llama etc.), edad (p.e. terneros, novillos, etc.), carga animal (cantidad de cabezas por hectárea), duración de los periodos de pastoreo y descanso (continuo, rotativo). El pastoreo directo por ganado doméstico ejerce dos tipos de efectos sobre los suelos: la defoliación causada por la ingesta de forraje por los animales y el pisoteo causado por el tránsito de ganado. Ambos efectos pueden generar importantes cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Muhammad *et al.*, 2011).

Asimismo, el pisoteo en un suelo pobre en biomasa disponible se reduce la porosidad estructural y estabilidad de los agregados disminuyendo la capacidad de infiltración y retención de agua (Denoia *et al.*, 2000; Castellano y Valone, 2007; Pellant *et al.*, 2005). Otro factor importante en particular son los niveles de materia seca residual, las cuales están directamente relacionados con la capacidad de infiltración del agua en la superficie del suelo. El suelo podría experimentar una disminución volumétrica por efecto del impacto del pisoteo, la cual indicaría una baja acción protectora del suelo

por la escasa vegetación conllevando a la susceptibilidad a la compactación (Brown, 1968; Wood y Blackburn, 1984).

4.2 Cantidad de Mantillo

El mantillo u hojarasca hallado en la superficie del suelo exhibió el mismo patrón que la biomasa, se encontró mayor cantidad de mantillo al final del pastoreo diferido rotativo ($p < 0,01$) en los potreros pastoreados con llamas (65 kg MS/ha) que con vacunos (50 kg MS/ha) (Figura 13). El mantillo en sitios del pastizal en condición regular fue mayor (64 kg MS/ha) que en sitios de pastizal en condición pobre (51 kg MS/ha) ($p < 0,01$) como se observa en la Figura 14. Asimismo, estos resultados del mantillo contrastado con de línea de base (Tabla 3), en áreas pastoreadas con llamas se incrementó significativamente al final del pastoreo lo que sugiere que el sistema diferido podría contribuir a la acumulación del mantillo. La interacción entre especies animales y sitios fue estadísticamente significativa ($p < 0,05$), obteniéndose una mayor cantidad de mantillo en el sitio regular, los resultados demostraron que el impacto de las llamas fue menor al de los vacunos sobre la acumulación del mantillo del pastizal (Figura 15).

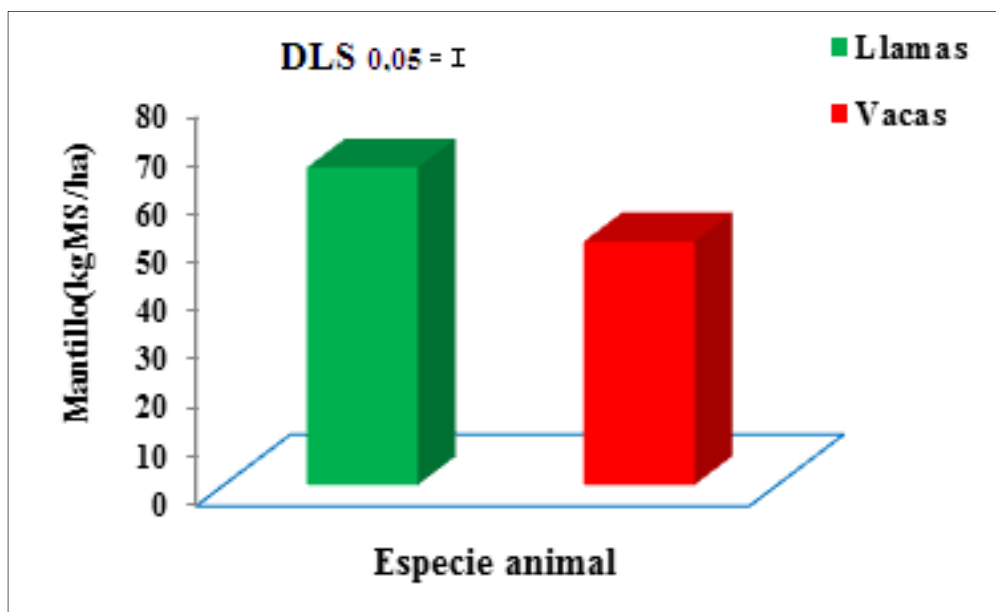


Figura 13: Mantillo; Llamas vs Vacunos

Los resultados revelaron que la cantidad de biomasa está directamente relacionado a la cantidad de mantillo generado. Por otro lado, el hábito alimenticio de las llamas exclusivamente en su mayor parte, son de gramíneas de los géneros Festuca (Brack, 2003). Bromus, Calamagrostis y Stipas, y la forma de aprehensión un corte conservador del estrato herbáceo (Bustinza, 1986), permitiendo un rebrote más rápido (San Martín y Bryant 1987). Una de las características de la forma de pastorear de los camélidos es que no arrancan los pastos de raíz como lo hacen (los equinos y vacunos) y la estructura de sus pies (con almohadilla en la planta y la uña o casco que no toca el suelo) hacen que no fomenten la erosión de los suelos por no mermar la cobertura de hierbas y por pisoteo (Brack, 2003).

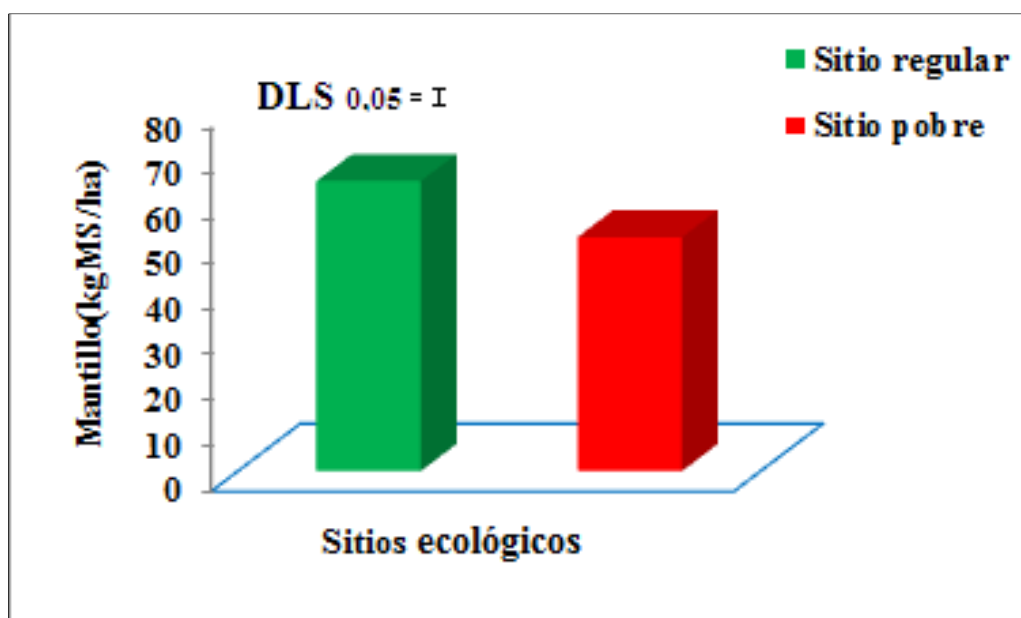


Figura 14: Mantillo; Sitio regular vs Sitio pobre

Los resultados demostraron que la acumulación del mantillo en los sitios de pastizal pastoreados con llamas fueron superiores a los pastoreados con vacunos (Figura 14), respuesta asociada a un menor consumo del forraje encontrado en los sitios del pastizal pastoreado con llamas (San Martín y Bryant, 1987). De acuerdo a nuestros resultados se atribuyen que el sistema de pastoreo diferido con una carga adecuada y un nivel de uso recomendado, pueden mejorar los niveles de mantillo como también mantener la proporción de biomasa sobre mantillo con el consumo del pastizal tal como indican

nuestros resultados. Mientras en pastoreo continuo con alta presión y carga, pueden influir negativamente en la acumulación del mantillo (Flores,1993).

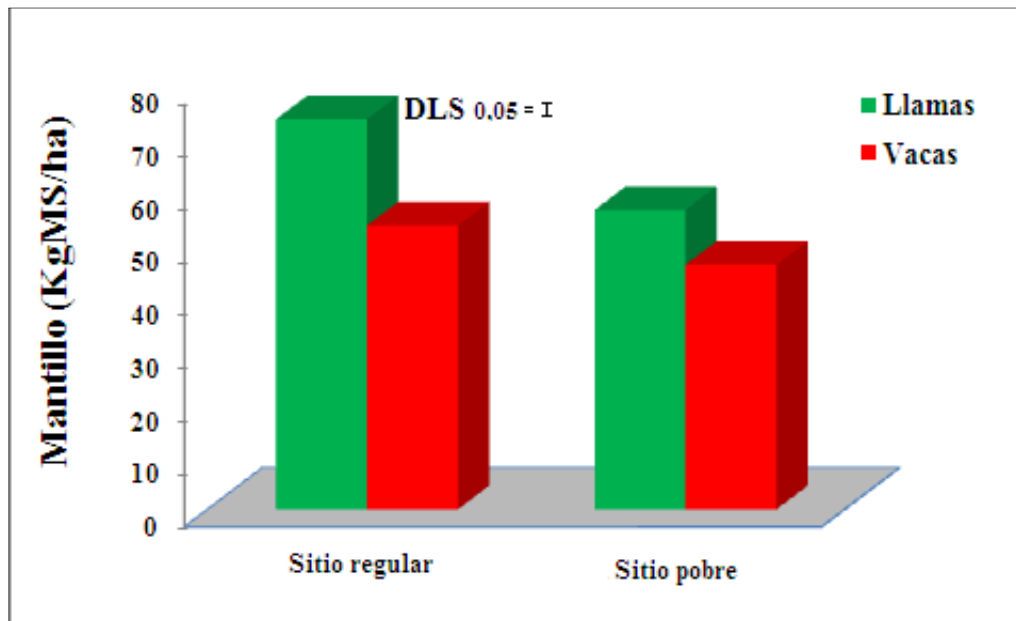


Figura 15: Mantillo; Llamas vs Vacas según sitio de pastizal

Por otro lado, también existen factores que conllevan a la pérdida de mantillo como las causadas por el viento, agua superficial y las quemadas fortuitas (Perú Ecológico, 2015). El mantillo juega un rol importante en la protección de los suelos, reduciendo la erosión y aumentando la retención de agua, reduciendo los efectos de las bajas temperaturas y facilitando el establecimiento de plantas deseables. En consecuencia, una acumulación progresiva de residuos vegetales, mantillo u hojarasca son indicadores de la mejora de la condición de los pastizales. El pastoreo diferido resultó ser una estrategia que mejoró la condición de los pastizales y la acumulación de los niveles de mantillo, demostrado por el incremento de su productividad (Bustinza, 1986).

Otros de los factores que influyen en la acumulación del mantillo es la precipitación promedio anual registrada en la época de evaluación, puede influir de manera significativa en la productividad de los pastizales, incrementando o disminuyendo la biomasa y del mismo modo influenciando la acumulación del mantillo. El pastoreo con el tipo de especie animal también influye en la acumulación del mantillo residual (Snyman, 2005; Castellano y Valone, 2007).

La presión del pastoreo y la especie animal son considerados factores de importancia en gran parte de la investigación hidrológica (Blackburn, 1984). Cuando la biomasa del pastizal y el mantillo son escasos, los animales herbívoros en pastoreo sin un control pueden afectar negativamente la vegetación y al mantillo disminuyendo la cobertura vegetal a la vez reduciendo la interceptación del agua. Resaltando que el pastoreo no controlado del ganado es uno de las principales causas de degradación del suelo y la vegetación (Warren *et al.*, 2001), pudiendo afectar la estructura de la vegetación y las propiedades del suelo mediante la alteración de la cubierta vegetal y por los efectos mecánicos de sus pezuñas por encima del suelo.

El mantillo juega un rol clave en el mantenimiento de las propiedades físicas del suelo, en su capacidad de almacenamiento de agua (Petersen y Stringham, 2008; Pierson *et al.*, 2007), lo cual habría influenciado la mejor respuesta hidrológica cuando se pastoreó con llamas. Asimismo el mantillo proporciona la fuente principal de materia orgánica de los pastizales al suelo y el material para el ciclo de nutrientes (Whitford, 1996), el mantillo orgánico sobre y dentro de la matriz del suelo y las excretas de los animales en el pastizal. La cobertura del mantillo como el rastrojo de las cosechas también ejerce un efecto amortiguador ante las presiones ejercidas en el área de contacto de una maquinaria (Torbert y Reeves, 1995), así como también en el caso del pisoteo animal en el área de contacto pezuña suelo. Sin embargo, los factores que influyen sobre la presencia de la materia orgánica en el suelo de los pastizales son: la degradación la hojarasca, el tiempo de uso, intensidad del pastoreo, el sistema radicular, los microorganismos, las propiedades físicas y los cambios de uso del suelo (Pierson *et al.*, 2007; Crespo, 2011).

La cantidad de mantillo encontrado en el sitio del pastizal podría contribuir a una mayor resistencia del suelo a la erosión, asimismo disipando la energía de las gotas de lluvia y el escurrimiento (Thurow *et al.*, 1988; Hester *et al.*, 1997). En adición, la recuperación hidrológica estuvo altamente correlacionada con la dinámica del mantillo, tal como lo reportó Blackburn *et al.* (1986) quienes indicaron que los tipos de vegetación y su condición de los pastizales con alto residuo de mantillo juegan un rol clave porque interceptan hasta un 0.5% del agua e infiltran 75%, permitiendo solo el 24% de escorrentía superficial con una pérdida del suelo de 200 kg/ha para el caso del pajonal, cuando no sucede en pastizales de condición pobre y en suelos desnudos sin

vegetación, la cual conlleva una gran pérdida del suelo con altos niveles de escorrentía superficial reduciendo la tasa de infiltración del agua.

4.3 Densidad del Suelo

Los resultados indican que la densidad del suelo en el área pastoreada por vacunos (0.88 g/cc) es mayor que la densidad hallada en las áreas pastoreadas por llamas (0.86 g/cc) en ambos sitios ecológicos ($p < 0.01$) (Figura 16). La densidad aparente en sitios del pastizal en condición regular (0.84 g/cc) fue mayor que en sitios de pastizal en condición pobre (0.90g/cc) ($p < 0.01$) como se observa en la Figura 17. La baja densidad del suelo encontrado en los sitios del pastizal pastoreados con llamas estaría relacionada con la forma de sus pezuñas y la presión transmitida en el perfil del suelo por el animal; la cual está asociada con su peso, el área de pezuña que contacta el suelo y con la energía cinética del animal al caminar (Greenwood y McKenzie, 2001). La mayor biomasa residual encontrado en los sitios de pastizal, habrían contribuido en la resistencia a la compactación por el pisoteo, mejorando su respuesta hidrológica y la protección del suelo (Tate *et al.*, 2004). Mientras en los sitios del pastizal de condición pobre la reducida cobertura vegetal asociada a la menor biomasa del pastizal, podría desarrollar una susceptibilidad a la compactación del suelo influyendo una pérdida de volumen en una determinada masa de suelo, debido a efectos del pisoteo sucesivos producido de fuerzas externas que actúan sobre él, reduciendo las tasas de infiltración del agua, a un nivel que no es suficiente para el crecimiento (Clary, 1995; Castellano y Valone, 2007).

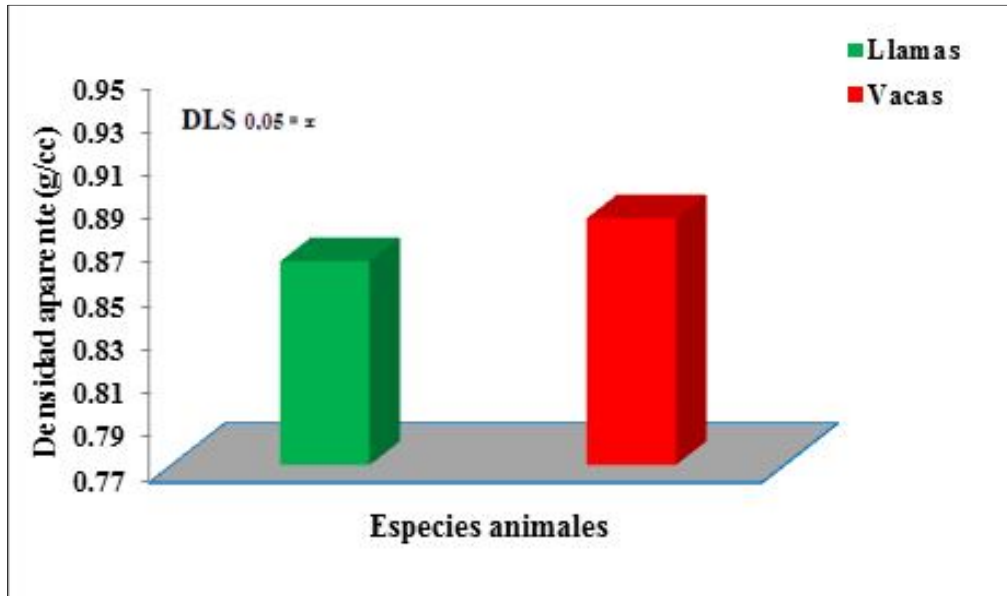


Figura 16: Densidad del suelo; Llamas vs Vacunos

Estos resultados podrían deberse a que la compactación ejercida en el suelo por los vacunos es probablemente mayor debido a la forma de sus pezuñas que contrastan con las pezuñas almohadilladas de la llama (Denoia *et al.*, 2000; Mwendera y Saleem, 1997a; Zerpa *et al.*, 1997). Estas diferencias se observaron tanto en los sitios del pastizal de condición regular como en los sitios del pastizal de condición pobre (Figura 15), a pesar que la carga y la presión del pastoreo fueron similares tanto para llamas y vacunos en ambos sitios de pastizal.

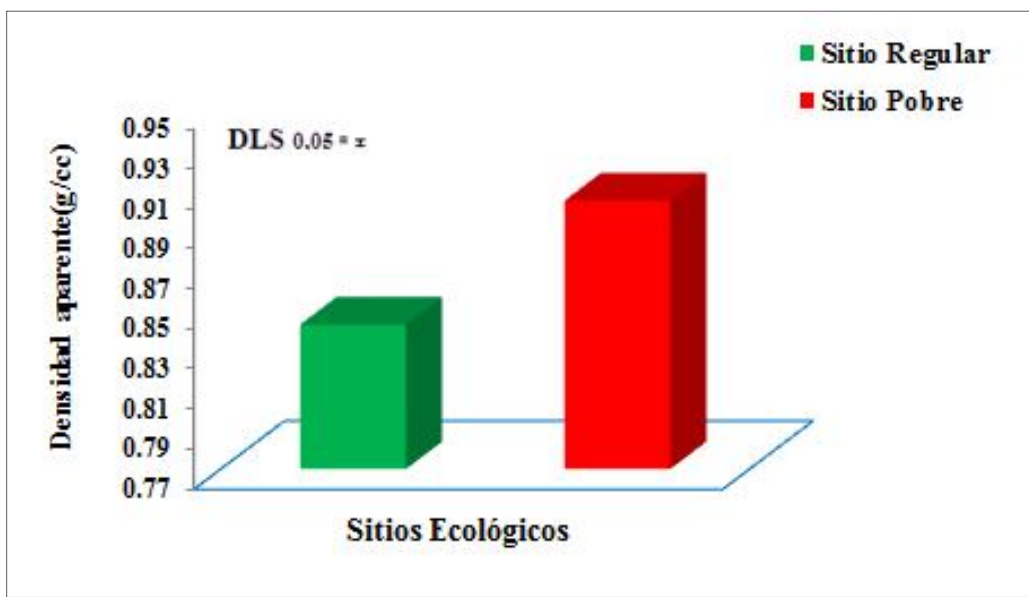


Figura 17: Densidad del suelo; Sitio regular y Sitio Pobre

La menor densidad aparente del suelo hallado en los sitios del pastizal pastoreados con llamas podría contribuir a una mayor cantidad de porosidad en el suelo siendo indispensable para la vida de los microorganismos y sobre todo, favoreciendo el incremento de la infiltración (Aksakal *et al.*, 2011; Azarnivand *et al.*, 2011) lo cual favorece la posibilidad de conservarla y ponerla a disposición para el crecimiento de las plantas. Asimismo, cuando se disminuye la carga animal en las áreas de pastoreo reduce los niveles de compactación de las capas de suelo.

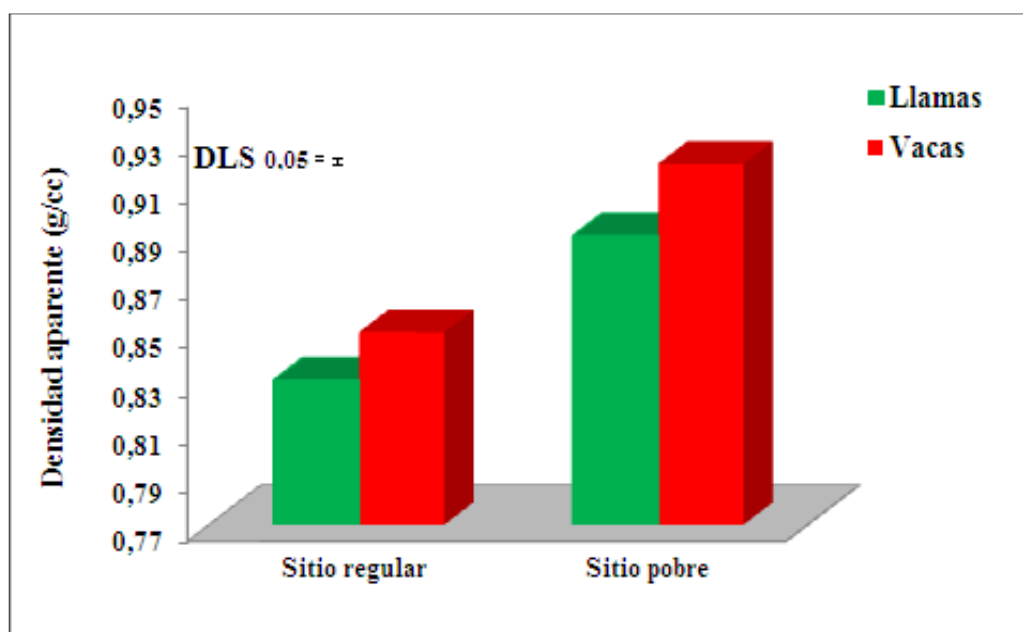


Figura 18: Densidad del suelo; Sitio regular vs Sitio pobre

La menor densidad aparente hallada en el sitio del pastizal de condición regular se debió probablemente a que este sitio contenía mayor cantidad de biomasa y mantillo, por lo que podría haber recibido un menor impacto sobre las propiedades físicas del suelo, por efecto del pisoteo en los pastizales altamente productivos con una biomasa densa (Mares, 1984), incluso sus sistemas radiculares son abundantes, las cuales actúan como amortiguadores disminuyendo el efecto compactador del pisoteo de los animales. Por otro lado, Clary (1995) la reducción de la altura de la vegetación forrajera bajo un pastoreo continuo podría incrementar el grado de compactación del suelo (Koppi *et al.*, 1992; Cuesta *et al.*, 2005; Porta, 2003; Burgos, 1991) reduciendo su porosidad, capacidad de almacenamiento del agua (Warren *et al.*, 1986; Heuer *et al.*, 2006) y la tasa de infiltración afectando la productividad del pastizal (Taboada y Lavado, 1988; Taboada *et al.*, 1999). Lipiec y Hatano (2003) mencionaron que suelos

con poca cobertura vegetal disminuye los niveles de porosidad y de estabilidad de los agregados; además el efecto que ejerce el pisoteo del animal en el potrero reiterada veces afecta la capacidad del suelo para volver a su condición original, afectando el crecimiento de las raíces y por ende la producción de forraje.

Una de las estrategias de mejora usadas en el experimento fue el pastoreo diferido rotativo, la cual probablemente permitió la recuperación de la biomasa del pastizal en los sitios ecológicos. Sin embargo, después del pastoreo se observó que la densidad del suelo en el sitio regular fue menor que en las capas de suelo (Aksakal *et al.*, 2011; Azarnivand *et al.*, 2011). Los sitios del pastizal de condición pobre pastoreados con vacas y llamas utilizados con el mismo sistema de pastoreo muestran que hubo una tendencia mayor en la compactación del sitio pobre; afectando más el sitio pastoreado con vacunos, por lo que se atribuye que el efecto del impacto del pisoteo por los vacunos fue superior que las llamas en los sitios de pastizales de condición pobre con biomasa disminuida, incrementando los niveles de la densidad del suelo (Hiernaux *et al.*, 1999). Este parámetro está relacionado con la textura del suelo, estado fenológicos de la vegetación y humedad del suelo en el momento de pastoreo, además en las áreas de pastizales, la densidad del suelo presenta diferencias relacionadas con el sistema de manejo (Álvarez *et al.*, 2012).

Los valores de la densidad aparente encontrados en los sitios del pastizal de condición pobre y regular variaron entre 0.90 g/cc, y 0.84 g/cc respectivamente, estos valores se encuentran dentro de los rangos de baja densidad aparente que corresponden a valores < 1.2 g/ cc, expresando que tiene una porosidad alta; mientras en suelos con una densidad alta (> 1.3 g/cc) el espacio poroso es reducido. Para nuestro caso la densidad del suelo de los sitios del pastizal hallados tendría valores por debajo de los límites de la compactación (Houlbrooke *et al.*, 1997). De los resultados hallados se sugiere, que el sistema de pastoreo diferido rotativo con uso racional del pasto (Flores, 1993), podrían tener efectos positivos sobre la densidad aparente del suelo ya sea manteniendo estable y/o ligeros incrementos de la densidad del suelo, como se observaron en los sitios del pastizal cuando la condición del pastizal es regular y ligeros incrementos de la densidad del suelo cuando la condición del pastizal es pobre. La biomasa residual y los residuos de mantillo del pastizal juegan un rol importante; en el amortiguamiento del pisoteo y la compactación del suelo, evitando incrementos

de la densidad a mayores de 1.2g/cc (Houlbrooke *et al.*, 1997). Sin embargo, en sistemas de pastoreo continuo (Parente y Maia, 2011), el incremento de la compactación y la densidad del suelo podrían modificar notablemente la relación suelo-aire-agua; y la intensidad de tales efectos provocados por el pastoreo en los ecosistemas de pastizales están estrechamente relacionado a la carga animal y al tipo y estado de vegetación que cubren la superficie del suelo (Cabrera *et al.*, 2011).

Asimismo, la intensidad del pastoreo tiene un impacto mayor, que varían dependiendo del pisoteo reiterado por el animal en condiciones de elevada humedad edáfica del suelo por lo tanto el aumento de la densidad aparente del suelo, puede influir directamente en la disminución de la tasa de infiltración de agua y el incremento de la escorrentía superficial, donde hay mayor presión mecánica ejercida por el pisoteo animal sobre el suelo del pastizal con una disminuida cobertura vegetal (Mwendera y Saleem, 1997b; Cabrera *et al.*, 2011). No existen reportes de investigación del pisoteo sobre la superficie del suelo basados en densidad aparente con llamas. Sin embargo, Toledo y Morales (1978) reportaron, un rango de superficie de contacto de los caballos y vacunos (0.004 – 0.01 m²) comparado con tractores de oruga con diferentes potencias (2.750-5.090 hp), en donde indican; que los tractores de oruga ejercen menos presión al suelo (0.67- 0.95 kg/m²) que los vacunos y caballos (3.50-4.00 kg/m²).

Nuestros resultados hallados de la presión promedio, ejercida por las pezuñas de las llamas fueron de 0.54 kg/cm² y de las vacas 1.43 kg/cm², datos que fueron estimados a partir del peso vivo del animal y las mediciones realizadas del área del plantar de la pezuña de las vacas y llamas por la metodología de Lull (1959, citado por Heady y Child, 1994). Heady y Child (1994) reportaron que la presión ejercida por las pezuñas de los animales es comparable a la de algunas maquinarias (p.e un tractor de oruga ejerce una presión de 0.32 a 0.64 kg/cm², un ovino 0.65 kg/cm², un tractor de ruedas 1.4 a 2.1 kg/cm² y un vacuno o un caballo 1.7 kg/cm²). La presión transmitida en el perfil del suelo por el animal está relacionada con su peso y el área de pezuña que contacta el suelo considerando que a mayores pesos vivos, mayores serán las áreas de las pezuñas y la presión ejercida sobre el suelo cuando los animales se encuentran de pie es similar debido a que su peso se distribuye en sus cuatro extremidades (Greenwood y McKenzie, 2001; Cumming y Cumming, 2003). Cuando el animal se

desplaza en la pradera las presiones ejercidas sobre el suelo se pueden duplicar (Climo y Richardson, 1984). El animal distribuye su peso en 2 o 3 extremidades que contactan a la misma vez al suelo (Trimble y Mendel, 1995; Di *et al.*, 2001).

Al respecto, Cole y Spildie (1998) observaron en un experimento los efectos del pisoteo de llamas comparado con el hombre y caballos en dos tipos de vegetación nativa de EE.UU; en bosques no perturbados, uno con un sotobosque dominado por las herbáceas erectas, el otro dominado por arbustos bajos. Los tratamientos fueron aplicados en dos intensidades de pisoteo uno de 25 pasos y dos 150 pasos y los efectos de las pisadas fueron evaluados inmediatamente después de la aplicación del tráfico y de 1 año después. Reportaron que el impacto del tráfico con caballo causó más perturbación con respecto y los impactos del excursionista (turistas) y de las llamas, las cuales no podían ser diferenciadas estadísticamente y el tipo de vegetación herbáceas era muy vulnerable al impacto, pero se recuperó rápidamente, y el de tipo de arbustiva dominada era más resistente, pero carecía de la capacidad de recuperación.

Mares (1984) señala que la resistencia del daño mecánico en el suelo producido por las pezuñas de los animales está relacionado con la morfología, estructura y hábito de crecimiento de las gramíneas, mientras la estructura física del suelo es dañado por el pisoteo del ganado provocando su compactación, la cual afecta a largo plazo de manera indirecta a la pastura (Mwendera y Saleem, 1997b), incrementando la densidad aparente y reduciendo la porosidad, la permeabilidad, la aireación y la actividad de los microorganismos del suelo, aspecto que pueden estar influenciada por la cobertura vegetal y afectar la hidrología de pastizales, así mismo (Koppi *et al.*, 1992; Profitt *et al.*, 1993), indicaron que el pisoteo del animal es uno de los procesos principales generadores de compactación superficial de los suelos, incluso en suelos con humedad edáficas elevadas, el impacto de la pezuña puede incrementar la densidad deformando la superficie del suelo (Sosa *et al.*, 1995). Tales alteraciones suelen derivar en una disminución de los niveles de ingreso de agua al perfil del suelo (Nguyen *et al.*, 1998).

La densidad del suelo obtenida en los sitios de pastizales fueron a una profundidad efectiva de 10cm medidos en los potreros pastoreados con las llamas y vacunos, las cuales coinciden al perfil de la densificación propuesta por Denoia *et al.* (2000), quienes demostraron que los 10 centímetros superficiales son los más afectados por la

compactación por pisoteo de animales, así mismo es coincidente con lo hallado por otros autores; así mismo Mulholland y Fullen (1991) mencionan que la zona del perfil de mayor densificación resultante por el pisoteo de la pradera varía entre 0-7 y 0-10,5 cm de profundidad de suelos superficiales. Así por ejemplo Martínez y Zinck (2004) señalaron que el impacto del pisoteo con vacunos fue más fuerte en la segunda capa, mientras que la capa superficial se vio menos afectada por la mayor actividad de raíces y contenido de materia orgánica del suelo.

Finalmente los resultados obtenidos indican que la densidad aparente está fuertemente relacionada con la biomasa, mantillo, textura del suelo, contenidos de humedad y con el contenido de materia orgánica de los suelos. En relación a la humedad Howard *et al.* (1981) indicaron que aquellos suelos que tienen un contenido de agua a capacidad de campo cercano o por encima del contenido de humedad crítico tienen mayor probabilidad de compactarse que aquellos donde el contenido de agua a capacidad de campo está por debajo de humedad crítico.

Cuando analizamos los resultados de textura de suelos del estudio de línea de base para los sitios de evaluación las texturas del suelo en sitios del pastizal pobre resultaron Franco arenoso y para los sitios regular una textura Franco, estos resultados encontrados en el sitio pobre no ayudarían a retener agua infiltrada debido a su textura gruesa (Thurrow *et al.*, 1986). La estructura del suelo en condiciones húmedas y secas están exentos a sufrir cambios por el pisoteo, es decir en los suelos no disturbados la porosidad es alta, no siendo así comparado en suelos secos pisoteados, lo que indicaría que existe una alta reducción de la porosidad, mientras en suelos húmedos pisoteados se incrementan aún más la reducción de la porosidad y los valores máximos de compactación alcanzan en suelos orgánicos, cuando están húmedos (suelos de bofedales) por ejemplo, los suelos arenosos, por el contrario ofrecen resistencia a ser compactados (Sadeghian *et al.* 2000).

Asimismo Pinzón y Amézquita (1991), indicaron que el pisoteo de los animales en los sistemas ganaderos provoca la compactación del suelo modificando notablemente la relación suelo-aire-agua; la intensidad de tales efectos provocados por el pastoreo en los ecosistemas de pastizales, está estrechamente relacionado a la carga animal que el

suelo que soporta y al tipo y estado de vegetación o cultivos que cubren la superficie del suelo (Taboada, 2007).

4.4 Tasa de Infiltración

El sistema de pastoreo diferido con vacunos y llamas probablemente influyó positivamente con las tasas de infiltración, respuesta asociada con los niveles de compactación del suelo generado por los animales (Figura 14) revelando una menor compactación versus campos pastoreados con vacunos (Sharp *et al.*, 1964; Castellano y Valone, 2007). Si bien hubo tendencias superiores en la tasa de infiltración encontrados en los sitios pastoreados con llamas; esto podría atribuirse a que las propiedades asociadas al suelo con la función hidrológica fueron menos afectadas cuando se pastoreo con camélidos (Hallett *et al.*, 2001). Una de las características de los camélidos es la forma de sus pezuñas almohadillada diferente a otras especies; vacunos, ovinos, caprinos y equinos, en la forma del pisoteo durante el tránsito (Greenwood y McKenzie, 2001) mientras pastorea suelen tener un menor impacto sobre las propiedades físicas del suelo asociadas a la función hidrológica. En tal sentido Hiernaux *et al.* (1999) señalaron que existe relación entre la tasa de infiltración con el incremento de la densidad del suelo. Es decir, la tasa de infiltración disminuye cuando la densidad aumenta y que este proceso reduce la capacidad de retención de agua del suelo y el drenaje profundo disminuyendo sustancialmente la contribución de una mayor recarga de acuíferos.

En las áreas pastoreadas por vacunos y llamas se observó la tendencia de una mayor infiltración en las áreas pastoreadas por llamas expresando tasas promedio de 0.16 cm/min, comparados con aquellas pastoreadas por vacunos 0.12cm/min (Figura 19).

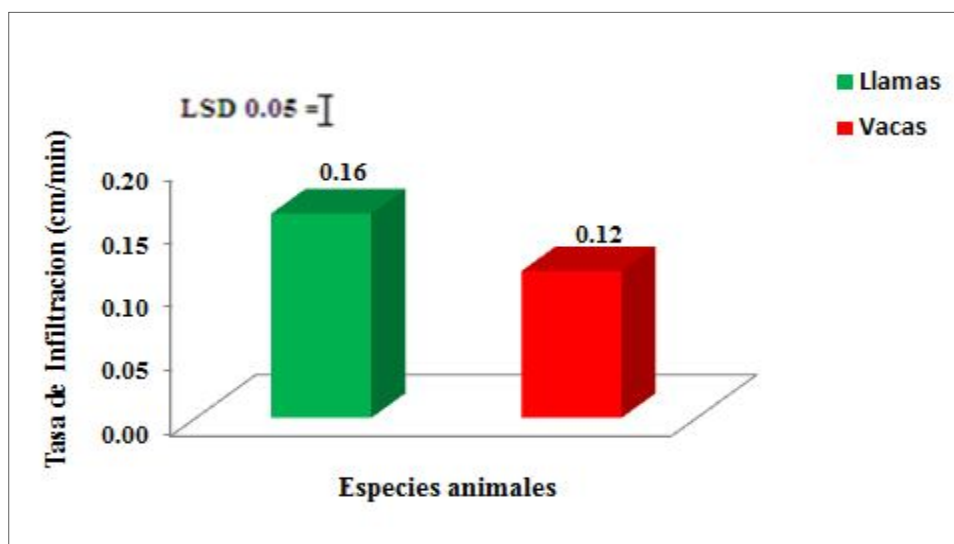


Figura 19: Tasa de Infiltración; vacunos y llamas

Los resultados demostraron que si bien no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las tasas de infiltración; los sitios de pastizales de condición pobre y regular, pastoreados por llamas. Los sitios de condición pobre pastoreados con llamas mostraron tasas mayores (0.14cm/min) y en los sitios regulares se mantiene la tendencia (0.18cm/min). Mientras que en los sitios pobres pastoreados con vacunos se obtienen tasas de infiltración de (0.06cm/min) y en el sitio regular de (0.17cm/min) figuras 20 y 21.

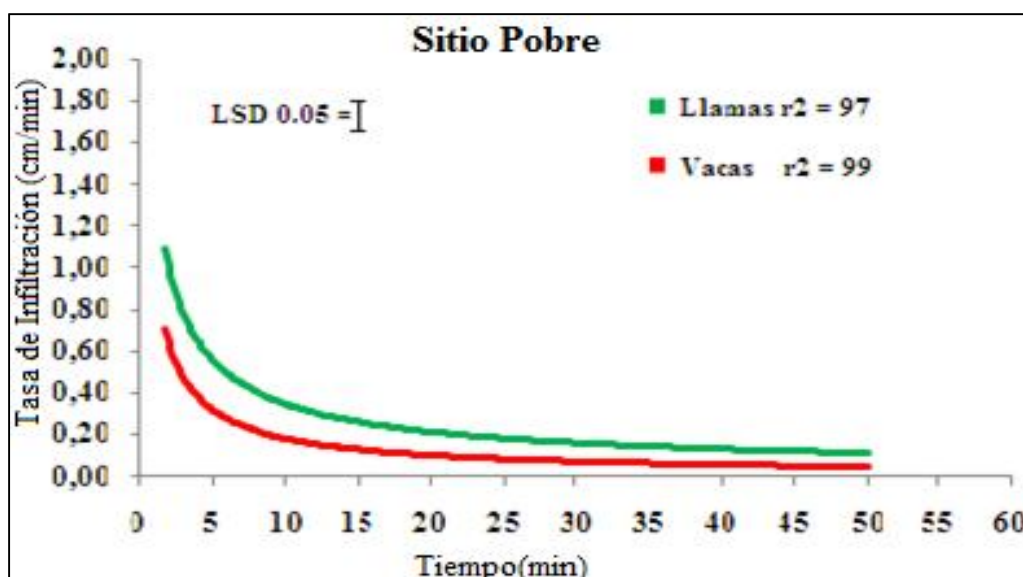


Figura 20: Tasa de Infiltración; Sitio pobre

En referencia a las tasas a las tendencias mayores de las tasas de infiltración en el sitio regular podría deberse a la mejor de los atributos del suelo y del pastizal como es la

diferencia en cobertura vegetal, biomasa y mantillo; también a los menores niveles de compactación sobre el suelo, aspectos que definitivamente habrían contribuido a mejorar la respuesta hidrológica del sitio ecológico. (Brown, 1968; Thurow *et al.*, 1986.; Pietola *et al.*, 2005; Mwendera y Saleem, 1997b; Savadogo *et al.*, 2007).

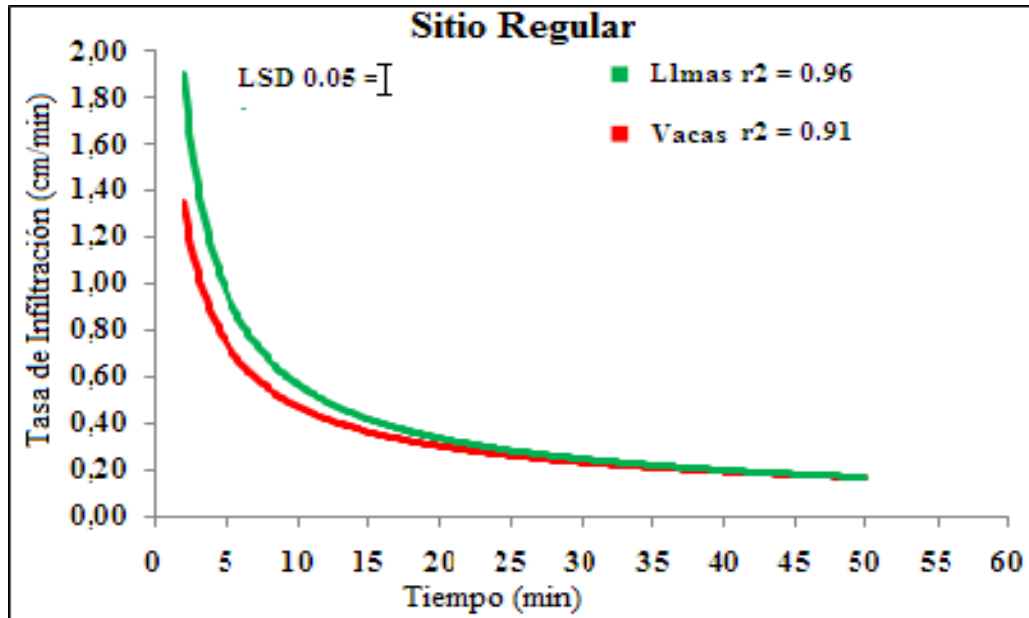


Figura 21: Tasa de Infiltración; Sitio regular

Un factor clave e importante por su efecto sobre la tasa de infiltración fue la cantidad de mantillo que fue superior en los sitios de pastizales pastoreados con llamas, el follaje caído acumula mantillo que a su vez conduce a un aumento de la materia orgánica del suelo, favoreciendo la actividad de los microorganismos, para mejorar la formación de los agregados de suelos estables que ayudan a infiltrar el agua (Wei *et al.*, 2006). Además, la descomposición del mantillo favorece el incremento de la materia orgánica y esto se une a las partículas del suelo en agregados que aumenta la porosidad del suelo haciéndolos más resistentes a la formación de costras promoviendo la tasa de infiltración y disminuyendo la pérdida de sedimentos en suelos con disminuida cobertura vegetal, la cual es particularmente vulnerable a los efectos negativos de la energía de gota de lluvia (Blackburn, 1975).

Contrastado estos resultados después del pastoreo diferido, revelaron bajas tasas de infiltración en sitios de los pastizales de condición pobre; siendo superiores en sitios de pastizales de condición regular, sugiriendo que las variaciones de estas tasas de infiltración están influenciadas por los niveles superiores de biomasa y mantillo

encontrados en los sitios de los pastizales estudiados. Asimismo en los sitios pastoreados con llamas probablemente pudo tener una influencia en la menor compactación del suelo favoreciendo el incremento de la tasa de infiltración en los sitios de los pastizales pastoreados con llamas, mientras en los sitios pastoreados con vacunos se observaron mayor impacto sobre la compactación del suelo a la que se le atribuye mayor impacto del pisoteo, conllevando a un aumento de la densidad del suelo y la pérdida de macroporos de la superficie del suelo con implicancia en la infiltración (Kiessling *et al.*, 2006).

La tasa de infiltración en praderas pastoreadas con cargas animales moderadas a bajas puede ser 25% menor a la de una pradera sin pastoreo, mientras que la tasa de infiltración en praderas pastoreadas con altas cargas animales disminuye a 50%. La disminución de la infiltración se asocia a aumentos en la escorrentía superficial, lo que genera erosión, la pérdida de nutrientes y disminución del agua disponible para las plantas (Gifford y Hawkins, 1978). La escorrentía superficial va en detrimento de la pradera, disminuye la cobertura vegetal y aumenta la proporción de suelo desnudo en la pradera (Greene *et al.*, 1994). En un suelo descubierto se produjo menor infiltración y mayor escurrimiento en comparación con el suelo que presentaba cobertura, debido a la degradación estructural y formación de sello en superficie. Esta desagregación de las partículas permitió su migración en sentido vertical junto con el agua percolada, ocasionando un taponamiento de poros que disminuyó la conductividad hidráulica saturada y la velocidad de infiltración final (Chagas *et al.*, 2004).

No se encontraron reportes similares de pastoreo con llamas y vacunos sobre la tasa de infiltración. Sin embargo, Cabrera *et al.* (2011) al comparar los efectos de diferentes cargas de animales en un suelo Hapludol típico franco arenoso húmedos y secos, encontraron resultados en la disminución de la tasa de infiltración cuando la carga animal fue elevada y en un suelo húmedo con respecto a la carga baja y en suelos secos la tasa de infiltración fue mayor. De estos resultados se deducen que en un pastoreo sin un control de carga pueden afectar significativamente la infiltración, tal como señalan Mwendera y Saleem (1997b) al comparar intensidades altas de pastoreo animal (UA/ha/mes), incrementaron significativamente la escorrentía y la pérdida de suelo superficial y se redujeron la tasa de infiltración, mientras que con intensidades bajas de pastoreo animal (UA/ha/mes), la pérdida de suelo superficial se redujeron y la

tasa de infiltración fueron afectadas. Blackburn (1984) señala que el pastoreo de ganado tiene mayor relevancia en gran parte en los estudios hidrológicos basados en manejo de pastizales revelando que el pastoreo con niveles de carga alta puede afectar todas estas variables que determinan la función hidrológica y el alcance de este impacto depende en gran medida de la presión de pastoreo (Blackburn *et al.*, 1986), a su vez existe una relación con la pérdida de sedimentos y la tasa de infiltración. Wilcox *et al.* (1988) indicaron que la infiltración está correlacionada positivamente con algunos atributos de la vegetación como la cobertura y la biomasa en terrenos con pendiente de modo que ambos son indicadores de la infiltrabilidad sobre un suelo de pastizal.

Los atributos que han contribuido en la función hidrológica específicamente en la tasa de infiltración; son la cobertura vegetal que incluye a la biomasa del pastizal y mantillo, de los resultados obtenidos sobre estas variables se contrastó con la respuesta inicial de línea de base, indicando que en el sitio del pastizal de condición regular se obtuvo el 90% de cobertura vegetal y 65 (KgMS/ha) de mantillo, las cuales hayan contribuido con la protección mecánica de la superficie del suelo impidiendo que las gotas de lluvia impacten directamente sobre el suelo, evitando que se formen sellos superficiales, característicos de suelos desnudos, de tal manera mejorando la función hidrológica y protegiendo los impactos de lluvia sobre la superficie del suelo durante el diferimiento de los sitios del pastizal y durante el pastoreo actuando como un efecto amortiguador de la presión ejercida en el área de contacto pisoteo-animal (Torbert y Reeves, 1995), mientras en los potreros del sitio del pastizal de condición pobre el porcentaje de cobertura vegetal solo fue del 75% y de 35 (KgMS/ha) de mantillo, significando menor protección del suelo, y en la resistencia a la compactación y de tal modo influyendo en la disminución de las tasas de infiltración (González-Cervantes *et al.*, 2006).

Mwendera y Saleem (1997b) encontraron que la tasa de infiltración está influenciado de otros factores, como es: cobertura área y basal, tipo de suelo, compactación y pedregosidad superficial del suelo, pendiente del terreno, tipo de vegetación, intensidad, frecuencia y magnitud de los eventos de precipitación y de las prácticas de manejo y la cantidad de los escurrimientos que van sobre la superficie están determinados directamente por las características de la vegetación.

Blackburn (1984), presentó ejemplos de efectos que influyen negativamente a la tasa de infiltración, en donde indica que el pastoreo intenso y continuo, redujo importantes aumentos en la densidad aparente de los suelos, promoviendo el escurrimiento superficial de agua y en la producción de sedimentos, la cual podría disminuir una importante tasa de infiltración. Asimismo otro factor que afecta al suelo son las formaciones de costras y sellos superficiales (Porta *et al.*, 2003) indicando que son otra principal causa de la baja tasa de infiltración y del alto riesgo de escurrimiento y erosión, Asimismo (Blanco-Canqui y Lal., 2008), mencionaron que el sobrepastoreo influye en el escurrimiento superficial y las pérdidas de suelo por erosión debido a la remoción de la biomasa, reducción de la cobertura vegetal y el mantillo, dejando al suelo descubierto, lo que incrementa el impacto directo de la gota de lluvia y la cual acentúa el desprendimiento y transporte de suelo por el agua de escorrentía y por lo tanto afectando significativamente la tasa de infiltración del agua.

Por otro lado, la acción ejercida por el pisoteo animal repetido (p.e. pastoreo continuo), con elevadas cargas, especialmente cuando el contenido de agua edáfica es elevado, genera compactación superficial como consecuencia del amasado y remoldeado (Taboada, 2010). Asimismo, Blanco-Canqui y Lal (2008), señalaron que el escurrimiento, erosión y riesgo de compactación están correlacionados negativamente con la cobertura superficial. La disminución de la superficie de la cobertura vegetal y el incremento en el pisoteo, modifican el patrón de flujo de agua en el suelo, de modo que elevados niveles de compactación restringen el movimiento de agua y aire, reduciendo la conductividad hidráulica a partir de la disminución de la macroporosidad superficial y la infiltración del agua al suelo. Según Denoia, *et al.* (2000) la mayor cobertura basal, una mejor estructura de la cubierta herbácea y un porcentaje más elevado de porosidad estructural favorecen la disipación de la energía cinética de las gotas de lluvia, la retención en la masa foliar de parte de la precipitación caída y la penetración de agua en el perfil. Tales explicaciones justifican que, en potreros pastoreados con vacunos la tasa de infiltración es menor y más notorio en sitios de condición pobre con menor biomasa y mantillo resultando con tendencias superior la tasa de infiltración en sitios regulares y pastoreados con llamas.

4.5 Humedad del Suelo

El incremento de los niveles de tasa de infiltración suelen tener resultados directos en la provisión de la humedad del suelo, por lo que se afirma que la cobertura de la superficie del suelo es clave, por el rol que cumple en la absorción de la energía de las gotas de agua de lluvia y de esta forma previniéndola pérdida de espacios de poros dentro de los cuales puede infiltrarse el agua al suelo; y a través del contacto de la cobertura con el suelo pudiendo reducir la escorrentía superficial, dando más tiempo al infiltrado del agua al suelo. En tal sentido podría mantener la porosidad del suelo gracias al aporte de la cobertura de residuos de mantillo y biomasa, permitiendo que la mayor parte del agua de lluvia quede disponible para los pastos y cultivos bajo forma de humedad del suelo y como agua subterránea para las corrientes de agua (Proffit *et al.*, 1993; Nguyen *et al.*, 1998).

Los resultados indican que el contenido de humedad del suelo hallado en el área pastoreada por llamas (29%) fue mayor comparada con aquellas pastoreadas por vacunos (26%) ($p < 0.01$) (Figura. 22). El contenido de humedad hallado en sitios del pastizal en condición regular (30%) fue mayor que en sitios de pastizal en condición pobre (25%) (Figura 23) ($p < 0,01$); valores que difieren probablemente por la pérdida de porosidad del suelo por efecto de la compactación encontrándose con la mayor densidad que se traduce en una menor capacidad de infiltración del agua.

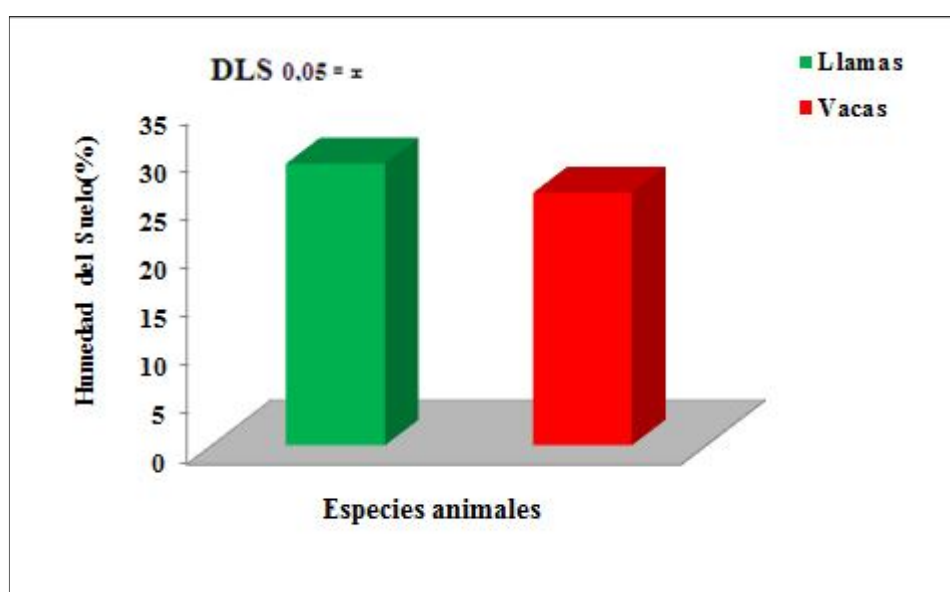


Figura 22: Humedad del suelo (%) entre Llamas y Vacas

El sistema de pastoreo diferido y el manejo de carga animal podrían mantener mayores niveles de cobertura vegetal del suelo (Taboada, 2007). En nuestro experimento se observó que las tasas de infiltración mostraron una tendencia superior en los potreros pastoreados con llamas, a pesar de que los pesos metabólicos y cargas fueron igualados con el vacuno. Los impactos de las llamas sobre la humedad del suelo fue probablemente por la forma de sus pezuñas almohadilladas lo cual generó un menor impacto con el suelo y el consumo menor de los pastos, lo cual se tradujo en mayores residuos de biomasa y mantillo influenciando el amortiguamiento de la compactación y favoreciendo en la infiltración del agua al suelo para la mejora de la función hidrológica del pastizal tanto en el sitio del pastizal regular y pobre, al infiltrar mayores tasas de infiltración, se traduce en mayor porcentaje de la humedad en el suelo como se observó en sitios pastoreados con llamas, la cual se explica, la mayor humedad del suelo del pastizal está relacionada con la condición del pastizal, cobertura vegetal, residuos de biomasa y acumulación de mantillo (Nguyen *et al.*, 1998).

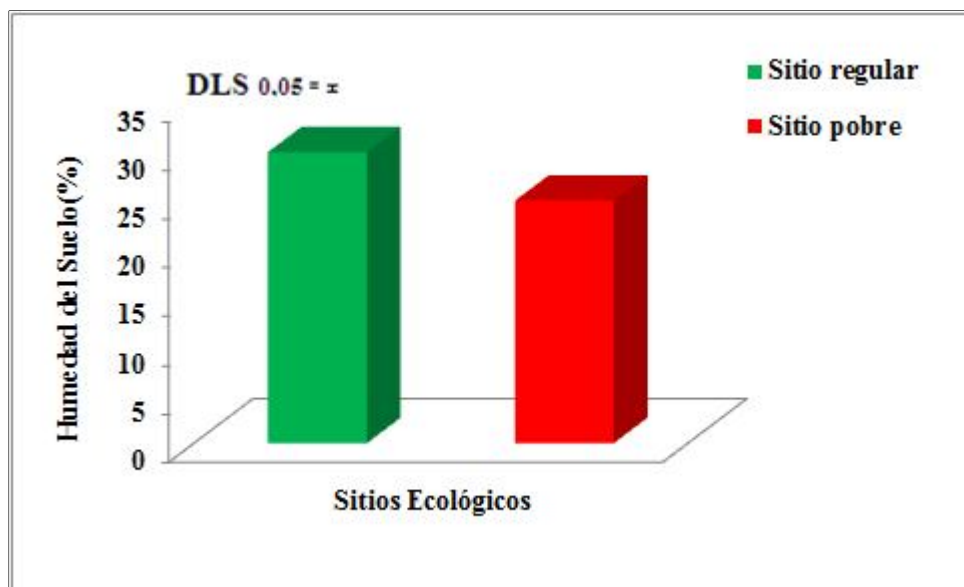


Figura 23: Humedad del suelo; Sitio regular y pobre

El contenido de biomasa residual y la presencia de mantillo tienen un efecto positivo en la humedad del suelo como resultado de una menor evapotranspiración. Al encontrarse que los sitios de condición regular tienen mejor función hidrológica que sitios de condición pobre podemos indicar que los sitios de pastizal en condición regular responden mejor a los procesos de compactación por la presencia de biomasa

residual y mantillo que tienen efecto de amortiguación, interceptando el agua de lluvia y agregando materia orgánica (Thurow, 1991), no sucediendo lo mismo en sitios de pastizal de condición pobre que tienen mayor susceptibilidad al pisoteo y compactación (Koppi *et al.*, 1992; Taddese *et al.*, 2002; Wood y Blackburn, 1984).

Por otro lado, los resultados obtenidos con menor porcentaje de humedad en los sitios del pastizal pobre pastoreados con vacunos, responden a las propiedades físicas del suelo cuando son afectadas por el impacto de la compactación debido a una menor tasa de biomasa y mantillo encontrado en el sitio del pastizal (FAO, 1996). Los niveles de porcentajes de humedad del suelo están asociados estrechamente con los variables de vegetación, sistema de pastoreo, densidad del suelo y la tasa de infiltración del agua; por lo que sus niveles de desequilibrio pueden repercutir enormemente en la retención de la humedad del suelo afectando la productividad del pastizal negativamente y repercutiendo las bajas tasas de mantillo del pastizal que poseen menor resistencia al pisoteo (Blanco-Canqui y Lal, 2008), la disminución de la superficie de la cobertura vegetal y el incremento en el pisoteo, modifican el patrón de flujo del agua en el suelo, de modo que elevados niveles de compactación restringen el movimiento de agua y aire, reduciendo la conductividad hidráulica a partir de la disminución de la macroporosidad superficial y la infiltración del agua al suelo (FAO, 1996).

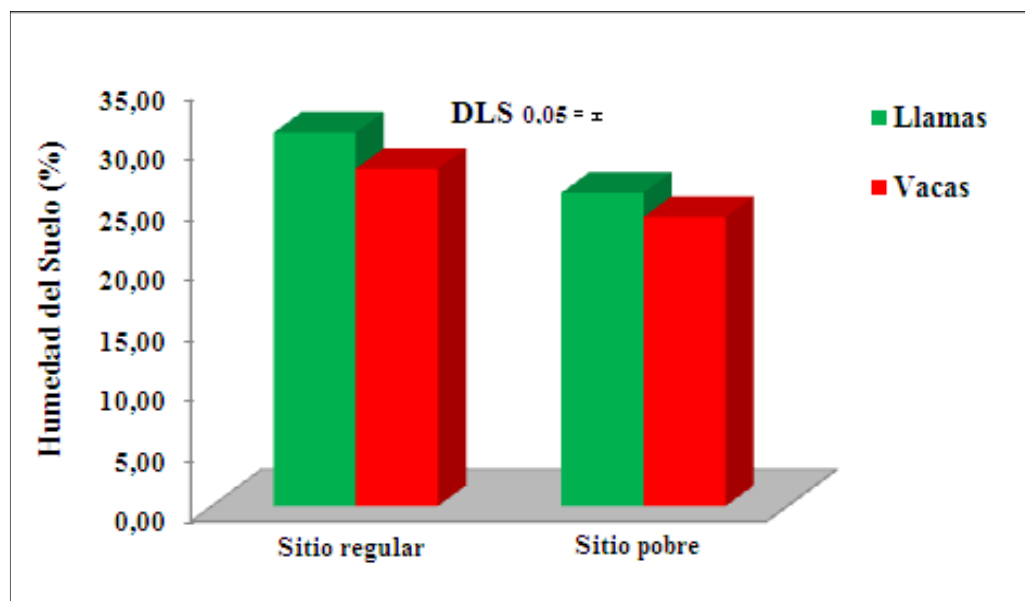


Figura 24: Humedad del suelo (%) al final del pastoreo Sitio regular vs sitio pobre

Taboada (2007) indicó que la influencia del pisoteo es principalmente de tipo físico-mecánico, siendo más vulnerable cuando el contenido hídrico del suelo es mayor lo cual afectan los primeros centímetros del suelo. Los suelos con humedad elevada el impacto de la pezuña puede provocar un incremento de la densidad y la deformación de la superficie del suelo (Scholefield y Hall, 1986; Sosa *et al.*, 1995), además mencionaron que estas alteraciones disminuyen los niveles de ingreso de agua al perfil del suelo (Warren *et al.*, 1986).

El incremento de los niveles de tasa de infiltración suelen tener resultados directos en la provisión de la humedad del suelo, por lo que se afirma que la cobertura de la superficie del suelo es clave, por el rol que cumple en la absorción de la energía de las gotas de agua de lluvia y de esta forma previniéndola pérdida de espacios de poros dentro de los cuales puede infiltrarse el agua al suelo; y a través del contacto de la cobertura con el suelo pudiendo reducir la escorrentía superficial, dando más tiempo al infiltrado del agua al suelo. En tal sentido podría mantener la porosidad del suelo gracias al aporte de la cobertura de residuos de mantillo y biomasa, permitiendo que la mayor parte del agua de lluvia quede disponible para los pastos y cultivos bajo forma de humedad del suelo y como agua subterránea para las corrientes de agua (Proffit *et al.*, 1993; Nguyen *et al.*, 1998).

Los niveles de humedad con valores superiores encontrados en los sitios de los pastizales de condición regular y versus sitios pobres pastoreados con llamas se asocian también con la textura del suelo y con los atributos relacionados a la función hidrológica del pastizal, encontrándose que la textura de suelo en los sitios de pastizales de condición regular es franco, por lo que se atribuye que al infiltrar más agua también pueden retener y mantener la humedad del suelo, mientras en los sitios del pastizal de condición pobre los resultados revelaron un suelo franco arenoso, la cual pueden infiltrar rápido y sus capacidad de retención es menor con respecto a suelos francos. Además, la humedad del suelo puede perderse a través de los procesos de evaporación y de transpiración; el primero tiene lugar desde superficies de suelos desnudos, y siguiendo gradientes hidráulicos negativos desde un subsuelo más húmedo a una superficie más seca (Warren *et al.*, 1986).

Al reducir la cobertura superficial del suelo por el pastoreo continuo favorece temperaturas más elevadas y mayores pérdidas de agua por evaporación desde superficies de suelo desnudo. Además, los porcentajes altos de cobertura del suelo reducen la pérdida del volumen de agua: evaporación directa, evapotranspiración y el drenaje profundo, y la pérdida de materia orgánica favoreciendo la profundidad de enraizamiento y la mejora estructura del suelo. Por lo tanto, el agua retenida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez puede ser usada por los cultivos para la transpiración y es conocida como capacidad disponible de agua. Por lo tanto, los niveles mantillo encontrados en los sitios favorecerían al suelo proporcionar un mayor sustrato para los organismos del suelo, de tal modo mejorando su estructura, textura, y la porosidad del suelo, y proporcionar mayor captura de agua y la humedad del suelo que permanece disponible en un cierto tiempo para las plantas (Taboada, 2007).

La cantidad máxima de agua disponible que puede retener un suelo (la capacidad de agua disponible) varía con la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la profundidad de enraizamiento y la estructura. Los suelos orgánicos y los suelos francos de textura media con altos contenidos de arena muy fina y sedimentos tienen la capacidad disponible de agua más alta, los suelos arcillosos tienen valores intermedios y los suelos con contenido de arena gruesa tienen la capacidad disponible de agua más baja. Lavado y Taboada (1987) demostraron que el pastoreo influye indirectamente la pérdida de humedad de los suelos incrementando la temperatura de los suelos con una variación de rangos de temperaturas (°C) del suelo y tasa de evaporación (mm/día-1), efectuado en el pastoreo versus no pastoreo; realizando las mediciones en los meses de enero y febrero, indicando que en épocas de lluvia las mediciones realizadas en situaciones no pastoreadas y pastoreadas en un pastizal, indicaron que el pastoreo influye el incremento de la temperatura y en la tasa de evaporación, mientras en las áreas no pastoreadas es menor esta variación. El pastoreo diferido favorece la acumulación de la biomasa y mantillo por lo forma que cubre el suelo, puede controlar casi totalmente las pérdidas de agua por evaporación. Cuando se evita el sobrepastoreo existe mayor cobertura del suelo por las plantas, la cual ejerce una mayor protección a la superficie del suelo, evitando la evaporación directa de la humedad del suelo a través de su superficie. Al no evaporarse, los pastizales pueden disponer de esta humedad para su crecimiento (Wilcox *et al.*, 1988).

Los resultados también sugieren que el pastoreo diferido puede mejorar la función hidrológica del pastizal influyendo en la acumulación de biomasa y mantillo (Society for Range Management, 2004) mejorando las propiedades físicas del suelo, la cual garantiza que el suelo tenga la función y que actúe como una “esponja” al absorber, retener y almacenar el agua de lluvia que logra infiltrarse. La cobertura aérea resultó un mejor indicador de la infiltrabilidad que la cobertura basal del suelo y por ende la humedad del suelo (Branson *et al.*, 1981). Por otro lado, debido a la falta de la cubierta protectora por vegetación ocurre una mayor evaporación del agua que logra penetrar en el suelo, disminuyendo la disponibilidad de humedad para el crecimiento de las plantas del pastizal (Wei *et al.*, 2006).

V. CONCLUSIONES

- El pastoreo diferido con vacunos y llamas mejoró la respuesta de la función hídrica del pastizal, tanto en sitios del pastizal de condición regular y pobre. Si bien no hubo diferencias significativas entre las tasas de infiltración, los sitios pastoreados con llamas mostraron mayores tasas de infiltración y menor compactación de suelo que aquellos pastoreados con vacunos.
- El contenido de humedad del suelo para el tratamiento pastoreo diferido con llamas fue significativamente superior al de vacunos en ambos sitios ecológicos, debido a la alteración en la porosidad y densidad del suelo que habrían experimentado los campos pastoreados con vacunos.
- En los sitios evaluados con llamas hubo una mayor acumulación de biomasa y mantillo en la superficie del suelo debido a que los camélidos ejercen una menor presión de pastoreo que los vacunos.

VI. RECOMENDACIONES

- Comparar el efecto del descanso rotativo versus el diferido rotativo sobre la función hidrológica del pastizal de condiciones diferente.
- Evaluar la respuesta de las tasas de infiltración y patrones de humedad en el suelo en respuesta a variaciones en la carga, presión y densidad del pastoreo.
- Establecer el rol del mantillo sobre el balance hidrológico y su interacción con la disponibilidad de la biomasa vegetal en diferentes tipos de vegetación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C.1980. Official Methods of Analysis (13th ed). Association of official Analytical Chemist. Washington D.C. 125p.
- AKSAKAL, E. L.; TAKINAND O. y MUDAHIR, O. 2011. Time dependent changes in distribution patterns of soil bulk density and penetration resistance in a rangeland under overgrazing. Turk. J. Agric. For. 35: 195-204.
- ALDEZÁBAL, A. 2001. El sistema de pastoreo del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Pirineo Central, Aragón). Interacción entre la vegetación supraforestal y los grandes herbívoros. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, 28: 317 pp., Zaragoza.
- ALLISON, F. E. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier, Cience Publishing Co., New York.
- ÁLVAREZ, C. R.; FERNÁNDEZ, P.L. y TABOADA, M. A. 2012. Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos en la región pampeana. Ciencia del Suelo. 30 (2):173-178
- AZARNIVAND, H.; FARAJOLLAHI, A.; BANDAKAND, E. y POUZESH, H. 2011. Assessment of the Effects of overgrazing on the soil physical characteristic and vegetation cover changes in rangelands of Hussain Abad in Kurdistan Province, Iran. Journal of Rangeland Science.1: 95 – 102.
- AZEVEDO, J. y MORGAN, D. L. 1974. Fog precipitation in coastal California forests. J. Ecol. 55:1135--1141.
- BARTLEY, R.; CORFIELD, J.P.; ABBOTT, B.N; HAWDON, A.A.; WILKINSON, S.N. & NELSON, B. 2010. Impacts of improved grazing land management on sediment yields, Part 1: Hill slope processes. Received in revised form 1 March 2010. Accepted 1 May 2010.
- BEATTIE, C.; BORRELLI, P. y COLLANTES, M. 1993. Sitios glaciares y fluvio-glaciares del N de Tierra del Fuego. En: Secuencias de deterioro en distintos ambientes patagónicos. Su caracterización mediante el modelo de Estados y Transiciones. Paruelo T., Bertiller M., Schlicher T. & Coronato F. Eds. Ludepa SME. Bariloche: 103-109.

- BLACKBURN, W. H. 1975. Factors influencing infiltration and sediment production of semiarid rangelands in Nevada. *Water Resour. Res.* 11:929-937.
- BLACKBURN, W.H.; THUROW, T.L. y TAYLOR, C.A. Jr. 1986. Use of cover, soil and weather data in rangeland monitoring; symposium proceeding/ISSN; Journal. Volume: Issue, pages 31-39
- BLACKBURN, W.H 1984. Impacts of grazing intensity and specialized grazing system on watershed characteristics and responses. Pp 927-984.En: NAS-NRS Committee on Developing Strategies for Rangeland Management. West view Press. Boulder. Colorado
- BLAKE, G.R. 1965. Bulk Density. In: C. A. Black (ed.). *Methods of soil analysis. Part Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling.* p. 374-390.
- BLANCO-CANQUI, H. y LAL, R. 2008. *Principles of Soil Conservation and Management.* Springer Verlag. Germany. 620 p.
- BLUM, W.E.H. 1998. Basic concepts: degradation, resilience, and rehabilitation. Pp.1-16In: R.
- BONHAM, C. D. 1989. *Measurements for Terrestrial Vegetation.* Wiley-Inter Science, New York, NY.
- BOUWER, H. 1986. Intake Rate: Cylinder Infiltrometer. En: Page, A.L. R.H. Miller, & KEENEY, D.R. *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods.* Second Edition. Agronomy 9.Madison. Wisconsin, USA, 825-844.
- BRACK, E. A. 2003. *Los camélidos sudamericanos.* Perú. 26 pág.
- BRADY, N.C. 1974. *The Nature and Property of Soils.* 8th Ed. Macmillan Publishing Company, Inc., New York, N.Y.
- BRANSON, F. A.; GIFFORD, G. F.; RENARD, K. G. y HADLEY R. F. 1981. Rangeland hydrology. Society for Range Management. Second Ed. KENDALL / HUNT PUB. CO.USA. 339 p.
- BRAUNACK, M. V. y WALKER, J. 1985. Recovery of some soil surface properties of ecological interest after sheep grazing in a semi-arid woodland. *Aust. J. Ecol* 10:451-460.
- BRISKE, D. D.; DERNER, J. D.; BROWN, J. R.; FAHRENDORF, S. D.; TEAGUE W. R.; HAVSTAD, K. M.; GILLEN, R. L.; ASH A. J. y WILLMS, W. D. 2008. Rotational Grazing on Rangelands: Reconciliation of Perception and Experimental Evidence. *Rangeland Ecology & Management* 61:3-17.

- BROWN, K. R. 1968. The influence of herbage height at treading and treading intensity on the yields on the yields and botanical composition of a perennial ryegrass-hite clover pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 11, 131-137.
- BURGOS, A. 1991. Efectos del pastoreo de bovinos en las propiedades fisicoquímicas de suelos de ladera en un sistema Silvo pastoril del Valle del Cauca. Universidad Nacional de Colombia Palmira. 80 p
- BUTTOLPH, L. y COPPOCK, D.L. 2004. Influence of deferred grazing on vegetation dynamics and livestock productivity in an Andean pastoral system. *Journal of Applied Ecology*. 41: 664-674.
- BUSTINZA, V. 1986. Los camélidos sudamericanos domésticos y el desarrollo andino. *Rev. Camélidos Sudamericanos CICCIS-IVITA* N° 1: 9-23.
- CABRERA, F.S.; CHOLAKY, C. y BECKER, A. 2011. Propiedades hidrofísicas de un Hapludol típico de Córdoba en relación al pisoteo animal. *Ciencia del Suelo*. 29 (2):141-150, 2011.
- CARLSON, D. H.; THUROW, T. L.; KNIGHT, P. W.; y HEITSCHMIDT, R. K. 1990. Effect of honey mesquite on the water balance of Texas Rolling Plains rangeland. *J. Range Manage.* 43:491- 496.
- CASTELLANO, M. J. y VALONE, T. J. 2007. Livestock, Soil Compaction and Water Infiltration Rate: Evaluating a Potential Desertification Recovery Mechanism. *Journal of Arid Environments* 71: 97–108.
- CHAGAS, C.; IRURTIA, C.; THISTED, J.; SANTANATOGLIA, O.J.; MASSOBRIO, M.J.; CASTIGLIONI, M.G. y BUJÁN, A. 2004. Movimiento horizontal y vertical de agua y partículas en un Argiudol bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 22 (2): 114-119.
- CINGOLANI, A.M.; NOY-MEIR, I.; DIAZ, S. 2005. Grazing effects on rangeland diversity: a synthesis of contemporary models. *Ecol. Appl.* 15, 757-773.
- CINGOLANI, A.M.; NOY-MEIR, I.; RENISON, D. y CABIDO, M. 2008. La ganadería extensiva, es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos *Ecología Austral* 18,253-271.
- CLARY, W.P. 1995. Vegetation and soil responses to grazing simulation on riparian meadows. *Journal of Range Management* 48:18-25.
- CLIMO, W.J. y RICHARDSON, M.A. 1984. Factors affecting the susceptibility of three Soils in the Manawatu to stock treading. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 27:247-253.

- COLE, D.N. y SPILDIE, D.R. 1998. Hiker horse and llama trampling effects on native vegetation in Montana, USA. *Journal of Environmental Management* 53, 61–71.
- CRESPO, G. 2011. Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 45:343 – 347.
- CUESTA, P.; MATEUS, H.; BARROS, J.; CAJAS, S.; MARTÍNEZ, J. y SÁNCHEZ, C. 2005. Procesos tecnológicos para la renovación de praderas degradadas en las regiones Caribe y valles interandinos. *Corpoica*. En: www.corpoica.org.com
- CUMMING, D. y CUMMING, G. 2003. Ungulate community structure and ecological processes: body size, of area and trampling in African savannas. *Oecología* 134:560-568.
- DENOIA, J.; SOSA, O.; ZERPA, G. y MARTIN, B. 2000. Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. *Revistas Pastos XXX* (1) 129-141. Zavalla Argentina.
- DI, H.J.; CAMERON, K.C.; MILNE, J.; DREWRY, J.J.; SMITH, N.P.; HENDRY, T.; MOORE, S. y REIJNEN, B. 2001. A mechanical hoof for simulating animal treading under controlled conditions. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 44:111116.
- ECHEVARRÍA, F.G.; PÉREZ, A.S.; VALENZUELA, R.B. 2007. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: II Cambios en el suelo. *Tec. Pecu Mex*; 45(2); 177-194 edición. Lima, Juan Mejía Baca editor, 1985; 1: 31-156.
- FAO. 1996. Principios de Manejo de Praderas Naturales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA Argentina – y Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 2da Ed. Santiago, Chile.273 p.
- FERNÁNDEZ, O.A.; GIL, M.E. y DISTEL, R.A., 2009. The challenge of rangeland degradation in a temperate semiarid region of Argentina: the Caldenal. *Land Degradation y Development* 20, 431–440.
- FLORES, E. R. 1991. Utilización de pastizales. En: *Avances y perspectivas del conocimiento de los camélidos sudamericanos*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 192-211.
- FLORES, E. 1993. “Naturaleza y usos de los pastos Naturales”. En: *manual de Producción de Alpacas y Tecnología de sus Productos TTA*. Perú. 23-37 p.
- FLORES, E. 1997. Tambos alpaqueros y pastizales I: Manejo y conservación de praderas naturales. Proyecto Especial Tambos Alpaqueros, *Boletín LUP N°11* Lima. Perú. 11 p.

- FLORES, E.; CRUZ J. y Ñaupari J. 2005. Utilización de praderas cultivadas en secano y praderas naturales para la producción lechera. Proyecto UNA La Molina – INCAGRO. Lima, Perú.
- FLORES, E. 2008. Plan de rotación de canchas. Lima: Laboratorio de Utilización de pastizales UNALM, pp. 1-12.
- FLORES, E. R. y ÑAUPARI, J.A. 2011. Identificación y evaluación de ecosistemas de la cuenca del Río Santa con el uso de Sistemas de Información Espacial. Convenio UICN-UNALM. Informe publicado por el Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales UNALM.
- FLÓREZ, A. y MALPARTIDA, E. 1987. Manejo de Praderas Nativas y Pasturas en la Región Altoandina del Perú. Tomo I y II. Fondo del Libro del Banco Agrario. Lima-Perú
- FOREST SCIENCE JOURNAL of TROPICAL. 2008.20 (4): 147–155
- FRASER, M. D.; DAVIES, D. A.; VALE, J. E. y HIRST, W. M. 2007. Wright Effects on animal performance and sward composition of mixed and sequential grazing of permanent pasture by cattle and sheep. *Livestock Science* 110:251–266.
- GIFFORD, G.F. y HAWKINS, R.H. 1978. Hydrologic impact of grazing on infiltration: a critical review. *Water Resources Research* 14 (2), 305–313.
- GIORDANENGO, J. H.; FRASIER, G. W. y TRLICA, M. J. 2003. Hydrology and sediment responses to vegetation and soil disturbances. *J. Range Manage* 56:152 – 158.
- GONZÁLEZ-CERVANTES, G.; ESTRADA, Á. J.; GONZÁLEZ B. J. L.; CUETO, W J. A.; SÁNCHEZ, C. I. y CASTILLO, S. G. 2006. Análisis de los factores que afectan la relación precipitación - escurrimiento en una zona semiárida del norte de México. *TERRA Latinoamericana*. 24: 337 -345.
- GREENE, R.S.; KINNELL, P. y WOOD, J.T. 1994. Role of plant cover and stock trampling on runoff and soil erosion from semi-arid wooded rangelands. *Australian Journal of soil Research*. 32: 953-973.
- GREENWOOD, K.L. y MCKENZIE, B.M. 2001. “Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review.” *Australian Journal Experimental Agriculture* 41:1231-1250.
- GREENWOOD, D. y LEVIN, M. 1998. *An Introduction to Action Research*. California: Sage Publications.
- HEADY, H. y CHILD, R.D. 1994. *Rangeland Ecology and Management*. Boulder, Colorado, USA: Westview Press.519 p.

- HALLETT, P.D.; BAUMGARTL, T. y YOUNG, I.M. 2001. Subcritical water repellency of aggregates from a range of soil management practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 184–190.
- HENRÍQUEZ, C. y CABALCETA, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, CR, UCR. 122 p
- HERBEL, H. 1983. Principles of intensive improvements. *Journal of Range Management*. 36:140- 144
- HERNÁNDEZ, G.A.; HODGSON, J. y MATTHEW, C. 1995. Effect of spring grazing management of perennial ryegrass and ryegrass white clover pastures. I Tissue Turnover and herbage accumulation. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Vol.40: 25-35
- HESTER, J.W.; THUROW, T.L. y TAYLOR, C.A. 1997. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by prescribed burning. *Journal of Range Management*, 50, 199-204.
- HESS, K. y HOLECHECK, J.L. 1995. Policy roots of land degradation in the arid region of the United States: an overview. *Environmental Monitoring and Assessment* 37, 123-141.
- HEUER, H.; TOMANOVA, O. y KOCH, H.J. 2006. Preventive soil protection at sugar beet harvest: influence of repeated wheeling and different soil tillage systems. *Zuckerindustrie* 131 (11), 777-784.
- HIBBERT, A. R. 1983. Water yield improvement potential by vegetation management on western rangelands. *Water Resour. Bull* 19:375-381
- HIERNAUX, P.; BIELDERS, C.L.; VALENTIN, C.; BATIONO, A. y FERNANDEZ-RIVERA, S., 1999. Effects of livestock grazing on physical and chemical properties of and y soils in Sahelian rangelands. *J. Arid Environ.* 41 (3), 231– 245.
- HOBBS, N.T.; SCHIMEL, D. S.; OWENSBY, C. E. y OJIMA, D.S. 1991. Fire and grazing in the tallgrass prairie: contingent effects on nitrogen budgets. *Ecology* 72, 1374-1382.
- HOLECHECK, J. 1989. "Range inventory and monitoring". *Range management principles*. University of New Mexico, USA. Pp. 1 – 22.
- HOULBROOKE, D.J.; THOM E.R.; CHAPMAN, R. y MCLAY, C.D.A. 1997. A study of the effects of soil bulk density on root and shoot growth of different ryegrass lines. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 40:429-435.

- HOWARD, R.F.; SINGER, M.J. y FRANTZ, G.A. 1981. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected California forest and range soils. *Soil Science Society of America Journal* 45:231-236.
- HULME, P.E. 1996: Herbivory, plant regeneration and species coexistence. *Journal of Ecology*, 84: 609-615.
- HURTADO, L. 2007. Fundamentos del riego. Publicación UNALM. Facultad de Agronomía. Artículo disponible en línea: www.pdf factor y.com
- KEMPER, W. D. y ROSENAU, R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution, p. 425-461. In: A. Klute (ed.), *Methods of soil analysis, Part 1*, 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9. Am. Soc. Agron. Madison, WI. USA.
- KIESSLING, R.J.; GALANTINI, J.A.; IGLESIAS, J.G.; KRÜGER, H. y VENANZI, S. 2006. Efecto del pastoreo sobre la distribución del espacio poroso bajo dos sistemas de labranza. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, Argentina.
- KNAPP, A. K. y SMITH, M. D. 2001. Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production. *Science* 291:481-484.
- KOPPI, A.J.; DOUGLAS, T. y MORAN, C.J. 1992. An image analysis evaluation of soil compaction in grassland. *Journal of Soil Science*, 43 (1) 15-25.
- LAL, R. 1998. Soil quality and sustainability pp.17-30. In: R.Lal et al. (eds). *Methods for Assessment of Soil Degradation*. Advances in Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- LAVADO, R.S. y TABOADA, M.A. 1987. Soil salinization as an effect of grazing in a native grassland soil in the Flooding Pampa of Argentina. *Soil Use and Management*. 3 (1): 143-148.
- LIPIEC, J. y HATANO, R. 2003. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma* 116:107-136.
- LUNT, I.D.; ELDRIDGE, D.J.; MORGAN, J.W. y WITT, G.B. 2007. A framework to predict the effects of livestock grazing and grazing exclusion on conservation values in natural ecosystems in Australia. *Australian Journal of Botany* 55, 401-415.
- MAGNER, J.A.; VONDRACEK, B. y BROOKS, K.N. 2008. Grazed riparian management and stream channel response in Southeastern Minnesota (USA) streams. *Environmental Management* 42, 377-390.
- MAMANI, M. G. 2002. Zonificación ecológica para la aplicación de estrategias de mejoramientos de praderas naturales de la microcuenca río negro, Ancash. Tesis Mg. Sci. Producción Animal, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.

- MARES, M.V.1984. Aspectos del manejo de praderas .En: Aspectos en la utilización y producción de forrajes en el trópico. Novoa, AR. (de.) Catie. Turrialba, Costa Rica.Pp.33-54
- MARTÍNEZ, L. J. y ZINCK, J. A. 2004. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. *Soil & Tillage Research* 75: 3–17.
- MICHALK, D.L.; DOWLING, P.M.; KEMP, D.R.; KING, W.M.; PACKER, I.J.; HOLST, P.J.; JONES, R.E.; PRIEST, S.M.; MILLAR, G.D.; BRISBANE, S. y STANLEY, D.F. 2003. Sustainable grazing systems for the Central Tablelands, New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43, 861–874.
- MUHAMMAD, S.H.; ANGUS, M.; AMJAD, A. CH.; MUHAMMAD, M. y SAMI, U. 2011. Efecto de los Sistemas de Pastoreo en Rango Condición de Pabbi Hills Forest Reserve, Chairan, Punjab, Pakistán. *Chile Journal of Agricultural Research* 71 (4) octubre - diciembre.
- MULHOLLAND, B. y FULLEN, M.A. 1991. Cattle trampling and soil compaction on loamy sands. *Soil Use and Management* 7, 189–193. doi: 10.1111/j.1475-2743.1991.tb00873.x
- MWENDERA, E.J. y SALEEM, M.A.M. 1997a. Hydrologic response to cattle grazing in the Ethiopian highlands. *Agric. Ecosyst. Environ.* 64 (1), 33- 41.
- MWENDERA, E.J. y SALEEM, M.A.M. 1997b. Infiltration rates, surface runoff, and soil loss as influenced by grazing pressure in the Ethiopian highlands. *Soil Use Manage.* 13 (1), 29-35.
- NGUYEN, M. L.; SHEATH, G. W.; SMITH, C. M. y COOPER, A. B. 1998. Impact of cattle trading on hill and. Soil physical properties and contaminant runoff. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 41, 279-290.
- NEWMAN, B. D.; WILCOX, B. P.; ARCHER, R. R.; BRESHEARS, D. D.; DAHM, C. N.; DUFFY, C. J.; MCDOWELL, N. G.; PHILLIPS, F. M.; SCANLON, B. R. y VIVONI, E .R . 2006. Ecohydrology of water-limited environments: A scientific vision. *Water Resources Research*.doi:10.1029/2005WR004141.
- PARENTE, H. N. y MAIA, M.O. 2011. Impacto do Pastejo sobre a Compactação dos solos com ênfase no Semiárido. *Revista Trópica, Ciências Agrárias e Biológicas, Brasil.* V. 5, N. 3, pág. 3, 2011
- PARKER, K. 1951. Method of measuring trend in range condition on national forest ranges. *USDA Forest Service*, 26pp, mixeo.

- PEARSON, C.J. y ISON, R.L. 1987. Agronomy of grassland system. Cambridge University Press. Cambridge, U.K. 169p
- PELLANT, M.D.; PYKE, A.; SHAVER, P. y HERRICK, J.E. 2005. Interpreting indicators of rangeland health. Bureau of Land Management. Technical Reference 1734-6. Denver. Colorado.
- PENG, X.H.; HORN, R.; ZHANG, B. y ZHAO, Q.G. 2004. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and Recompact Ultisols. *Soil & Tillage Research* 76: 125 – 137.
- PENMAN, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Roy. Soc., Proc. (London). Ser. A.* 193:120-145.
- PERÚ ECOLÓGICO. 2015. Problemas del Recurso Flora en el Perú. (en línea). Consultado 5 ene 2015. Disponible en: http://www.peruecologico.com.pe/lib_c19_t08.htm
- PETERSEN, S. y STRINGHAM, T. 2008. Infiltration, runoff, and sediment yield in response to western juniper encroachment in southeast Oregon. *Journal of Rangeland Ecology and Management* 61:74-81.
- PIERSON, F. B.; BLACKBURN, W. H. y Van VACTOR, S. S. 2007. Hydrologic impacts of mechanical seeding treatments on sagebrush rangelands. *Rangeland Ecol. Manage.* 60: 666 – 674.
- PIERSON, F.; SPAETH, K.; WELTZY, M.; CARLSON, D. 2002. Hydrologic response of diverse western rangelands. *J. Range Manage.* 55: 558-570
- PIETOLA, L.; HORN, R. y YLI-HALLA, M. 2005. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. *Soil & Tillage Research* 82 (2005) 99–108
- PINZON, A. y AMÉZQUITA, E. 1991. Compactación de suelos por pisoteo de animales en potreros en piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas tropicales, Colombia*, v.13, n. 2, p.21 - 26.
- PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. 2003. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 3a Edición. Mundi - Prensa. 929 pp.
- PROFFIT, A. P. B.; BENDOTT, S.; HOWELL, M.R. y ESTHAM, E. 1993. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a red-brown earth. *Australian Journal of Agriculture Research*, 44, 317-331.
- PYKE, D. A.; HERRICK, J. E.; SHAVER, P. y PELLANT, M. 2002. Rangeland Health Attributes and Indicators for Qualitative Assessment. *J. of Range Management* 55:584–297.

- RATLIFF, R. 1993. Viewpoint: Trend assessment by similarity - a demonstration. *J. Range Manage.* 46:139-141, March 1993.
- RIPPLE, C. D.; RUBIN, J. y VAN HYLCKAMA, T. E. A. 1972. Estimating steady-state evaporation rates from bare soils under conditions of high water table. *US Geol. Surv. Water-Supply Paper* 2019-A.
- RODRÍGUEZ, I. 2000. Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water resources Research*, 36(1):3-9.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I. y PORPONATO, A. 2004. Ecohydrology of water-controlled ecosystem. *Soil moisture and plan dynamics*. UK: Cambridge University Press
- SADEGHIAN, S.; RIVERA, J. M. y GOMEZ, M. E. 2000. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. [www.fao.org/FRG/AGROFORT/SIAVO SH 6. TXT](http://www.fao.org/FRG/AGROFORT/SIAVO%20SH%206.TXT) (2000).
- SAN MARTÍN, F. y BRYANT, F.C. 1987. Nutrición de los Camélidos Sudamericanos: estado de nuestro conocimiento. Artículo Técnico T-9-505, College of Agricultural Sciences, Texas Tech University, Texas, U.S.A.
- SAN MARTÍN, F. y BRYANT F.C. 1988. Comparación de las tasas de pasaje de la fase líquida y de la fase sólida en el tracto digestivo de llama y ovino. In: investigaciones sobre Pastos y Forrajes de Texas Tech. University en el Perú pp. 84Tm 93. F San Martín y FC. Bryant (eds.). Artículo Técnico T-9-550. College of Agricultural Sciences: Texas Tech University, Lubbock.
- SAN MARTÍN, F. 1987. Comparative forage selectivity and nutrition of South American camelids and sheep. Doctoral Thesis. Texas, USA: Texas Tech Univ. 146 p.
- SATTERLUND, D. R. 1972. *Wildland watershed management* Ronald Press, New York, NY.
- SAVADOGO, P.; SAWADOGO, L. y TIVEAU, D. 2007. Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 80-92.
- SCHLESINGER, W.H.; WARD, T.J.; y ANDERSON, J. 2000. "Nutrient losses in runoff from grassland and shrubland habitats in southern New Mexico: II. Field plots." *Biogeochemistry* 49:69-86.
- SCHOLEFIELD, D. y HALL, D. M. 1986. A recording penetrometer to measure the strength of soil relation to the stresses exerted by walking cow. *Journal of Soil Science*, 37, 165-172.

- SCHOLEFIELD, D.; PATTO, P.M. y HALL, D.M. 1986. Laboratory research on the compressibility of four top soils from grassland. *Soil and Tillage Research* 6, 1–16. doi: 10.1016/0167-1987(85)90002-9
- SEYFRIED, M. S.; SCHWINNING, S.; WALVOORD, M. A.; POCKMAN, W. T.; NEWMAN, B. D.; JACKSON, R. B. y PHILLIPS, F. M. 2005. Ecohydrological control of deep drainage in arid and semiarid regions. *Ecology* 86: 277-287 p
- SHARP, A. L.; BOND, J. J.; NEUBERGER, J.W.; KUHLMAN, A. R. y LEWIS, J. K. 1964. Runoff as affected by intensity of grazing on rangeland. *J. Soil and Water Conserv.* 19:103-106.
- SINGER, M.J. y EWING, S. 2000. Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- SNYMAN, H.A. 2005. Rangeland degradation in a semi-arid South Africa—I: influence on seasonal root distribution, root/shoot ratios and water-use efficiency. *Journal of Arid Environments*, doi: 10.1016/j.jaridenv.2004.06.006, in press.
- SOCIETY FOR RANGE MANAGEMENT. 2004. Glossary of terms used in range management, 4th Edition. 32 p.
- SOSA, O.; MARTIN, B.; ZERPA, G. y LAVADO, R. 1995. Acción del pisoteo de la hacienda sobre el suelo y la vegetación: influencia de la altura del tapiz. *Revista Argentina de Producción Animal. Memorias XIV Reunión Latinoamericana de Producción Animal. XIX Congreso Argentino de Producción Animal*, 252-255.
- SPARLING, G.P.; SCHIPPER, L.A.; BETTJEMAN, W. y Hill, R. 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: practical lessons from a 6-year trial. *Agriculture Ecosystems & Environment* 104, 523-534. doi: 10.1016/j.agee.2004.01.021
- SSDS (Soil Survey Division Staff). 2000. Soil survey manual. Soil Conservation Service. Department of Agriculture Handbook 18. E.U.
- STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M. y HAAN, C. 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options.' (FAO: Rome)
- STRUNK, H. 2003. Soil degradation and overland flow as causes of gully erosion on mountain pastures and in forests. *Catena* 50:185-198.
- TABOADA, M.A. 2007. Cambios en el Suelo Asociados al Tránsito y Pisoteo de la Hacienda. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía UBA. www.produccion-animal.com.ar

- TABOADA, M.A. 2010. Influencia de la textura y la estructura sobre la fertilidad física
En: Fertilidad de Suelos. Caracterización y Manejo en la región pampeana. Alvarez R.,
Rubio, G.; Álvarez, C. y Lavado, R. (Eds.) Editorial Facultad de Agronomía UBA,
Buenos Aires, Argentina. 423 pp.
- TABOADA, M.A.; LAVADO, R. S.; SVARTZ, H. y SEGAT, A.M.L.1999. Structural
stability changes in grazed grassland Natriquell of the Flooding Pampa of Argentina.
Wetland 19, 50-55.
- TABOADA, M.A. y LAVADO, R. S. 1988. Grazing effects of the bulk density in a
Natriquell of the Flooding Pampa of Argentina. Journal of Range Management 41, 502 -
505.
- TADDESE, G.; SALEEM, M.M. A. y AYALNEH, W. 2002. Effect of livestock grazing
on physical properties of a cracking and self-mulching Vertisol. Australian Journal of
Experimental Agriculture 42, 129–133.
- TATE, K.W.; DUDLEY, D.M.; MCDUGALD, N.K. y GEORGE, M.R. 2004. Effect of
canopy and grazing on soil bulk density. J Range Manage. 57(4): 411-417.
- THUROW, T. L. 1991. Hydrology and erosion. In grazing management. Heitschmidt R.K
y J.W. Stuth. Editors. pp. 141-159.
- THUROW, T.L.; BLACKBURN, W.H.; TAYLOR, C.A. Jr. 1986. Hydrologic
characteristics of vegetation Types as affected by livestock grazing systems. Journal of
Range Management 39, 505–509.
- THUROW, T.L.; BLACKBURD, W.H.; TAYLOR, C.A. Jr. 1988. Infiltration and interrill
erosion responses to selected livestock grazing strategies, Edwards Plateau, Texas. J.
Range Mange.41:296-302.
- TOLEDO, J. y MORALES, V. 1978. Establecimiento y manejo de praderas mejoradas en
la Amazonía Peruana. In: Tergas, L; Sánchez, P. eds. Producción de pastos en suelos
ácidos de los trópicos. Trabajos presentados durante un Seminario celebrado en el
CIAT, Cali, Colombia. 524 p.
- TORBERT, H y REEVES, D. 1995. Traffic and residue management systems: effects on
fate of fertilizer N in corn. Soil Till. Res. 33:197-213.
- TRIMBLE, S.W. y MENDEL, A.C. 1995. The cow as a geomorphic agent- A critical
review. Geomorphic 13:233–53.
- UNESCO. 2006. Evaluación de los Recursos Hídricos. Elaboración del balance hídrico
integral por cuencas hidrográficas. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 4

- VEIHMEYER, F. J. 1964. Evapotranspiration p. 1-38. In: V. T. Chow (ed.), Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill New York.
- VERMEIRE, L.T.; HEITSCHMIDTY, R.K. y HAFERKAMP, M.R. 2008. Vegetation response to seven grazing treatments in the Northern Great Plains. Agriculture, Ecosystems and Environment 125:111–119.
- VICENTE, CH. J.; ABRUÑA, F.F.; CARO, C.R.; FIGARELLA, J.; SILVA, S. y PEARSON, R.W. 1974. Intensive grassland management in the humid tropics of Puerto Rico. University of Puerto Rico. Rio Piedras Agricultural Experimental Station. Bulletin N° 233. 164 p
- VIRAMONTES, O.A.; REYES-GÓMEZ, V.M.; RANGEL-RODRÍGUEZ, A.; ORTEGA-OCHOA, C.; SOTO-CRUZ, R.; CAMARILLO-ACOSTA, J. y LEBGUE-KELENG, T. 2012. Hydrological and Environmental Role of Native and Introduced Grasslands in the Upper Basin of the Chuviscar River, Chihuahua, Mexico. *Tecnociencia Chihuahua* vol. VI. N° 3. Septiembre 2012.
- WALTER, J. 1984. Rangeland revolutionary: an interview with Allan Savory. *J. Soil Water Conserv.* 29:235-240.
- WARING, R. H. y RUNNING, S. W. 1998. *Forest Ecosystems: Analysis at Multiple Scales*, Elsevier, New York.
- WARREN, A.; BATTERBURY, S. y OSBAHR, H. 2001. Soil erosion in the West African Sahel: a review and an application of a “local political ecology” approach in South West Niger. *Glob. Environ. Change-Human Policy Dimens.* 11 (1), 79–95.
- WARREN, S.D.; NEVIL, M.B.; BLACKBURN, W.H. y GARZA, N.E. 1986. Soil response to trampling under intensive rotation grazing. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 1336–1341
- WEI, Ch.; GAO, M.; SHAO, X. y Pan, G. 2006. Soil aggregate and its response to land management practices. *China Particuology* 4:211-219.
- WELTZIN, J.F.; LOIK, M.G.; SCHWINNING, S.; WILLIAMS, D.G.; FAY, P.A.; HADDAD, B.M.; HARTE, J.; HUXMAN, T.E.; KNAPP, A.K.; LIN, G.; POCKMAN, W.T.; SHAW, M. R.; SMALL, E.E.; SMITH, M.D. ; SMITH, S.D.; TISSUE, D.T.; y ZAK, J.C. 2003. Assessing the Response of Terrestrial Ecosystems to Potential Changes in Precipitation. Source: *BioScience*, Vol. 53, No. 10 (October 2003), pp. 941-952
- WHITFORD, W. G. 1988. Decomposition and nutrient cycling in disturbed arid ecosystems. Pp. 136-161 in E. B. Allen (ed.). *The Reconstruction of Disturbed Arid*

- Lands. American Association for the Advancement of Science, Westview Press, Boulder, CO.
- WHITFORD, W. G. 1996. The importance of the biodiversity of soil biota in arid ecosystems. *Biodiversity and Conservation* 5:185-195.
- WILCOX, B. P.; WOOD, M. K. y TROMBLE, J. M. 1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountains lopes. *J. Range Manage.* 41: 197 – 206.
- WILCOX, B.P. y THUROW, T. L. 2006. Emerging Issues in Rangeland Ecohydrology: Vegetation Change and the Water Cycle. *Rangeland Ecol Manage* 59:220–224
- WILLMS, W., MCGINNY, S. y DORMAAR, J. 1993. Influence of litter on herbage production in the mixed prairie. *Journal of Range Management.*46:320-324.
- WOOD, M. K. y BLACKBURN, W. H. 1984. Vegetation and soil responses to cattle grazing systems in the Texas Rolling Planes. *Journal of Range Management*, 37, 303-308.
- YAYNESHET, T.; EIK, L.O. y MOE, S.R. 2009. The effects of exclosures in restoring degraded semi-arid vegetation in communal grazing lands in northern Ethiopia. *Journal of arid Environments* 73, 542–549.
- ZERPA, G.; SOSA, O. y MARTÍN, B. 1997. Acción del pisoteo de la hacienda sobre la actividad estructural de un suelo. *Actas IV Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo y Reunión Internacional de Rizosfera*, Universidad de Matanzas, 5, 6 y 7 de noviembre de 1997. Matanzas (Cuba).

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Biomasa del pastizal

| Biomasa - Diferido Final | | | | | Biomasa - Pastoreo Final | | | | |
|--------------------------|-------|----------|----------|----------|--------------------------|-------|----------|----------|----------|
| Potrerros | MV/m2 | gr/MS/m2 | Kg/MS/m2 | Kg/MS/Ha | Potrerros | MV/m2 | gr/MS/m2 | Kg/MS/m2 | Kg/MS/Ha |
| SP-DV-b1 | 208,0 | 135,6 | 0,1356 | 1356 | SP-DV-b1 | 31,0 | 4,5 | 0,005 | 45 |
| SP-DV-b2 | 225,0 | 125,9 | 0,1259 | 1259 | SP-DV-b2 | 25,0 | 5,9 | 0,006 | 59 |
| SP-DV-b3 | 218,0 | 114,0 | 0,1140 | 1140 | SP-DV-b3 | 24,0 | 7,3 | 0,007 | 73 |
| SP-DV-b4 | 254,3 | 115,0 | 0,1150 | 1150 | SP-DV-b4 | 29,0 | 8,9 | 0,009 | 89 |
| SP-DV-b5 | 232,3 | 101,9 | 0,1019 | 1019 | SP-DV-b5 | 35,0 | 8,9 | 0,009 | 89 |
| SR-DV-b1 | 253,7 | 129,4 | 0,1294 | 1294 | SR-DV-b1 | 21,8 | 11,9 | 0,012 | 119 |
| SR-DV-b2 | 265,3 | 135,0 | 0,1350 | 1350 | SR-DV-b2 | 34,8 | 15,3 | 0,015 | 153 |
| SP-DV-b3 | 308,9 | 140,0 | 0,1400 | 1400 | SP-DV-b3 | 45,8 | 19,9 | 0,020 | 199 |
| SR-DV-b4 | 277,7 | 150,4 | 0,1504 | 1504 | SR-DV-b4 | 28,8 | 10,0 | 0,010 | 100 |
| SR-DV-b5 | 194,8 | 136,0 | 0,1360 | 1360 | SR-DV-b5 | 28,8 | 16,9 | 0,017 | 169 |
| SR-DLL-b1 | 308,2 | 130,0 | 0,1300 | 1300 | SR-DLL-b1 | 50,8 | 27,3 | 0,0273 | 273 |
| SR-DLL-b2 | 287,7 | 146,8 | 0,1468 | 1468 | SR-DLL-b2 | 41,8 | 21,3 | 0,0213 | 213 |
| SR-DLL-b3 | 299,3 | 156,3 | 0,1563 | 1563 | SR-DLL-b3 | 46,8 | 20,4 | 0,0204 | 204 |
| SR-DLL-b4 | 274,6 | 155,5 | 0,1555 | 1555 | SR-DLL-b4 | 48,8 | 23,4 | 0,0234 | 234 |
| SR-DLL-b5 | 288,4 | 139,0 | 0,1390 | 1390 | SR-DLL-b5 | 54,8 | 25,5 | 0,0255 | 255 |
| SP-dLL-b1 | 276,5 | 135,0 | 0,1350 | 1350 | SP-dLL-b1 | 39,6 | 8,7 | 0,009 | 87 |
| SP-dLL-b2 | 165,2 | 121,9 | 0,1219 | 1219 | SP-dLL-b2 | 132,6 | 8,4 | 0,008 | 84 |
| SP-dLL-b3 | 229,7 | 113,0 | 0,1130 | 1130 | SP-dLL-b3 | 209,6 | 9,7 | 0,010 | 97 |
| SP-dLL-b4 | 269,9 | 124,0 | 0,1240 | 1240 | SP-dLL-b4 | 179,4 | 7,9 | 0,008 | 79 |
| SP-dLL-b5 | 269,9 | 119,0 | 0,1190 | 1190 | SP-dLL-b5 | 192,3 | 9,8 | 0,010 | 98 |

Anexo 2. Mantillo del pastizal

| Mantillo Diferido Final | | | | | Mantillo - Pastoreo Final | | | | |
|-------------------------|-------|----------|----------|----------|---------------------------|-------|----------|----------|----------|
| Potreros | MV/m2 | gr/MS/m2 | Kg/MS/m2 | Kg/MS/Ha | Potreros | MV/m2 | gr/MS/m2 | Kg/MS/m2 | Kg/MS/Ha |
| SP-DV-b1 | 8,9 | 4,0 | 0,004 | 40 | SP-DV-b1 | 6,0 | 3,0 | 0,003 | 30 |
| SP-DV-b2 | 11,1 | 3,4 | 0,003 | 34 | SP-DV-b2 | 5,0 | 2,4 | 0,002 | 24 |
| SP-DV-b3 | 6,5 | 2,9 | 0,003 | 29 | SP-DV-b3 | 4,8 | 2,2 | 0,002 | 22 |
| SP-DV-b4 | 10,0 | 5,0 | 0,005 | 50 | SP-DV-b4 | 7,0 | 3,9 | 0,004 | 39 |
| SP-DV-b5 | 8,7 | 4,2 | 0,004 | 42 | SP-DV-b5 | 6,5 | 3,9 | 0,004 | 39 |
| SR-DV-b1 | 10,5 | 5,6 | 0,006 | 56 | SR-DV-b1 | 9,6 | 5,1 | 0,005 | 51 |
| SR-DV-b2 | 14,6 | 6,6 | 0,007 | 66 | SR-DV-b2 | 11,1 | 6,0 | 0,006 | 60 |
| SP-DV-b3 | 9,5 | 5,3 | 0,005 | 53 | SP-DV-b3 | 7,6 | 4,6 | 0,005 | 46 |
| SR-DV-b4 | 9,2 | 4,8 | 0,005 | 48 | SR-DV-b4 | 6,4 | 3,0 | 0,003 | 30 |
| SR-DV-b5 | 12,6 | 5,7 | 0,006 | 57 | SR-DV-b5 | 7,4 | 4,0 | 0,004 | 40 |
| SR-DLL-b1 | 15,6 | 7,0 | 0,007 | 70 | SR-DLL-b1 | 8,3 | 4,814 | 0,005 | 48 |
| SR-DLL-b2 | 24,2 | 7,5 | 0,008 | 75 | SR-DLL-b2 | 10 | 4,9 | 0,005 | 49 |
| SR-DLL-b3 | 20,0 | 9,0 | 0,009 | 90 | SR-DLL-b3 | 10,2 | 6,018 | 0,006 | 60 |
| SR-DLL-b4 | 15,5 | 7,8 | 0,008 | 78 | SR-DLL-b4 | 9,8 | 4,9 | 0,005 | 49 |
| SR-DLL-b5 | 18,0 | 8,6 | 0,009 | 86 | SR-DLL-b5 | 10,8 | 4,86 | 0,005 | 49 |
| SP-dLL-b1 | 10,5 | 5,6 | 0,006 | 56 | SP-dLL-b1 | 6,7 | 3,9 | 0,004 | 39 |
| SP-dLL-b2 | 13,0 | 5,9 | 0,006 | 59 | SP-dLL-b2 | 8,6 | 4,6 | 0,005 | 46 |
| SP-dLL-b3 | 8,7 | 4,9 | 0,005 | 49 | SP-dLL-b3 | 7,3 | 4,3 | 0,004 | 43 |
| SP-dLL-b4 | 11,0 | 5,7 | 0,006 | 57 | SP-dLL-b4 | 7,9 | 3,6 | 0,004 | 36 |
| SP-dLL-b5 | 12,8 | 5,8 | 0,006 | 58 | SP-dLL-b5 | 7,6 | 3,9 | 0,004 | 39 |

Anexo 3. Densidad Aparente Final del Diferimiento

| POTRERO | Peso tierra | Diámetro | Altura | Volumen | Densidad(g/cc) | POTRERO | Peso tierra | Diámetro | Altura | Volumen | Densidad(g/cc) |
|-----------|-------------|----------|--------|---------|----------------|------------|-------------|----------|--------|---------|----------------|
| SP-DV-1,1 | 89,30 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,95 | SP-DLL-1,1 | 82,8 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,88 |
| SP-DV-1,2 | 87,80 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,93 | SP-DLL-1,2 | 87,9 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,93 |
| SP-DV-1,3 | 88,80 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,94 | SP-DLL-1,3 | 81 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,86 |
| SP-DV-2,1 | 88,90 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,94 | SP-DLL-2,1 | 87,4 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,93 |
| SP-DV-2,2 | 92,50 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,98 | SP-DLL-2,2 | 82,5 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,87 |
| SP-DV-2,3 | 88,90 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,94 | SP-DLL-2,3 | 83,6 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,89 |
| SP-DV-3,1 | 91,00 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,96 | SP-DLL-3,1 | 88,4 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,94 |
| SP-DV-3,2 | 89,70 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,95 | SP-DLL-3,2 | 87,2 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,92 |
| SP-DV-3,3 | 87,20 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,92 | SP-DLL-3,3 | 82,2 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,87 |
| SP-DV-4,1 | 91,00 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,96 | SP-DLL-4,1 | 85,8 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,91 |
| SP-DV-4,2 | 84,40 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,89 | SP-DLL-4,2 | 84,9 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,90 |
| SP-DV-4,3 | 88,70 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,94 | SP-DLL-4,3 | 80,6 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,85 |
| | | | | | | | | | | | |
| SR-DV-1,1 | 79,90 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,85 | SR-DLL-1,1 | 75,90 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,80 |
| SR-DV-1,2 | 77,40 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,82 | SR-DLL-1,2 | 75,10 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,80 |
| SR-DV-1,3 | 79,00 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,84 | SP-DLL-1,3 | 84,40 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,89 |
| SR-DV-2,1 | 76,00 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,81 | SR-DLL-2,1 | 80,90 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,86 |
| SR-DV-2,2 | 79,00 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,84 | SR-DLL-2,2 | 75,80 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,80 |
| SR-DV-2,3 | 78,70 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,83 | SR-DLL-2,3 | 76,60 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,81 |
| SR-DV-3,1 | 78,40 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,83 | SR-DLL-3,1 | 77,80 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,82 |
| SR-DV-3,2 | 78,50 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,83 | SR-DLL-3,2 | 73,70 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,78 |
| SR-DV-3,3 | 82,50 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,87 | SR-DLL-3,3 | 76,30 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,81 |
| SR-DV-4,1 | 85,30 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,90 | SR-DLL-4,1 | 73,00 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,77 |
| SR-DV-4,2 | 79,90 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,85 | SR-DLL-4,2 | 76,50 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,81 |
| SR-DV-4,3 | 76,80 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,81 | SR-DLL-4,3 | 78,70 | 4,30 | 6,50 | 94,39 | 0,83 |

Anexo 4. Densidad Aparente - Final del Pastoreo

| POTRERO | Peso tierra | Diámetro | Altura | Volumen | Densidad(g/cc) | POTRERO | Peso tierra | Diámetro | Altura | Volumen | Densidad(g/cc) |
|----------------|--------------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------------|----------------|--------------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------------|
| SP-DV-1,1 | 101,8 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,08 | SP-DLL-1,1 | 90,7 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,96 |
| SP-DV-1,2 | 93,7 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,99 | SP-DLL-1,2 | 100,9 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,07 |
| SP-DV-1,3 | 102,1 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,08 | SP-DLL-1,3 | 91 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,96 |
| SP-DV-2,1 | 101,0 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,07 | SP-DLL-2,1 | 94 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,00 |
| SP-DV-2,2 | 99,0 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,05 | SP-DLL-2,2 | 91,8 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,97 |
| SP-DV-2,3 | 100,1 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,06 | PS-DLL-2,3 | 91,4 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,97 |
| SP-DV-3,1 | 101,4 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,07 | SP-DLL-3,1 | 92,8 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,98 |
| SP-DV-3,2 | 104,3 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,10 | SP-DLL-3,2 | 98,5 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,04 |
| SP-DV-3,3 | 98,4 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,04 | SP-DLL-3,3 | 92 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,97 |
| SP-DV-4,1 | 100,8 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,07 | SP-DLL-4,1 | 92,7 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,98 |
| SP-DV-4,2 | 94,4 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,00 | SP-DLL-4,2 | 93,6 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,99 |
| SP-DV-4,3 | 99,4 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,05 | SP-DLL-4,3 | 87,1 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,92 |
| | | | | | | | | | | | |
| SR-DV-1,1 | 84,7 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,90 | SR-DLL-1,1 | 85 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,90 |
| SR-DV-1,2 | 89,0 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,94 | SR-DLL-1,2 | 82,4 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,87 |
| SR-DV-1,3 | 83,5 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,88 | SR-DLL-1,3 | 91 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,96 |
| SR-DV-2,1 | 86,8 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,92 | SR-DLL-2,1 | 91 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,96 |
| SR-DV-2,2 | 81,0 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,86 | SR-DLL-2,2 | 78,9 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,84 |
| SR-DV-2,3 | 92,0 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,97 | SR-DLL-2,3 | 81,5 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,86 |
| SR-DV-3,1 | 86,3 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,91 | SR-DLL-3,1 | 84,4 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,89 |
| SR-DV-3,2 | 84,0 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,89 | SR-DLL-3,2 | 80,1 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,85 |
| SR-DV-3,3 | 92,3 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,98 | SR-DLL-3,3 | 89,3 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,95 |
| SR-DV-4,1 | 93,5 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,99 | SR-DLL-4,1 | 88,9 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,94 |
| SR-DV-4,2 | 93,7 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,99 | SR-DLL-4,2 | 83,5 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,88 |
| SR-DV-4,3 | 98,2 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 1,04 | SR-DLL-4,3 | 92,5 | 4,3 | 6,5 | 94,4 | 0,98 |

Anexo 5. Humedad de suelo

| Final del Pastoreo | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----|----|----|-----------|-----|----|----|------------|----|----|----|------------|-----|----|----|
| POTRERO | Ph | Ps | %h | POTRERO | Ph | ps | %h | POTRERO | Ph | ps | %h | POTRERO | Ph | ps | %h |
| SP-DV-1,1 | 86 | 81 | 6 | SR-DV-1,1 | 81 | 67 | 17 | SP-DLL-1,1 | 83 | 75 | 10 | SR-DLL-1,1 | 91 | 70 | 23 |
| SP-DV-1,2 | 90 | 86 | 5 | SR-DV-1,2 | 95 | 80 | 16 | SP-DLL-1,2 | 86 | 74 | 14 | SR-DLL-1,2 | 96 | 69 | 28 |
| SP-DV-1,3 | 86 | 80 | 7 | SR-DV-1,3 | 105 | 85 | 19 | SP-DLL-1,3 | 88 | 78 | 12 | SR-DLL-1,3 | 93 | 73 | 22 |
| SP-DV-2,1 | 87 | 79 | 5 | SR-DV-2,1 | 110 | 90 | 18 | SP-DLL-2,1 | 90 | 79 | 13 | SR-DLL-2,1 | 107 | 76 | 29 |
| SP-DV-2,2 | 94 | 83 | 11 | SR-DV-2,2 | 98 | 72 | 27 | SP-DLL-2,2 | 82 | 73 | 10 | SR-DLL-2,2 | 106 | 82 | 22 |
| SP-DV-2,3 | 88 | 83 | 5 | SR-DV-2,3 | 103 | 82 | 21 | SP-DLL-2,3 | 83 | 72 | 14 | SR-DLL-2,3 | 102 | 78 | 24 |
| SP-DV-3,1 | 81 | 78 | 4 | SR-DV-3,1 | 86 | 73 | 15 | SP-DLL-3,1 | 92 | 83 | 9 | SR-DLL-3,1 | 97 | 70 | 28 |
| SP-DV-3,2 | 89 | 84 | 5 | SR-DV-3,2 | 87 | 75 | 13 | SP-DLL-3,2 | 88 | 77 | 12 | SR-DLL-3,2 | 91 | 72 | 21 |
| SP-DV-3,3 | 84 | 77 | 8 | SR-DV-3,3 | 90 | 75 | 16 | SP-DLL-3,3 | 91 | 82 | 10 | SR-DLL-3,3 | 98 | 78 | 21 |
| SP-DV-4,1 | 90 | 86 | 5 | SR-DV-4,1 | 90 | 77 | 14 | SP-DLL-4,1 | 82 | 72 | 13 | SR-DLL-4,1 | 98 | 75 | 23 |
| SP-DV-4,2 | 76 | 71 | 7 | SR-DV-4,2 | 105 | 78 | 26 | SP-DLL-4,2 | 97 | 79 | 19 | SR-DLL-4,2 | 101 | 72 | 29 |
| SP-DV-4,3 | 83 | 79 | 5 | SR-DV-4,3 | 96 | 76 | 21 | SP-DLL-4,3 | 86 | 75 | 13 | SR-DLL-4,3 | 94 | 75 | 20 |
| Final del diferido | | | | | | | | | | | | | | | |
| POTRERO | Ph | Ps | %h | POTRERO | Ph | ps | %h | POTRERO | Ph | ps | %h | POTRERO | Ph | ps | %h |
| SP-DV-1,1 | 86 | 66 | 23 | SR-DV-1,1 | 102 | 74 | 28 | SP-DLL-1,1 | 87 | 66 | 24 | SR-DLL-1,1 | 107 | 75 | 29 |
| SP-DV-1,2 | 94 | 74 | 21 | SR-DV-1,2 | 106 | 77 | 27 | SP-DLL-1,2 | 96 | 71 | 26 | SR-DLL-1,2 | 106 | 67 | 37 |
| SP-DV-1,3 | 93 | 72 | 23 | SR-DV-1,3 | 115 | 77 | 33 | SP-DLL-1,3 | 88 | 66 | 25 | SR-DLL-1,3 | 105 | 66 | 37 |
| SP-DV-2,1 | 87 | 68 | 22 | SR-DV-2,1 | 108 | 80 | 26 | SP-DLL-2,1 | 90 | 68 | 25 | SR-DLL-2,1 | 97 | 65 | 33 |
| SP-DV-2,2 | 94 | 70 | 25 | SR-DV-2,2 | 102 | 71 | 30 | SP-DLL-2,2 | 89 | 69 | 23 | SR-DLL-2,2 | 105 | 68 | 35 |
| SP-DV-2,3 | 88 | 70 | 20 | SR-DV-2,3 | 102 | 72 | 29 | SP-DLL-2,3 | 91 | 69 | 24 | SR-DLL-2,3 | 101 | 67 | 34 |
| SP-DV-3,1 | 81 | 67 | 18 | SR-DV-3,1 | 92 | 68 | 26 | SP-DLL-3,1 | 95 | 74 | 22 | SR-DLL-3,1 | 111 | 72 | 35 |
| SP-DV-3,2 | 79 | 60 | 24 | SR-DV-3,2 | 94 | 67 | 29 | SP-DLL-3,2 | 84 | 61 | 27 | SR-DLL-3,2 | 110 | 71 | 36 |
| SP-DV-3,3 | 74 | 57 | 23 | SR-DV-3,3 | 105 | 75 | 28 | SP-DLL-3,3 | 81 | 62 | 24 | SR-DLL-3,3 | 112 | 77 | 32 |
| SP-DV-4,1 | 90 | 77 | 15 | SR-DV-4,1 | 91 | 61 | 33 | SP-DLL-4,1 | 85 | 64 | 25 | SR-DLL-4,1 | 114 | 71 | 38 |
| SP-DV-4,2 | 76 | 58 | 23 | SR-DV-4,2 | 98 | 65 | 34 | SP-DLL-4,2 | 81 | 60 | 27 | SR-DLL-4,2 | 110 | 72 | 34 |
| SP-DV-4,3 | 83 | 67 | 19 | SR-DV-4,3 | 107 | 75 | 30 | SP-DLL-4,3 | 97 | 71 | 26 | SR-DLL-4,3 | 111 | 75 | 33 |

Anexo 6. Infiltración del Agua

| Diferido Final -Sitio Pobre | | | |
|-----------------------------|---------|----------|----------|
| DV-SP-1 | DV-SP-2 | DLL-SP-1 | DLL-SP-2 |
| 0,70 | 0,80 | 1,20 | 0,90 |
| 0,60 | 0,70 | 1,00 | 0,80 |
| 0,50 | 0,60 | 0,90 | 0,7 |
| 0,40 | 0,30 | 0,50 | 0,60 |
| 0,16 | 0,20 | 0,40 | 0,22 |
| 0,14 | 0,10 | 0,32 | 0,16 |
| 0,13 | 0,09 | 0,25 | 0,14 |
| 0,10 | 0,08 | 0,20 | 0,12 |
| 0,07 | 0,07 | 0,13 | 0,11 |
| 0,06 | 0,06 | 0,11 | 0,09 |
| 0,06 | 0,05 | 0,10 | 0,10 |

| Diferido Final -Sitio Regular | | | |
|-------------------------------|---------|----------|----------|
| DV-SR-1 | DV-SR-2 | DLL-SR-1 | DLL-SR-2 |
| 0,50 | 1,80 | 0,60 | 2,30 |
| 0,40 | 1,00 | 0,50 | 2,30 |
| 0,30 | 2,20 | 0,80 | 2,20 |
| 0,20 | 1,80 | 0,40 | 1,10 |
| 0,12 | 0,94 | 0,22 | 1,00 |
| 0,10 | 0,66 | 0,20 | 0,80 |
| 0,08 | 0,56 | 0,18 | 0,60 |
| 0,07 | 0,40 | 0,17 | 0,40 |
| 0,08 | 0,32 | 0,15 | 0,30 |
| 0,06 | 0,27 | 0,13 | 0,20 |
| 0,05 | 0,24 | 0,11 | 0,15 |

| Pastoreo Final -Sitio Pobre | | | |
|-----------------------------|---------|----------|----------|
| DV-SP-1 | DV-SP-2 | DLL-SP-1 | DLL-SP-2 |
| 0,60 | 0,90 | 1,20 | 1,00 |
| 0,50 | 0,60 | 1,00 | 0,80 |
| 0,40 | 0,40 | 0,80 | 0,90 |
| 0,40 | 0,20 | 0,40 | 0,60 |
| 0,16 | 0,16 | 0,32 | 0,22 |
| 0,12 | 0,10 | 0,32 | 0,16 |
| 0,12 | 0,10 | 0,30 | 0,10 |
| 0,10 | 0,08 | 0,22 | 0,16 |
| 0,08 | 0,06 | 0,18 | 0,14 |
| 0,06 | 0,05 | 0,14 | 0,13 |
| 0,06 | 0,05 | 0,12 | 0,12 |

| Pastoreo Final -Sitio Regular | | | |
|-------------------------------|---------|----------|----------|
| DV-SR-1 | DV-SR-2 | DLL-SR-1 | DLL-SR-2 |
| 0,40 | 1,90 | 0,70 | 2,60 |
| 0,30 | 1,00 | 0,50 | 2,10 |
| 0,30 | 2,20 | 0,80 | 2,30 |
| 0,20 | 1,80 | 0,40 | 1,10 |
| 0,12 | 0,94 | 0,22 | 1,18 |
| 0,10 | 0,66 | 0,20 | 0,70 |
| 0,08 | 0,56 | 0,18 | 0,60 |
| 0,06 | 0,40 | 0,18 | 0,40 |
| 0,06 | 0,36 | 0,08 | 0,32 |
| 0,06 | 0,28 | 0,14 | 0,28 |
| 0,06 | 0,26 | 0,11 | 0,155 |

Anexo 7. Formato de censos de vegetación (Parker)

Propietario:.....

Fecha:...

Sitio/Transecta N°

Sp. Indicadora Ovino...Sp. Indicadora Vacuno... Sp. Indicadora Alpaca....Sp. Indicadora Llama.....

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | VIGOR (cm.) | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-------------|---------|---------|--------|
| | | | | | | | | | | Ovinos | Vacunos | Alpacas | Llamas |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 55 | 59 | 60 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

M Mantillo R Roca P Pavimento de erosión L Musgos S Suelo desnudo

Anexo 8. Formato de tendencia del pastizal

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| Presencia de plántulas jóvenes. | | | | |
| Si o no | | | | |
| Existe hojarasca o mantillo en el suelo? | | | | |
| Si o no | | | | |
| Erosión laminar y cárcavas. Existen plantas en pedestal? | | | | |
| Si o no | | | | |
| Consideraciones del vigor de las plantas. | | | | |
| a. Número de cabezas florales | | | | |
| b. Altura de planta | | | | |
| c. Cantidad y longitud de las hojas | | | | |
| d. Longitud de los rizomas y estolones | | | | |
| | | | | |
| Están las plantas vigorosas? Si o no | | | | |
| Composición del pastizal | | | | |
| Existe una variedad de especies de plantas perennes? | | | | |
| Si o no | | | | |
| Las malezas están por debajo del 20%? | | | | |
| Si o no | | | | |
| Si respondió sí a todas las preguntas, la tendencia del pastizal está mejorando con excepción del punto 3. | | | | |
| Si respondió no a todas las preguntas, la tendencia del pastizal está declinando, con excepción del punto 3. | | | | |
| Si respondió sí a la mitad y no a la otra mitad, la tendencia del pastizal probablemente se mantiene estable. | | | | |

Anexo 9. Formato de toma muestras de biomasa y mantillo del pastizal

| Biomasa del pastizal | | | | | Mantillo del pastizal | | | | |
|-----------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------|------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------|
| Potrerros | MV/m ² | gr/MS/m ² | Kg/MS/m ² | Kg/MS/Ha | Potrerros | MV/m ² | gr/MS/m ² | Kg/MS/m ² | Kg/MS/Ha |
| SP-DV-b1 | | | | | SP-DV-b1 | | | | |
| SP-DV-b2 | | | | | SP-DV-b2 | | | | |
| SP-DV-b3 | | | | | SP-DV-b3 | | | | |
| SP-DV-b4 | | | | | SP-DV-b4 | | | | |
| SP-DV-b5 | | | | | SP-DV-b5 | | | | |
| SR-DV-b1 | | | | | SR-DV-b1 | | | | |
| SR-DV-b2 | | | | | SR-DV-b2 | | | | |
| SP-DV-b3 | | | | | SP-DV-b3 | | | | |
| SR-DV-b4 | | | | | SR-DV-b4 | | | | |
| SR-DV-b5 | | | | | SR-DV-b5 | | | | |
| SR-DLL-b1 | | | | | SR-DLL-b1 | | | | |
| SR-DLL-b2 | | | | | SR-DLL-b2 | | | | |
| SR-DLL-b3 | | | | | SR-DLL-b3 | | | | |
| SR-DLL-b4 | | | | | SR-DLL-b4 | | | | |
| SR-DLL-b5 | | | | | SR-DLL-b5 | | | | |
| SP-DLL-b1 | | | | | SP-DLL-b1 | | | | |
| SP-DLL-b2 | | | | | SP-DLL-b2 | | | | |
| SP-DLL-b3 | | | | | SP-DLL-b3 | | | | |
| SP-DLL-b4 | | | | | SP-DLL-b4 | | | | |
| SP-DLL-b5 | | | | | SP-DLL-b5 | | | | |

Anexo 10. Formatos para de toma de muestras de la densidad del suelo

| POTRERO | Peso tierra | Diámetro. Cilindro | Altura | Volumen | Densidad(g/cc) | POTRERO | Peso tierra | Diámetro. Cilindro | Altura | Volumen | Densidad(g/cc) |
|-----------|-------------|-----------------------|--------|---------|----------------|------------|-------------|-----------------------|--------|---------|----------------|
| SP-DV-1,1 | | | | | | SP-DLL-1,1 | | | | | |
| SP-DV-1,2 | | | | | | SP-DLL-1,2 | | | | | |
| SP-DV-1,3 | | | | | | SP-DLL-1,3 | | | | | |
| SP-DV-2,1 | | | | | | SP-DLL-2,1 | | | | | |
| SP-DV-2,2 | | | | | | SP-DLL-2,2 | | | | | |
| SP-DV-2,3 | | | | | | SP-DLL-2,3 | | | | | |
| SP-DV-3,1 | | | | | | SP-DLL-3,1 | | | | | |
| SP-DV-3,2 | | | | | | SP-DLL-3,2 | | | | | |
| SP-DV-3,3 | | | | | | SP-DLL-3,3 | | | | | |
| SP-DV-4,1 | | | | | | SP-DLL-4,1 | | | | | |
| Promedio | | | | | | Promedio | | | | | |

Anexo 11. Formato para de toma de muestras de la infiltración del agua

| Tiempo | Min | cm | diferencia | cm/min |
|---------------|------------|-----------|-------------------|---------------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 10 | | | | |
| 15 | | | | |
| 20 | | | | |
| 25 | | | | |
| 30 | | | | |
| 40 | | | | |
| 50 | | | | |
| 60 | | | | |
| Tasa | | | | |

Anexo 12. Formato para de toma de muestras de la Humedad del suelo

| Final del Pastoreo | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----|----|----|------------|----|----|----|-----------|----|----|----|------------|----|----|----|
| POTRERO | Ph | ps | %h | POTRERO | Ph | ps | %h | POTRERO | Ph | ps | %h | POTRERO | Ph | ps | %h |
| SP-DV-1,1 | | | | SR-DV-1,1 | | | | SP-DLL1,1 | | | | SR-DLL-1,1 | | | |
| SP-DV-1,2 | | | | SR -DV-1,2 | | | | SP-LL-1,2 | | | | SR-DLL-1,2 | | | |
| SP-DV-1,3 | | | | SR -DV-1,3 | | | | SP-LL-1,3 | | | | SR-DLL-1,3 | | | |
| SP-DV-2,1 | | | | SR -DV-2,1 | | | | SP-LL-2,1 | | | | SR-DLL-2,1 | | | |
| SP-DV-2,2 | | | | SR -DV-2,2 | | | | SP-LL-2,2 | | | | SR-DLL-2,2 | | | |
| SP-DV-2,3 | | | | SR -DV-2,3 | | | | SP-LL-2,3 | | | | SR-DLL-2,3 | | | |
| SP-DV-3,1 | | | | SR -DV-3,1 | | | | SP-LL-3,1 | | | | SR-DLL-3,1 | | | |
| SP-DV-3,2 | | | | SR -DV-3,2 | | | | SP-LL-3,2 | | | | SR-DLL-3,2 | | | |
| SP-DV-3,3 | | | | SR -DV-3,3 | | | | SP-LL-3,3 | | | | SR-DLL-3,3 | | | |
| SP-DV-4,1 | | | | SR -DV-4,1 | | | | SP-LL-4,1 | | | | SR-DLL-4,1 | | | |
| Promedio | | | | Promedio | | | 1 | Promedio | | | | | | | |

Anexo 13. Cuadro de Resultados de Análisis Estadístico

Biomasa del pastizal

| Fuente de variación | DF | Cuadrado Medio | F value | Pr> f | Sig |
|---------------------|----|----------------|---------|--------|-----|
| Covarianza | 1 | 53031.3240 | 7.03 | 0.0181 | ** |
| Especie animal | 1 | 66047.1606 | 8.75 | 0.0098 | ** |
| Sitios Ecológicos | 1 | 158376.1330 | 20.99 | 0.0004 | ** |
| Especie*Sitios | 1 | 27506.3520 | 3.65 | 0.0755 | ns |

R2 0.73
 CV 6.6%
 DE 86.9
 Means 1311.9
 Alpha 0.05
 DLS 82.8

Mantillo del pastizal

| Fuente de variación | DF | Cuadrado Medio | F value | Pr> f | Sig |
|---------------------|----|----------------|---------|--------|-----|
| Covarianza | 1 | 400.8300043 | 16.85 | 0.0009 | ** |
| Especie animal | 1 | 882.8902816 | 37.12 | <.0001 | *** |
| Sitios Ecológicos | 1 | 412.2662900 | 17.33 | 0.0008 | ** |
| Especie*Sitios | 1 | 116.1469789 | 4.88 | 0.0431 | * |

R2 0.93
 CV 8.5
 DE 4.9
 Means 57.7
 Alpha 0.05
 DLS 4.6

Densidad del suelo

| Fuente de variación | DF | Cuadrado Medio | F value | Pr> f | Sig |
|---------------------|----|----------------|---------|--------|-----|
| Covarianza | 1 | 0.00804455 | 12.95 | 0.0008 | ** |
| Especie animal | 1 | 0.00342037 | 5.51 | 0.0236 | * |
| Sitios Ecológicos | 1 | 0.02014279 | 32.42 | <.0001 | *** |
| Especie*Sitios | 1 | 0.00024173 | 0.39 | 0.5361 | ns |

R2 0.82
 CV 2.85
 DE 0.025
 Means 0.87
 Alpha 0.05
 DLS 4.6

Infiltración del agua

| Fuente de variación | DF | Cuadrado Medio | F value | Pr> f | Sig |
|---------------------|----|----------------|---------|--------|-----|
| Covarianza | 1 | 0.02333040 | 112.96 | 0.0018 | * |
| Especie animal | 1 | 0.00030146 | 1.46 | 0.3135 | NS |
| Sitios Ecológicos | 1 | 0.00002305 | 0.11 | 0.7603 | NS |
| Especie*Sitios | 1 | 0.00000440 | 0.02 | 0.8933 | NS |

R2 0.98
 CV 12.4
 DE 0.014
 Means 0.12
 Alpha 0.05
 DLS 1.3111

Humedad del suelo

| Fuente de variación | DF | Cuadrado Medio | F value | Pr> f | Sig |
|---------------------|----|----------------|---------|--------|-----|
| Covarianza | 1 | 48.08721305 | 9.48 | 0.0036 | ** |
| Especie animal | 1 | 33.14173706 | 6.53 | 0.0142 | * |
| Sitios Ecológicos | 1 | 59.39185225 | 11.71 | 0.0014 | ** |
| Especie*Sitios | 1 | 6.60597319 | 1.30 | 0.2601 | NS |

R2 0.85
 CV 8.19
 DE 2.25
 Means 27.5
 Alpha 0.05
 DLS 1.3111