

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO BAJO DIFERENTES
SISTEMAS DE PASTOREO ROTATIVO DEL GANADO BOVINO EN EL
CHACO CENTRAL**

EUGENIO GONZÁLEZ CÁCERES

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de *Magister Scientiae* en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial. Programa de postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Dirección de Postgrado

San Lorenzo, Paraguay

2019

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO BAJO DIFERENTES
SISTEMAS DE PASTOREO ROTATIVO DEL GANADO BOVINO EN EL
CHACO CENTRAL**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: MANEJO INTEGRADO DE SUELOS Y
AGUA**

EUGENIO GONZÁLEZ CÁCERES

COMITÉ ASESOR DE TESIS

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez
Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Juan José Bonnin Acosta
Co-Orientador: Ing. Agr. (MSc.) Luis Alberto Alonzo Griffith
Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de *Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial*. Programa de postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Dirección de Postgrado

San Lorenzo, Paraguay

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DIRECCIÓN DE POSTGRADO

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO BAJO DIFERENTES
SISTEMAS DE PASTOREO ROTATIVO DEL GANADO BOVINO EN EL
CHACO CENTRAL**

Esta tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de *Magister Scientiae* en **Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial**. Programa de postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias/UNA.

Autor: Eugenio González Cáceres

Miembros del Comité Asesor de Tesis y Mesa Examinadora

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Juan José Bonnin Acosta

Co-Orientador: Ing. Agr. (M.Sc.) Luis Alberto Alonzo Griffith

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

San Lorenzo, Paraguay

2019

DEDICATORIA

A mi madre Guillermina ⁽⁺⁾,

A mi padre Eleuterio,

A mi abuela Leonarda y

A mis hermanos

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, mantenerme con salud, guiar mis pasos y darme la fortaleza necesaria para cumplir mis metas.

A mis familiares por el acompañamiento y apoyo incondicional brindado en cada etapa de mi vida.

Al Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Alvarez, por orientarme durante la ejecución de la tesis y por ser más que un tutor un amigo.

A mis co-orientadores Prof. Ing. Agr. (Dr.) Juan José Bonnin Acosta, Ing. Agr. (MSc.) Luis Alberto Alonzo Griffith y Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois por el acompañamiento constante brindado.

Al coordinador de la Maestría en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andres Leguizamon Rojas por su gestión durante todo el proceso del programa.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento de la Maestría en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial.

A la empresa Emprendimientos Rurales, por proveer el establecimiento para la ejecución del trabajo a campo de la tesis y por financiar partes de los gastos de la tesis.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción por el apoyo, mediante la utilización de equipos necesarios para los trabajos a campo y laboratorio.

A mis compañeros de la maestría, en especial a mi gran amigo Alder Duarte Monzón por su ayuda durante la realización de este trabajo.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE PASTOREO ROTATIVO DEL GANADO BOVINO EN EL CHACO CENTRAL

Autor: EUGENIO GONZÁLEZ CÁCERES

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Juan José Bonnin Acosta

Co-Orientador: Ing. Agr. (M.Sc.) Luis Alberto Alonzo Griffith

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

RESUMEN

Los mayores desafíos que enfrentan el sector ganadero se relaciona con la necesidad de generar soluciones ante la degradación del suelo. El objetivo de la investigación fue evaluar los efectos del manejo de pastoreo rotativo del ganado bovino sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. El experimento fue realizado en Mariscal Estigarribia, Boquerón, Paraguay, en un cuasi experimento con un diseño completamente al azar, evaluando diferentes sistemas de pastoreo rotativo (PR) de bovinos. Los tratamientos corresponden a pastoreo rotativo intensivo (PRI), pastoreo rotativo moderado (PRM) y pastoreo rotativo leve (PRL). El PRI (12,5 ha con un sistema de pastoreo de 2 días y tiempo de descanso de 30 días), PRM (25 ha con un sistema de pastoreo de 4 días y tiempo de descanso de 28 días) y PRL (50 ha con un sistema de pastoreo de 8 días y tiempo de descanso de 24 días), para cada tratamiento se tuvo una misma unidad animal y diferentes números de repeticiones. Entre las propiedades físicas del suelo hubo diferencias significativas en la resistencia mecánica del suelo a la penetración (RMSP) y contenido de agua del suelo, donde en las camadas 0-5 y 5-10 cm el PRI presentó mayores niveles de RMSP con valores de 0,84 y 1,12 MPa; en la densidad aparente, porosidad total y velocidad de infiltración del agua en el suelo no hubo diferencias significativas, con medias de 1,54; 1,54 y 1,56 g cm⁻³; 41,6; 41,8 y 44,3% y 3,02; 2,77 y 1,58 cm h⁻¹ para el PRI, PRM y PRL respectivamente. En las propiedades químicas se observan diferencias significativas en el primer año en el P, H + Al y CIC del suelo; en los valores del P se observa que el PRI fue inferior al PRM e igual al PRL, con valores promedios de 163; 201,9 y 214,6 mg dm⁻³ respectivamente; en relación al H + Al, el PRI presentó el promedio más bajo en comparación al PRM y PRL con valores de 1,83; 2,56 y 2,32% respectivamente y en la CIC el PRI estadísticamente arrojó una media por debajo del PRM y PRL con medias de 9,72; 11,86 y 12 cmolc dm⁻³ respectivamente. En el segundo año de evaluación hubo diferencias en la M.O. y Ca⁺⁺, con medias de 2,13; 3,07 y 2,48 % en la M.O. y 6,64; 8,39 y 7,59 cmolc dm⁻³ en el PRI, PRM y PRL respectivamente. En la altura y masa seca del pasto pre y post-pastoreo, estadísticamente en el PRI se obtuvo mejores resultados con una media de 98 y 93 cm en la altura y 7.874 y 6.661 kg ha⁻¹ en masa seca del pre y post-pastoreo de los animales. En la ganancia de peso del ganado no hubo variabilidad entre los tratamientos en los dos años ganaderos evaluados 2018/2019. El pastoreo rotativo es una buena alternativa para reducir el efecto del pisoteo directo de los animales en las propiedades físicas del suelo y puede mejorar las características químicas del mismo con un manejo adecuado.

Palabras clave: compactación del suelo, manejo de ganado, pastura.

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PASTOREIO ROTATIVO DE GADO BOVINO NO CHACO CENTRAL

Autor: EUGENIO GONZÁLEZ CÁCERES

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Juan José Bonnin Acosta

Co-Orientador: Ing. Agr. (M.Sc.) Luis Alberto Alonzo Griffith

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

RESUMO

Os maiores desafios do setor pecuário estão relacionados à necessidade de gerar soluções para reduzir a degradação do solo. O objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos do manejo do pastejo rotativo de bovinos nas propriedades físicas e químicas do solo. O experimento foi realizado em Mariscal Estigarribia, Boquerón, Paraguai, em um quase experimento com delineamento inteiramente casualizado, avaliando diferentes sistemas de pastejo rotativo de bovinos. Os tratamentos correspondem a pastejo rotativo intensivo (PRI), pastejo rotativo moderado (PRM) e pastejo rotativo leve (PRL). O PRI (12,5 ha com sistema de pastejo de 2 dias e tempo de descanso de 30 dias), PRM (25 ha com sistema de pastejo de 4 dias e tempo de descanso de 28 dias) e PRL (50 ha com sistema de pastejo de 8 dias e tempo de descanso de 24 dias), para cada tratamento, tivemos a mesma unidade animal e diferentes números de repetições. Entre as propriedades físicas do solo, houve diferenças significativas na resistência mecânica à penetração (RMSP) e teor de água do solo, enquanto na profundidade 0-5 e 5-10 cm o PRI apresentou maiores níveis de RMSP com valores de 0,84 e 1,12 Mpa; na densidade aparente, porosidade total e taxa de infiltração de água no solo, não houve diferenças significativas, com médias de 1,54; 1,54 e 1,56 g cm³; 41,6; 41,8 e 44,3% e 3,02; 2,77 e 1,58 cm h⁻¹ para PRI, PRM e PRL, respectivamente. Nas propriedades químicas, diferenças significativas são observadas no primeiro ano no P, H + Al e CIC do solo; Os valores de P mostram que PRI foi menor que PRM e igual a PRL, com valores médios de 163; 201,9 e 214,6 mg dm⁻³, respectivamente; em relação ao H + Al, o PRI apresentou a menor média em relação ao PRM e PRL, com valores de 1,83; 2,56 e 2,32% respectivamente e no CIC o PRI mostrou estatisticamente uma média abaixo do PRM e PRL com médias de 9,72; 11,86 e 12 cmolc dm⁻³, respectivamente. No segundo ano de avaliação, houve diferenças no M.O. e Ca⁺⁺, com médias de 2,13; 3,07 e 2,48% no M.O. e 6,64; 8,39 e 7,59 cmolc dm⁻³ em PRI, PRM e PRL, respectivamente. Na altura e massa seca do pasto pré e pós-pastejo, estatisticamente no PRI, foram obtidos melhores resultados com média de 98 e 93 cm de altura e 7.874 e 6.661 kg ha⁻¹ na massa seca do pré e pós-pastejo de animais. No ganho de peso do gado, não houve variabilidade entre os tratamentos nos dois anos avaliados 2018/2019. O pastoreio rotativo é uma boa alternativa para reduzir o efeito do pisoteio direto dos animais nas propriedades físicas do solo e pode melhorar suas características químicas com o manejo adequado.

Palavras chave: compactação do solo, manejo do gado, pastagem.

SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE GROUND UNDER DIFFERENT SYSTEMS OF ROTARY PASTORATION OF BOVINE LIVESTOCK IN THE CENTRAL CHACO

Author: EUGENIO GONZÁLEZ CÁCERES

Advisor: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez

Co- Advisor: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Juan José Bonnin Acosta

Co- Advisor: Ing. Agr. (M.Sc.) Luis Alberto Alonzo Griffith

Co- Advisor: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

SUMMARY

The biggest challenges facing the livestock sector are related to the need to generate solutions to land degradation. The objective of the research was to evaluate the effects of rotational grazing of cattle on the physical and chemical properties of the soil. The experiment was carried out in Mariscal Estigarribia, Boquerón, Paraguay, in a quasi-experiment with a completely randomized design, evaluating different systems of rotational grazing of cattle. The treatments correspond to Intensive rotary pancake (PRI), moderate rotary pancake (PRM) and mild rotary pancake (PRL). The PRI (12.5 ha with a 2-day grazing system and 30-day rest time), PRM (25 ha with a system of grazing of 4 days and rest time of 28 days) and PRL (50 ha with a grazing system of 8 days and rest time of 24 days), for each treatment we had the same animal unit and different numbers of repetitions. Among the physical properties of the soil there were significant differences in the mechanical resistance of the soil to penetration (RMSP) and water content of the soil, where in layers 0-5 and 5-10 cm the PRI presented higher levels of RMSP with values of 0.84 and 1.12 MPa; in the apparent density, total porosity and infiltration rate of water in the soil there were no significant differences, with averages of 1.54; 1.54 and 1.56 g cm⁻³; 41.6; 41.8 and 44.3% and 3.02; 2.77 and 1.58 cm h⁻¹ for PRI, PRM and PRL respectively. In the chemical properties significant differences are observed in the first year in the P, H + Al and CIC of the soil; P values show that PRI was lower than PRM and equal to PRL, with average values of 163; 201.9 and 214.6 mg dm⁻³ respectively; in relation to H + Al, PRI presented the lowest average compared to PRM and PRL with values of 1.83; 2.56 and 2.32% respectively and in the CIC the PRI statistically showed an average below the PRM and PRL with averages of 9.72; 11.86 and 12 cmol_c dm⁻³ respectively. In the second year of evaluation there were differences in the M.O. and Ca⁺⁺, with averages of 2.13; 3.07 and 2.48% in the M.O. and 6.64; 8.39 and 7.59 cmol_c dm⁻³ in PRI, PRM and PRL respectively. In the height and dry mass of pre and post-grazing grass, statistically in PRI, better results were obtained with an average of 98 and 93 cm in height and 7,874 and 6,661 kg ha⁻¹ in dry mass of pre and post-grazing of the animals. In the weight gain of the cattle there was no variability between the treatments in the two cattle years evaluated 2018/2019. Rotational grazing is a good alternative to reduce the effect of direct trampling of animals on the physical properties of the soil and can improve its chemical characteristics with proper management.

Keywords: soil compaction, livestock management, pasture.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Portada.....	i
Página de aprobación.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
RESUMO.....	vi
SUMMARY.....	vii
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Producción ganadera en el Chaco Central.....	3
2.2 Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo.....	4
2.3 Degradación del suelo en sistemas de pastoreo.....	7
2.4 Sistema de pastoreo.....	10
2.5 Degradación de pasturas en sistemas ganaderos.....	9
2.6 Sistema de pastoreo rotativo.....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1 Localización y caracterización del área en estudio.....	13
3.2 Diseño experimental y tratamientos.....	15
3.3 Población de unidades.....	16
3.4 Implantación y manejo del experimento.....	17
3.5 Descripción de las variables evaluadas.....	17
3.5.1 Propiedades físicas del suelo.....	17
3.5.2 Propiedades químicas de suelo.....	19
3.5.3 Parámetros agronómicos del pasto.....	19

3.5.4 Ganancia de peso de los animales.....	20
3.6 Método de control de calidad de datos	20
3.7 Modelo de análisis e interpretación	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1 Propiedades físicas del suelo.....	22
4.1.1 Resistencia mecánica del suelo a la penetración.....	22
4.1.2 Contenido de agua en el suelo.....	24
4.1.3 Densidad aparente y porosidad total del suelo.....	26
4.1.4 Velocidad de infiltración del agua en el suelo	28
4.2 Propiedades químicas del suelo.....	31
4.3 Parámetros agronómicos de la pastura.....	33
4.3.1 Altura del pasto pre y post-pastoreo	33
4.3.2 Masa seca aérea del pasto pre y post-pastoreo.....	35
4.4 Ganancia de peso total de los animales	37
4.5 Diferencia diaria de peso de los animales	38
5. CONCLUSIONES	40
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
7. ANEXOS	46

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Descripción de los tratamientos de la investigación.....	14
Tabla 2. Densidad aparente y porosidad total del suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2019.....	24
Tabla 3. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo: acidez activa (pH), materia orgánica (MO), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), fósforo (P), acidez potencial (H + Al), saturación de bases (V) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. Mariscal Estigarribia-Chaco, Paraguay, 2019.....	29
Tabla 4. Ganancia de peso de los animales (GDP) bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia-Paraguay, 2019.....	35
Tabla 5. Diferencia de pesos totales entre pesaje (kg) bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia-Paraguay, 2019.....	36

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación del área experimental en el Distrito Mariscal Estigarribia-Departamento Boquerón, Chaco Central.....	12
Figura 2. Representación mensual de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo experimento (Enero de 2018 a marzo de 2019) y medias históricas. Fuente: Meteomanz.com. Estación meteorológica: Mariscal Estigarribia, Boqueron, Paraguay.....	14
Figura 3. Esquema de los tratamientos con sus respectivas repeticiones, distribución de las unidades experimentales en el campo.....	15
Figura 4. Resistencia mecánica del suelo a la penetración bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2019.....	21
Figura 5. Contenido de agua en el suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2019.....	23
Figura 6. Velocidad de infiltración del agua en el suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2018/2019.	27
Figura 7. Altura del pasto pre y post-pastoreo de los animales bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2019.....	32
Figura 8. Masa seca aérea del pasto pre y post-pastoreo de los animales bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2019.....	33

LISTA DE ANEXOS

Página

1 A. Precipitación ocurrida durante el ciclo del experimento (precipitación mensual) y medias históricas.....	46
2 A. Análisis de varianza de la variable Resistencia del suelo a la penetración.....	46
3 A. Análisis de varianza de la variable Contenido de agua en el suelo.....	50
4 A. Análisis de varianza de la variable densidad aparente del suelo.....	50
5 A. Análisis de varianza de la variable porosidad total del suelo.....	51
6 A. Análisis de varianza de la variable infiltración del agua en el suelo.....	52
7 A. Análisis de varianza de la variable propiedades químicas del suelo.....	53
8 A. Análisis de varianza de la variable altura del pasto pre y post-pastoreo.....	58
9 A. Análisis de varianza de la variable masa seca del pasto pre y post-pastoreo....	59
10 A. Valores de la Resistencia Mecánica del Suelo a la Penetración.....	60
11 A. Valores de contenido de agua en el suelo.....	61
12 A. Valores de densidad aparente y porosidad total del suelo.....	62
13 A. Valores de Velocidad de infiltración del agua en el suelo.....	62
14 A. Valores de altura del pasto del pre y post-pastoreo.....	63
15 A. Valores de la masa seca del pasto del pre y post-pastoreo.....	64
16 A. Evaluación de la variable resistencia mecánica del suelo a la penetración....	65
17 A. Evaluación de la variable densidad aparente del suelo.....	66
18 A. Evaluación de la variable velocidad de infiltración del agua en el suelo.....	67

19 A.	Evaluación de la variable altura y masa seca pre y post-pastoreo del la pastura.....	68
--------------	---	----

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería en el Paraguay es una actividad muy importante que genera ingresos a la economía del país, como así también, es fuente de alimento y provee trabajo. En la actualidad, el sector ganadero se enfrenta a múltiples desafíos, como ser el aumento de la productividad de los animales, adaptación al cambio climático imperante, proponer alternativas y soluciones ante la degradación del suelo a consecuencia del mal manejo de las mismas. Si bien la ganadería es una actividad productiva en constante crecimiento las prácticas realizadas pueden afectar negativamente la calidad del suelo.

Los suelos aprovechados únicamente por la ganadería, generalmente, no son aptos para agricultura por fuertes limitaciones como la fertilidad. En consecuencia, es necesario desarrollar sistemas de manejos ganaderos viables que sean capaces de asegurar una producción rentable y sostenible con un mínimo de degradación del recurso suelo.

Cuando se busca realizar mejoras de la producción del ganado es necesario considerar todos los factores que puedan interferir en el logro de ese objetivo, y desde ese punto de vista el suelo cumple un rol fundamental para alcanzarla, considerando que la producción de pastura depende de las condiciones en que se encuentren las propiedades del suelo.

El cuidado del suelo en la ganadería es una actividad poco considerada en nuestro país, los impactos que genera el pisoteo directo sobre las características físicas y químicas del suelo, conlleva a una degradación del mismo; estas consecuencias negativas se podría disminuir con la adopción de sistemas de pastoreo rotativo de ganado, reduciendo el tiempo de ocupación de los animales en los potreros y prolongando el periodo de descanso del suelo, lo que permitiría una recuperación adecuada de los potreros y obtener un mejor desarrollo del pasto a ser ofrecida a los animales.

En ese sentido el presente trabajo tuvo como objetivo general analizar los principales efectos del manejo de pastoreo rotativo del ganado bovino sobre las propiedades físicas, químicas del suelo, las características agronómicas de la producción de forraje y la ganancia de peso del ganado bovino en los diferentes sistemas de manejos del pastoreo rotativo estudiado. Los objetivos específicos de la investigación fueron evaluar la resistencia mecánica del suelo a la penetración, la densidad aparente y porosidad total del suelo, la velocidad de infiltración de agua en el suelo, las propiedades químicas del suelo, la altura y producción de materia seca del pasto, y la ganancia de peso del ganado bovino en los manejos de pastoreo rotativos considerados.

La hipótesis propuesta en la investigación fue que el sistema de pastoreo rotativo más intensivo resultará el que menos afecte las características físicas y químicas del suelo y la que mejor producción forrajera presente. Como así también, la ganancia de peso del ganado bovino será mejor en el manejo rotativo más intensivo, considerando los sistemas de pastoreos estudiados.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción ganadera en el Chaco Central

El Chaco Central está caracterizado por su población multiétnica, su clima semi-árido, y su aptitud excelente para la ganadería en base a pasturas implantadas. El uso ganadero representa altos costos de oportunidad para otras formas de uso de la tierra chaqueña, tales como la agricultura, el uso forestal o el ecoturismo que son actividades más riesgosas. Se puede demostrar sistemas de pastoreo totalmente sostenibles y en conformidad con los sistemas ecológicos exigidos de un ecosistema tan importante como el Chaco (Glatzle 2006).

El gran Chaco semiárido y subhúmedo es una de las regiones que ha sufrido un fuerte impacto por la expansión agropecuaria, a través del desmonte y la siembra directa de la soja en el país. En este contexto, la ganadería ha comenzado a ocupar ambientes con mayores restricciones, con exceso o déficit hídrico y con presencia de sales. En esta región existen varios millones de hectáreas con suelos afectados por sales y sodio aptos climáticamente para la ganadería y sobre los cuales se podría incrementar la producción forrajera en cantidad y calidad, y mejorar los índices productivos de los sistemas ganaderos. Son varios los factores que se deben tener en cuenta en el manejo de los ambientes salinos, como la elección adecuada de la especie forrajera a implantar; manejo del suelo, del ambiente y manejo de la pastura bajo pastoreo (Pérez et al. 2014).

La Asociación Rural del Paraguay (ARP 2017) sostiene que la ganadería es una actividad tradicional y constituye un importante rubro para el desarrollo del Paraguay. La industria de la carne es uno de los sectores económicos más dinámico, siendo el segundo más importante en ingresos por exportaciones del país. El sector representa el 12,1% del PIB, emplea a más de 358.000 personas o alrededor de 11,3% de la fuerza laboral y representan entre el 15 – 20% de los ingresos por exportaciones del país. Hay más de 150,000 hatos ganaderos en el país, con 13,9 millones de cabezas de ganado. Éstos se extienden por todo el país con la excepción de la frontera semi-árida seca con Bolivia.

La misma fuente menciona que, alrededor del 60% del área del país, o 26 millones de hectáreas son aptas para la producción ganadera, la mayoría son pastizales naturales (10,6 millones de hectáreas) y bosque nativo (10 millones de hectáreas), mientras que 5,6 millones de hectáreas son cubiertos con pastos cultivados/mejorados. Alrededor del 43% del ganado se encuentra en la Región Oriental y el 57% en la Región Occidental-Chaco, siendo esta última la zona donde está ocurriendo la mayor parte de la nueva expansión y crecimiento. En los últimos 5 años el aumento del hato en la Región Oriental fue de 2,5% mientras que en el Chaco fue de 5%.

La ganadería se caracteriza por utilizar aquellos suelos de menor valor productivo y a su vez, en ellos se incrementan la degradación de la cobertura vegetal, la erosión hídrica y eólica, la salinización, la acidificación, el deterioro físico, químico y biológico del suelo, todos a su vez, contribuyen inevitablemente a la pérdida de su fertilidad y por tanto, de su productividad (Mejías 2016).

2.2 Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo

Según estimaciones de la FAO, más de 2 millones de km² de la superficie terrestre, repartidos por todo tipo de zonas climáticas, están destinados al aprovechamiento ganadero de forma extensiva. La evaluación de la calidad de los suelos sometidos o vulnerables a amenazas como la degradación, entendiendo ésta última como procesos negativos que disminuyen su capacidad productiva, se ha de

basar necesariamente en indicadores que puedan ser interpretados fácilmente (Fernández 2014).

López et al. (2018), mencionan que las propiedades físicas del suelo poseen gran importancia como reguladoras de varios procesos que afectan el funcionamiento de los agroecosistemas. Sin embargo, debido a que los problemas físicos son complejos, persistentes y difíciles de solucionar, muchas veces no se reconoce su importancia y sus efectos son atribuidos a otras causas.

Las propiedades físicas de los suelos bajo pasturas son afectadas, entre otros factores, por las operaciones de laboreo y por el pastoreo directo. Este último incluye al pisoteo animal, que es la presión mecánica ejercida por el ganado sobre el suelo, la pastura y la cobertura vegetal. El efecto es más severo en lugares donde el pisoteo se reitera con alta frecuencia y la humedad del suelo es elevada (Zerpa et al. 2013).

Los impactos que genera el mal manejo de las pasturas sobre las propiedades físicas de los suelos demuestran que son varios los factores que contribuyen a la degradación de las mismas, dentro de estas se destacan la secuencia de rotación utilizada, el tiempo de pastoreo de los animales, la cantidad de biomasa del pasto que se encuentra en los potreros durante el ciclo de pastoreo, como así también, el contenido de humedad y textura del suelo entre otras (Conte et al. 2011).

Bonel et al. (2018) mencionan que la compactación del suelo es una limitante que afecta a muchas variables relacionadas con su funcionalidad, y con ello, la productividad de los sistemas de producción. Los impactos negativos que posee sobre la transferencia de agua y gases, perjudican de manera significativa, procesos vinculados con la fertilidad, el enraizamiento, la condición física-mecánica y la actividad biológica.

Un estudio realizado por Conte et al. (2011), donde evaluaron algunas características físicas del suelo de una pastura natural manejada por 22 años con diferentes intensidades de pastoreo, representado por niveles de suministro de forraje de 4, 8, 12 y 16 kg de materia seca por 100 kg de peso de animales vivos. Hubo

cambios en los atributos físicos del suelo, relacionado con la intensidad de pastoreo. Estos cambios se produjeron principalmente en la superficie 0-10 cm, incrementando la densidad del suelo con menor suministro de forraje. La densidad aparente del suelo es una variable sensible, indicadora de la compactación edáfica. En las capas compactadas del suelo esta variable se incrementa en detrimento de la porosidad, hasta alcanzar niveles críticos para la exploración radicular, el ingreso y la circulación del agua y aire (Cholaky y Bonadeo 2018).

Sadeghian (2005), sostiene que la ganadería también puede jugar un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, pudiendo renovar o reponer una fracción sustancial de los nutrientes del suelo por medio de sus desechos, y por consiguiente reducir la necesidad de aplicar fertilizantes inorgánicos. Es difícil estimar los beneficios económicos del mejoramiento de la estructura del suelo como un resultado de la adición de materia orgánica. Sin embargo, a nivel general se puede afirmar que la adición de fertilizantes orgánicos incrementa la capacidad de intercambio catiónico y mejora las condiciones físicas por el incremento de la capacidad de retención de agua y por ende la estabilidad estructural del suelo.

El mismo autor afirma que pese a la importancia del tema, han sido pocos los esfuerzos para determinar el impacto de la ganadería sobre el suelo y, aunque actualmente existen alternativas tecnológicas más racionales, el nivel de su adopción ha sido relativamente bajo. El establecimiento de los sistemas ganaderos afecta la biodiversidad, modifica el balance de los nutrientes, aumenta la compactación del suelo en un tiempo relativamente corto (menor que 2 ó 3 años), reduce el volumen de los espacios porosos, disminuye la velocidad del flujo del agua y propicia la erosión (Senra 2009).

Según Mejías (2016), el estudio del suelo se ha centrado en las propiedades químicas del mismo, en la aplicación de enmiendas que permitieran la recuperación de su potencial productivo, el manejo del suelo para su corrección de la pérdida de fertilidad desde la parte química y no directamente sobre las causas que están vinculadas al deterioro del suelo. Durante la última década, las investigaciones

revelaron que los indicadores físicos y biológicos del suelo poseen mayor peso en la variabilidad de los sistemas ganaderos, debido, al efecto que ejerce la acción del animal en el sistema y el papel de la biota edáfica en la formación y estructura de los agregados del suelo, la disponibilidad de nutrientes, los espacios porosos, la profundidad efectiva, la densidad aparente, la fitomasa subterránea, el ciclo del carbono y su almacenamiento en el suelo, entre otros.

2.3 Degradación del suelo en sistemas de pastoreo

Senra (2009), menciona que el mal manejo de las pasturas es una de las causas principales de la degradación de los pastos y el suelo, lo que conlleva a una baja eficiencia en los sistemas de explotación de bovinos basados en pastoreo. Las pasturas con manejos inadecuados ocasionan un deterioro del recurso suelo, provocando limitaciones en las características físicas y químicas del mismo. Las áreas de pastoreos de animales con manejos inapropiados, por lo general sin rotación y con exceso de animales, es común la presencia de capas compactadas por el pisoteo animal (Cavallini et al. 2010).

El monitoreo de indicadores de riesgo tales como pérdida de vigor del pasto, establecimiento de especies indeseables, incremento en tamaño y conectividad de manchones con suelo desnudo, pérdida de estabilidad en agregados de suelo, deberían alertar sobre la necesidad de implementar acciones de manejo preventivas con el fin de impedir la ocurrencia de cambios indeseables e irreversibles en la estructura y funcionamiento del pastizal (Distel 2013).

Las ventajas del manejo de pasturas se relacionan con mejorar su sostenibilidad y la de los suelos, lo que resalta la importancia del buen manejo del pastizal como la base fundamental de las medidas que se deben tomar a tiempo para evitar disminuir o recuperar el sistema de pastura de efectos negativos (Senra 2009).

Medina (2016) menciona que el pisoteo de los animales durante el proceso de pastoreo, favorece la compactación de los suelos principalmente de las capas superficiales, afectando el hábitat de los microorganismos del suelo y la productividad de la pastura. En general, el pisoteo de los animales compacta el suelo en los primeros 15 cm, ocasionando una severa disminución en el movimiento interno del agua y un aumento en la densidad aparente; esto trae como consecuencia una disminución en la porosidad y cambios desfavorables en la relación suelo-agua-aire que afecta el desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad.

Martínez et al. (2010a), evaluaron cuatro niveles de intensidad de pisoteo que fueron nula (A), media (B), alta (C) y muy alta (D), en la misma verificaron que el grupo A presentó el valor de resistencia mecánica del suelo más bajo (4,41 MPa), entre 0 y 10 cm de profundidad; siendo el valor aceptable hasta 2 MPa, valores mayores a este ocasionan limitaciones para un buen desarrollo de la pastura. Así también el menor valor de densidad aparente ($0,98 \text{ g cm}^{-3}$) se obtuvo en el grupo D en las capas de 0 y 10 cm.

Martínez et al. (2010b), al evaluar el proceso de infiltración del agua en el suelo para cuatro intensidades de pisoteo: nula (testigo), media, alta y muy alta, constataron que la tasa de infiltración disminuyó a la mitad de su valor en los sectores con muy alta carga animal respecto del suelo testigo.

Queirolo et al. (2008), evaluaron la producción de forraje en pastoreo de avena-negra (*Avena strigosa* Schreb) y acevén (*Lolium multiflorum* Lam), los tratamientos consistieron de cuatro alturas de manejo del pastoreo (10; 20; 30 y 40 cm). La masa seca del pasto aumentó de forma lineal de acuerdo con la altura del pasto, una vez que, para cada cm de aumento en la altura superior a 10 cm, la materia seca aumentó aproximadamente 90 kg ha^{-1} . No hubo efecto de la altura de pastoreo en la producción total de forraje con una media de $10.721 \text{ kg ha}^{-1}$.

En una investigación realizada por Lozano et al. (2010), se evaluó cambios en las propiedades químicas de un suelo luego de la implantación de pasturas

mejoradas, usaron los cultivos de cobertura como *Brachiaria dictyoneura* y *Centrosema macrocarpum*, los cuales fueron comparados con la vegetación de la sabana natural. Se evaluó el pH, acidez intercambiable, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y azufre disponibles. Los resultados mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos por efecto de la pastura introducida y la profundidad de muestreo; estas diferencias se asociaron al efecto de la cantidad y calidad de las coberturas sobre el pH y extracción de nutrimentos.

2.4 Degradación de pasturas en sistemas ganaderos

La degradación de pasturas es un proceso evolutivo de la pérdida del vigor, productividad y su capacidad de recuperación natural, tornándose incapaz de sustentar la producción en calidad y cantidad exigidas por los animales (Cavallini et al. 2010). Una de las causas fundamentales de la baja productividad del ganado se relaciona con la baja calidad de los pastizales y su alto nivel de degradación que se relaciona, de acuerdo con Senra et al. (2005), con no aplicar algunos principios fundamentales de pastoreo que pueda ser eficiente y sostenible.

La degradación de los sistemas ganaderos, requiere precisar si se trata de la degradación del pasto o el suelo integralmente, es posible que el pasto se degrade; pero el suelo aún no ha sufrido las consecuencias del mal manejo del pasto, lo que se podría evitar mediante la aplicación de medidas adecuadas (Senra 2009).

La conservación del suelo contribuye al mantenimiento de su salud y calidad, lograr que funcione adecuadamente se manifiesta mediante el estado de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que permite obtener una productividad sostenible. La conservación del suelo en áreas dedicadas a la ganadería tiene como objetivo realizar prácticas de manejo que permitan detener la degradación de este recurso o recuperar sus características en un rango que no afecte la producción y la calidad de la pastura (Mejías 2016).

La degradación del pastizal se produce por la aplicación de tecnologías y estrategias de manejo que no están en armonía con el ambiente, y sin los controles sistemáticos y ajustes necesarios en sus índices fundamentales de sostenibilidad y eficiencia, con el consiguiente riesgo de degradación del suelo (Senra 2009).

2.5 Sistema de pastoreo

Según Teuber y Parga (2003), un adecuado sistema de pastoreo es aquél que permite optimizar la producción de forraje de alta calidad y maximizar su consumo por los animales. Parga (2003), menciona que el manejo de pastoreo es uno de los factores relevantes en la gestión técnico-económica de las explotaciones ganaderas, por una parte afecta la producción y persistencia de la pradera, por otro lado, controla la disponibilidad y la calidad del pasto ofrecido a los animales. En este sentido, decisiones de manejo tales como la frecuencia y la intensidad de pastoreo resultan clave para permitir una elevada producción de carne por animal y por hectárea, repercutiendo en la eficiencia y rentabilidad global de la explotación. El momento o frecuencia de utilización y la intensidad de pastoreo influyen directamente en los procesos de crecimiento y pérdida de hojas, determinando en gran medida la producción neta de la pradera.

El nivel de fertilidad del suelo, la condición ecológica y las características del clima definen la productividad de las praderas en cualquier ecosistema (Teuber y Balocchi 2003). El rendimiento de los animales en pastoreo depende principalmente de la cantidad y de la calidad del forraje que logran consumir, lo que finalmente determina la ingestión de nutrientes. Varios factores afectan el consumo en pastoreo, los que se relacionan con las características del animal, de la pradera y del ambiente (Parga 2003).

2.6 Sistema de pastoreo rotativo

Es un método o manejo que consiste en imponer una secuencia regular de ocupación y descansos sobre una serie de áreas de pastoreo. La característica

rotacional introduce el tiempo como variable de manejo tanto para la duración del pastoreo como para el intervalo de rebrote de cada subdivisión. El número de animales pastoreando por cada subunidad puede ser fijo o variable (Ferri et al. 2015).

Ortíz y Soto (2006), mencionan que los sistemas rotativos son aquellos que luego del pastoreo permiten a la pastura descansar por un periodo de tiempo lo suficientemente largo como para que las plantas recuperen sus reservas y puedan volver a rebrotar. El pastoreo rotativo consiste en subdividir un campo o potrero en varias parcelas que serán pastoreadas sistemáticamente de modo que mientras una parcela es pastoreada las demás permanecen sin ocupación.

Según Pinheiro (2016), el tiempo de reposo de un potrero es el lapso de tiempo que transcurre entre la salida del ganado de un potrero y la entrada del mismo nuevamente a ese potrero. Entre la salida del ganado y la nueva ocupación, la pastura del potrero permanece en reposo, sin animales de modo a poder recuperarse de la defoliación.

El descanso óptimo varía según el tipo de pastura, la intensidad del pastoreo y la estación del año. Es importante tener en cuenta que las rotaciones muy aceleradas con descansos muy cortos llevan a una menor producción de la pastura por debilitamiento de las plantas, mientras que las rotaciones demasiado largas con mucho descanso llevan a una pérdida de calidad de la pastura por madurez de la planta y mayor grado de senescencia del forraje. Para que se acumule suficiente cantidad de forraje los descansos deben ser relativamente largos en periodos de bajo crecimiento forrajero, en cambio en épocas de alto crecimiento vegetal deben ser más cortos para que la pastura acumulada no se encañe y pierda calidad (Ortíz y Soto 2006).

El tiempo de permanencia es el periodo de tiempo en el cual es pastoreada por el ganado cada potrero (Pinheiro 2016). Cuanto más corto es el tiempo de permanencia mayor y más uniforme es la producción animal ya que al inicio del pastoreo los animales despuntan la pastura y consumen aquellas partes de la planta de mayor digestibilidad. A medida que transcurre el pastoreo disminuye el forraje en

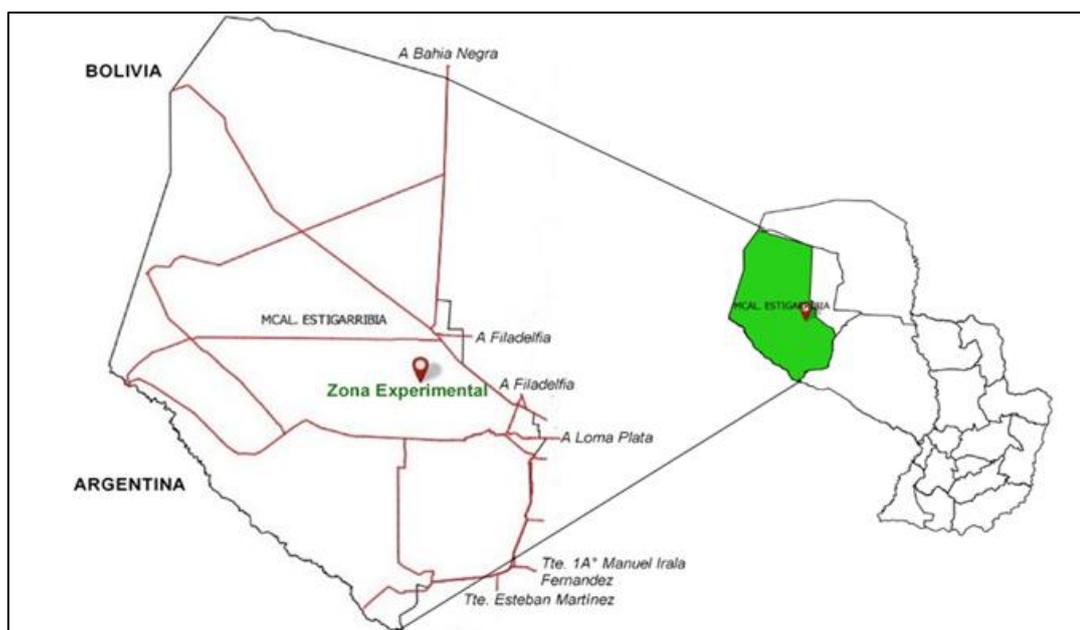
menor cantidad y calidad, así, con el paso del tiempo se va reduciendo la disponibilidad de forraje por unidad de superficie y por animal, lo cual afecta el tamaño y peso del pasto, reduciéndose así el consumo voluntario. El tiempo de pastoreo de cada parcela debería ser lo suficientemente corto como para que el rebrote no se encuentre disponible para ser cosechado (Ortíz y Soto 2006).

El tiempo en que los animales permanecen sobre un potrero antes de pasar a la siguiente, puede variar desde menos de 24 horas hasta un máximo de 2 días en primavera y de 4 días en invierno. Tiempos de utilización más largos perjudicarán el rendimiento y la persistencia de la pradera, debido al re-pastoreo del rebrote. Entre los aspectos más importantes del manejo del pastoreo rotativo, están el control permanente de la frecuencia y de la intensidad de utilización, éstas determinan la cantidad o disponibilidad de forraje (Teuber y Parga 2003). Según Ortíz y Soto (2006), cuando la permanencia supera los 10 a 14 días son muchas las posibilidades que una misma planta sea cortada 2 veces o mas por el diente de los animales, lo cual reducirá el siguiente rebrote y por ende la producción de la pastura.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y caracterización del área experimental

El estudio se realizó en un establecimiento ganadero, ubicado en la Colonia Campo Loa, Picada Ancha I y II situado al noroeste de la Región Occidental del Paraguay en el distrito Mariscal Estigarribia, Departamento de Boquerón, Chaco Central (Figura 1). El establecimiento denominado Ganadera Picada Ancha está ubicado a 150 km de Filadelfia y a 560 km aproximadamente de Asunción, entre los paralelos 22°20'20.5" latitud Sur y entre los meridianos 60°40'31.4" de longitud Oeste (Datum WGS 84). La ganadera cuenta con más de 4.000 ha de pasturas implantadas, primariamente con *Megathyrsus maximus* cv *Gatton panic*, y 3.000 ha de reserva de bosque nativo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Ubicación del área experimental en el Distrito Mariscal Estigarribia-Departamento Boquerón, Chaco Central.

Según el Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR), el suelo del área experimental presenta una textura Franco Arenosa de acuerdo al análisis de textura (Cetapar 2019), y está clasificado como un Luvisol haplico-Cambisol eutrico (LVh-CMe) según SARO (2009). Suelos que presentan cambios de color, estructura y consistencia. Es un suelo que muestra evidencias de alteración en el sub suelo. Tiene una saturación con bases de 50 % o más en alguna profundidad desde la superficie del suelo. Presenta diferenciación edafogenética en el contenido de arcilla, con un menor contenido en la capa superior y un mayor contenido en el suelo subsuperficial sin lixiviación marcada de cationes básicos (FAO 2014).

En relación con el histórico del uso del suelo del área experimental, se destaca el hecho de que el establecimiento ganadero se encuentra dividido en potreros con fines de aprovechamiento comercial. En cuanto al clima, la temperatura media anual es de 25°C. El régimen de precipitaciones de la zona va de 350 y 850 mm año⁻¹.

En la Figura 2 se observa el régimen de precipitaciones ocurrida en la zona de Mariscal Estigarribia, Departamento de Boquerón, durante el periodo de la ejecución del experimento (Enero de 2018 hasta marzo de 2019), donde las mayores precipitaciones registradas fueron en los meses de febrero y noviembre del 2018 y marzo del 2019, con promedios de 180,2; 238,4 y 177,3 mm respectivamente, siendo estos valores muy superiores a las medias históricas registradas para esos meses (1 A).

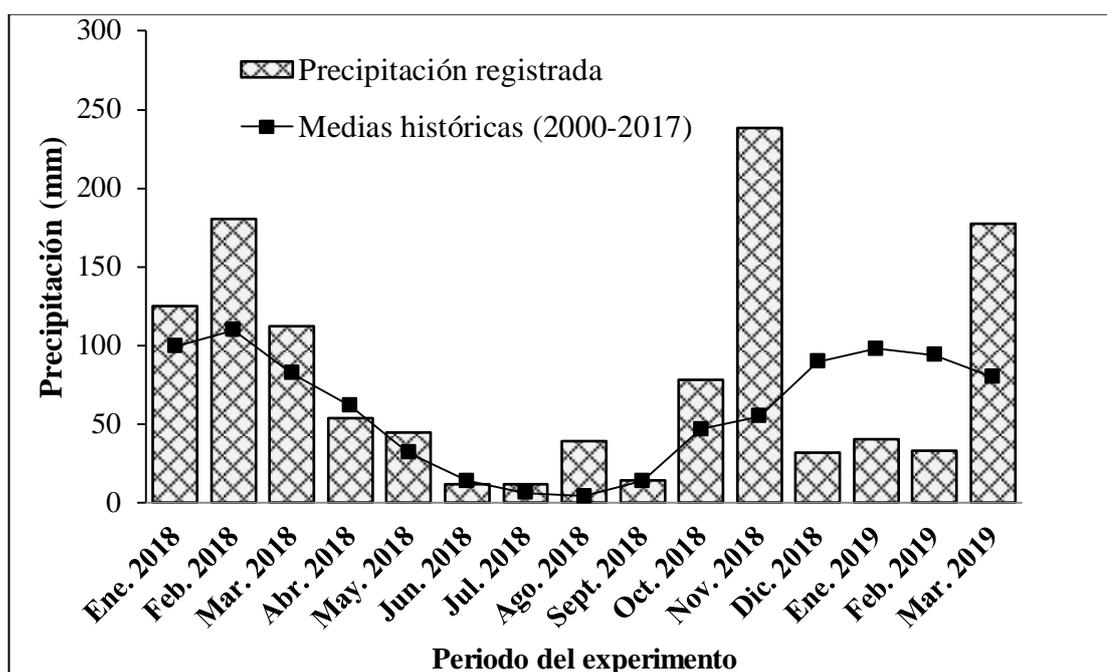


Figura 2. Representación mensual de las precipitaciones ocurridas durante el periodo experimental (Enero de 2018 a marzo de 2019) y medias históricas. Fuente: Meteomanz.com. 2019. Estación meteorológica: Mariscal Estigarribia, Boqueron, Paraguay.

3.2 Diseño experimental y tratamientos

La investigación fue desarrollada en un cuasi experimento y se realizó bajo un esquema de un diseño completamente al azar, evaluando diferentes sistemas de manejo de pastoreo rotativo del ganado bovino sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, algunas características agronómicas de la pastura y la ganancia de peso del ganado. Se evaluarán 3 sistemas de pastoreo en la investigación, que consistieron en la combinación de: variaciones de superficie, tiempo de pastoreo y tiempo de descanso de cada sistema (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de la investigación.

Sistema de Rotación	Tiempo de pastoreo (días)	Tiempo de descanso (días)	Área de Potreros (ha)	N° de potreros (repeticiones)
Pastoreo Rotativo Leve (PRL)	8	24	50	4
Pastoreo Rotativo Moderado (PRM)	4	28	25	8
Pastoreo Rotativo Intensivo (PRI)	2	30	12,5	16

3.3 Población de unidades

Durante la investigación se trabajó con dos años ganaderos que corresponden a los periodos de 2017/2018 y 2018/2019. Para los dos años ganaderos se contó con diferente cantidad de cabezas. Para el año ganadero 2017/2018 se trabajó con 295 cabezas ($0,73 \text{ UA ha}^{-1}$) para cada sistema en estudio y 350 cabezas ($0,78 \text{ UA ha}^{-1}$) para el año ganadero de 2018/2019. Los animales corresponden a la categoría toros de la raza Brangus de aproximadamente 200 kg peso vivo por animal en el primer año ganadero, una vez alcanzado el peso ideal para faena (peso promedio 400 kg) se retiró de los potreros para su venta y nuevamente otro grupo de animales de la misma categoría con peso vivo promedio de 180 kg fue sometido en el segundo año al sistema de pastoreo rotativo, todos los sistemas de pastoreo tuvieron el mismo manejo.

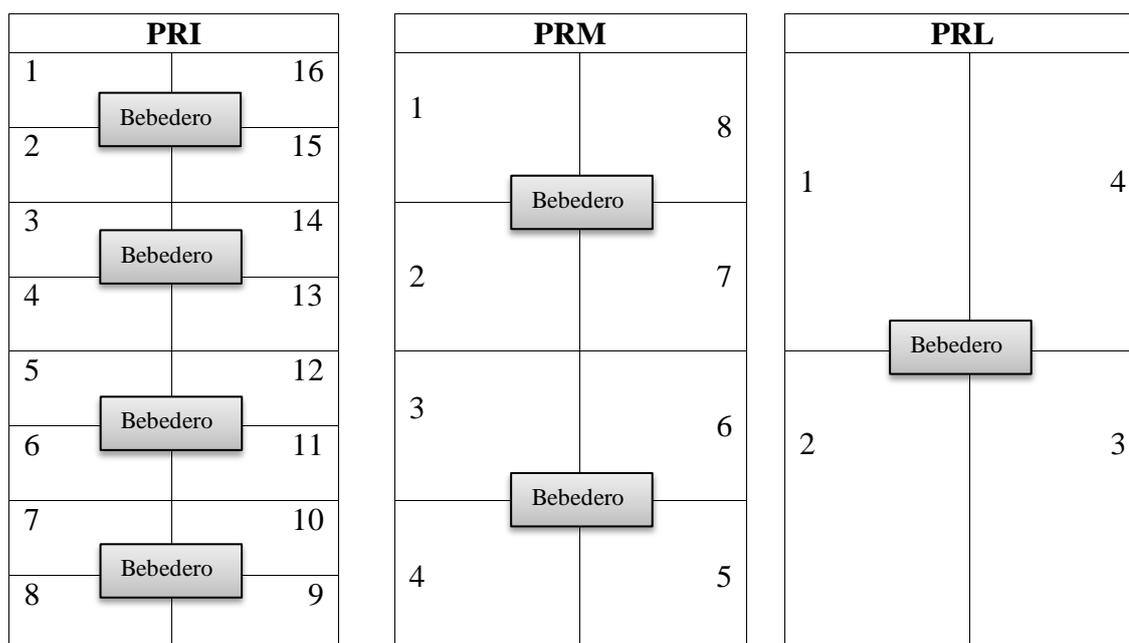


Figura 3. Esquema de los tratamientos con sus respectivas repeticiones, distribución de las unidades experimentales en el campo.

PRL= pastoreo rotativo leve. PRM= pastoreo rotativo moderado. PRI= pastoreo rotativo intensivo

En la Figura 3 se presenta el esquema del experimento, donde cada sistema de pastoreo con sus respectivas repeticiones estuvo compuesta por una superficie de 200 hectáreas, en cada sistema se trabajó con diferentes números de repeticiones, se

contó con un bebedero instalado en el centro cada cuatro potreros, de modo que cada potrero contó con acceso a la misma.

3.4 Implantación y manejo del experimento

Al inicio de la investigación se procedió a la identificación de los potreros que se encontraron ya instalados y divididos. Las coordenadas de los potreros fueron cargadas a un receptor GNSS y posteriormente identificadas a campo. Las unidades de observación con sus respectivas repeticiones tuvieron una superficie total de 600 hectáreas, cada sistema de pastoreo considerando las repeticiones contó con un área de 200 hectáreas.

La investigación se desarrolló sobre pasturas implantadas de *Megathyrsus maximus* cv *Gatton panic* en el año 2004 y aprovechadas con pastoreo extensivo de bovinos. El manejo del ganado fue igual en todos los tratamientos, recibiendo las sanitaciones debidas.

3.5 Descripción de las variables evaluadas

3.5.1 Propiedades físicas del suelo

Resistencia mecánica del suelo a la penetración (RMSP): la evaluación de esta variable se realizó en el primer año ganadero, a los 8 meses después del ingreso de los animales al ciclo de pastoreos, esta medición fue realizada por medio de un penetrometro electrónico de accionamiento manual, de la marca Eijkelkamp, modelo Pentrologger 06.15.AS, equipo con un sistema de adquisición y procesamiento automático de datos de resistencia, en forma gráfica y numérica en tiempo real. Se efectuó 20 mediciones (penetradas) en cada unidad en estudio, las mismas fueron tomadas en zig-zag y los datos se expresaron en MPa. La resistencia mecánica del suelo a la penetración (RMSP) fue analizada cada 5 cm.

Contenido de agua en el suelo: esta medición fue realizada al momento de hacer la evaluación de la resistencia mecánica del suelo a la penetración a través de un sensor tipo ondas electromagnéticas, acoplada al penetrometro electrónico. La evaluación se realizó a una profundidad de 0-10 cm de cada punto en donde fue determinada la resistencia mecánica del suelo a la penetración.

Densidad aparente del suelo: la determinación de esta variable se realizó a los 12 meses del ingreso de los animales en el ciclo de pastoreo rotativo del primer año ganadero considerado, la misma fue realizado con el método del cilindro. Se extrajo muestras de suelo sin disturbar en 3 profundidades de 0-10; 10-20 y 20-30 cm, de cada potrero se extrajo 6 muestras de las tres profundidades utilizando cilindros de acero inoxidable siguiendo la metodología del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA 2000).

Para realizar el muestreo se introdujo los cilindros en el suelo, las mismas fueron extraídas con la utilización de una pala. Con un cuchillo se cortó en capas delgadas el suelo sobrante de los extremos del cilindro, la muestra se transfirió a bolsas de polietileno debidamente identificadas e impermeabilizado a fin de mantenerlas inalteradas. Posteriormente fueron llevadas a estufas a 105 °C durante 48 horas para su secado, al extraer las muestras secas de la estufa se pesaron y luego fue calculada la densidad aparentes del suelo de cada muestra colectada a campo (Ecuación 1).

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Masa seca del suelo (g)}}{\text{Volumen del cilindro(cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

Porosidad total del suelo: esta variable se evaluó a partir de la relación de la densidad aparente y la densidad real del suelo utilizando la Ecuación 2:

$$P = \left(\frac{D_a}{D_r} \right) \left\{ 1 \times 100 \right\} \quad (2)$$

Dónde:

P = Porosidad total (%)

D_{ap} = Densidad aparente (g cm^{-3})

D_r = Densidad real (g cm^{-3})

Velocidad de infiltración del agua en el suelo: para esta evaluación se utilizó el método del cilindro reducido, siguiendo la metodología del USDA (2000). La evaluación de esta variable fue realizada en dos momentos, a los doce meses del ingreso de los animales en el ciclo de pastoreo del primer año ganadero y a los 7 meses del ingreso de los animales del segundo año ganadero. La cantidad de repeticiones por cada potrero fue de nueve cilindros, de los cuales se realizó una media por potrero y comparadas entre los mismos para ver el efecto de los sistemas de pastoreos en estudio.

3.5.2 Propiedades químicas de suelo

Esta evaluación se realizó 2 veces durante la investigación (febrero 2018 y marzo 2019). Se procedió a la toma de 20 submuestras de suelo de cada unidad en estudio para determinar las características químicas del suelo de cada potrero, la misma fueron realizadas en forma de zig-zag, a una profundidad de 0 – 20 cm. Las submuestras colectadas fueron depositadas en un balde y mezcladas con el fin de dejarlos bien homogéneas y así obtener una muestra compuesta. Posterior a la mezcla se procedió a extraer de la misma una muestra de 500 g la misma fue enviada a un laboratorio de suelos para su análisis.

Las características químicas del suelo determinados fueron: acidez activa (pH) en H_2O y CaCl_2 , contenido de materia orgánica (MO), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio intercambiable (K), fósforo disponible (P), acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), % de saturación de bases (V) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo.

3.5.3 Parámetros agronómicos del pasto

Altura pre-pastoreo: se realizó la evaluación de la altura del pasto de los potreros previo al ingreso de los animales (un día antes), se realizó la medición de la altura de 20 plantas de forma al azar por cada unidad experimental.

Altura pos-pastoreo: de la misma manera, se realizó esta evaluación en los potreros donde estuvieron pastoreando los animales, teniendo así la altura del pasto a la salida de los animales de los potreros.

Producción de materia seca del pasto: al igual que la altura del pasto se realizó esta evaluación del antes y después del ingreso de los animales a los potreros, en donde fueron seleccionadas 5 puntos por cada unidad en estudio dentro de los potreros a través de cuadros muestreadores de pastura (1 m²), la misma se cortó a 5 cm del suelo y se pesaron a campo con ayuda de una balanza digital (dinamómetro) de la cual se tomó una submuestra por cada unidad evaluada, las mismas fueron llevadas a estufa a 65°C por 72 horas. Posteriormente las mismas fueron pesadas determinando la materia seca. Los resultados obtenidos fueron extrapolados a cantidad de MS ha⁻¹ mediante la obtención del porcentaje de MS en relación a la cantidad de materia verde por hectárea.

3.5.4 Ganancia de peso de los animales

En esta variable se evaluó la ganancia de peso del total de los animales que van rotando en cada potrero. Se trabajó con dos años ganaderos correspondientes al 2017/2018 y 2018/2019, la cantidad de cabeza de animales que ingresaron en los potreros fue diferente en ambos años ganaderos, siendo 295 cabezas (0,73 UA ha⁻¹) para el primer año ganadero y 350 cabezas (0,78 UA ha⁻¹) para el año ganadero de 2018/2019. Los animales fueron pesados cada trimestre realizándose esta evaluación en tres periodos para el año ganadero 2017/2018 y dos del 2018/2019, con el fin de observar la variabilidad de ganancia de peso por cada tratamiento.

3.6 Método de control de calidad de datos

Las mediciones a campo para los diferentes tratamientos se realizaron en condiciones climáticas similares para reducir errores por variaciones de temperatura y humedad, al igual que en el momento de la extracción de muestras de suelo para los análisis en laboratorio.

3.7 Modelo de análisis e interpretación

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza para determinar si hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos de la investigación, a excepción de la variable ganancia de peso de los animales, en el cual se realizó estadística descriptiva. Con aquellos resultados que arrojaron diferencias estadísticas significativas se procedió a realizar la comparación de medias, utilizando el test de Tukey al 5% de probabilidad de error y análisis de regresión. Los resultados fueron presentados e interpretados utilizando tablas y figuras.

En la variable ganancia de peso de los animales no se tuvo repeticiones, por consiguiente, se realizó una estadística descriptiva de las evaluaciones realizadas de cada sistema de pastoreo en estudio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades físicas del suelo

4.1.1 Resistencia mecánica del suelo a la penetración

La resistencia mecánica del suelo a la penetración (RMSP) determinada hasta una profundidad de 80 cm, muestra que hay diferencias significativas ($p < 0,05$) en las profundidades de 0-5 y 5-10 cm en estas camadas el PRI presentó mayor RMSP (Figura 4, 2 A). Los valores registrados fueron del orden de 0,65 y 0,88 MPa; 0,84 y 1,03 MPa y 0,84 y 1,12 MPa; para los sistemas de PRL, PRM y PRI respectivamente.

Estos resultados se podría atribuir a las superficies de los potreros, ya que en el PRI los potreros fueron menores (12,5 ha) en comparación a los potreros con PRL (50 ha), en consecuencia, la distribución del peso del ganado es 4 veces mayor en el PRL en comparación al PRI, lo que genera que las primeras camadas del suelo se vean afectadas.

En las profundidades de 10 cm a 45 cm no se encontró diferencia significativa (Figura 4, 2 A), sin embargo, a partir de los 45 hasta los 80 cm sí se registraron variaciones de la RMSP a nivel estadístico ($p < 0,05$), a diferencia de lo observado en las primeras camadas los mayores niveles de RMSP fueron encontrados en los potreros con PRL, con valores de 1,36; 1,49; 1,53; 1,48 y 1,45 MPa, ya para el PRI fueron registrados valores de 1,03; 1,03; 1,01; 0,98 y 0,96 MPa y de 0,97; 0,97; 0,99; 1,01 y 0,99 MPa para el PRM.

En ese sentido, Laureda et al (2016) mencionan que generalmente es aceptado que valores de RMSP de 1,5 MPa reducirían el crecimiento de las raíces, y de 2 o más MPa lo impedirían. Por su parte Treadghill citado por Balbuena et al. (2003) sostiene que valores de RMSP de 1,5 MPa retrasa el crecimiento radicular de las plantas, mientras que valores de 2 a 2,5 MPa pueden detener el mismo. De acuerdo a esto podemos afirmar que la RMSP están entre los rangos adecuados para un buen desarrollo radicular de pasto.

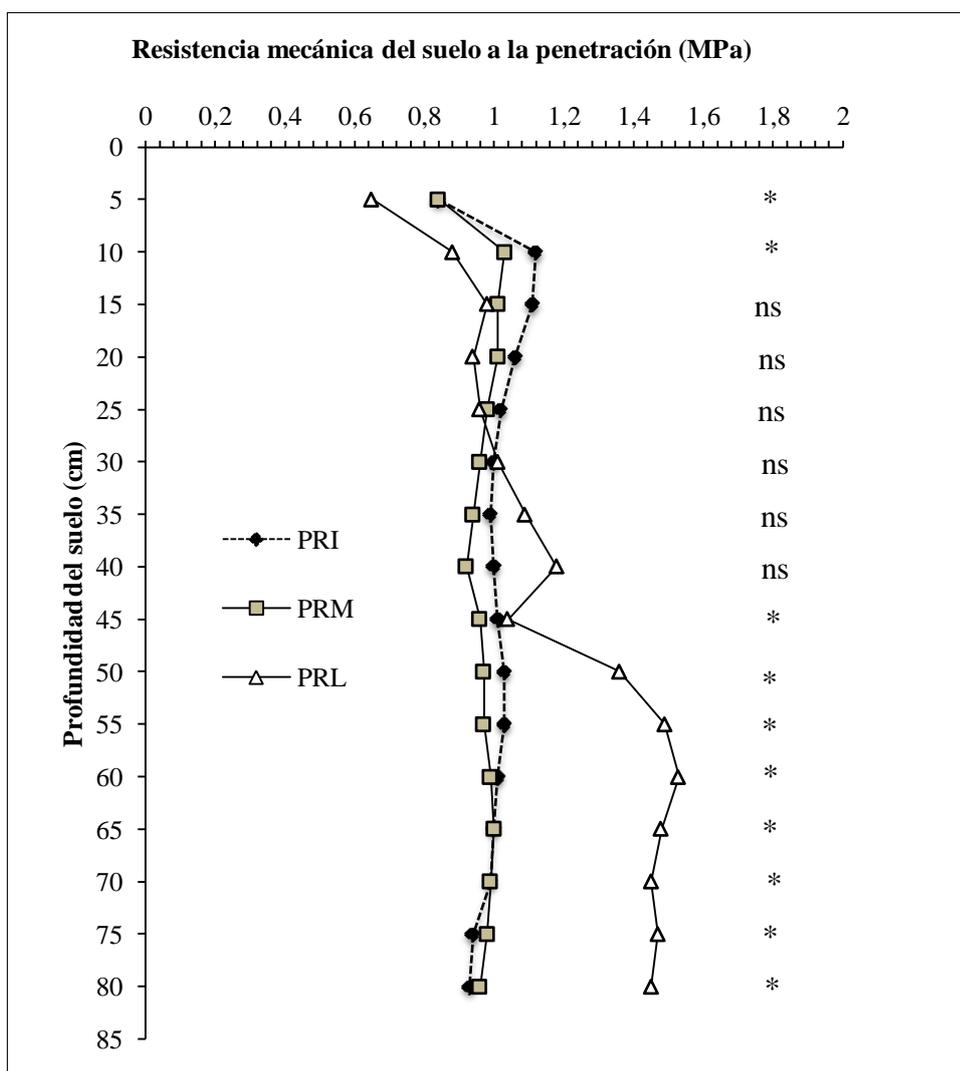


Figura 4. Resistencia mecánica del suelo a la penetración bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2019.

* Diferencia significativa. Ns: diferencia no significativa entre sí por teste de Tukey con probabilidad de error de 5%.

PRL= pastoreo rotativo leve. PRM= pastoreo rotativo moderado. PRI= pastoreo rotativo intensivo

Los resultados mencionados pueden deberse al tiempo de permanencia de los animales en los potreros, siendo, en el PRL donde los animales permanecieron un tiempo de 8 días y en el PRI solamente 2 días de pastoreo, lo que afecta la RMSP en las profundidades mayores, como así también, se puede considerar el tiempo en que los potreros permanecen en descanso (sin ser pastoreadas), lo que le permitiría al suelo recuperarse del pisoteo realizado por los animales. En ese sentido, el tiempo de descanso de los potreros del PRL fue de 24 días y del PRI 30 días, por consecuente, el suelo en donde los animales permanecieron por más tiempo de ocupación es el que tuvo menos días de descanso, por lo tanto, menor es el tiempo de recuperación del suelo por el pisoteo sufrido.

Resultados similares observaron Krüger et al. (2008), quienes en un estudio buscaron caracterizar la variación de la RMSP de la camada 0 a 20 cm de profundidad, con dos rotaciones con y sin pastoreo directo, donde trabajaron con dos tratamientos: (a) Agrícola, que no incluyó pastoreo y (b) Mixta que incorporó un cultivo de avena pastoreado por novillos de 350 a 400 kg (25 cabezas ha⁻¹) previo al siguiente cultivo. Luego del pastoreo de avena, la RMSP fue mayor donde hubo pastoreo animal que la de agrícola en toda la capa, con picos en 2,5-7,5 cm; la RMSP llegó a valores de 2,5 MPa luego del pastoreo animal. Estos valores son superiores a lo encontrado en la investigación.

En un trabajo realizado por Martínez et al. (2010a) encontraron efectos similares al presente experimento, quienes compararon la RMSP en dos profundidades para cuatro niveles de intensidad de pisoteo animales por mes. El grupo testigo presentó el valor de RMSP más bajo para la profundidad de 0 y 10 cm (4,41 MPa). Los valores mayores de RMSP se encontraron en el grupo de intensidad de pisoteo alta entre 0 y 10 cm de profundidad, alcanzando niveles mayores a 7 MPa.

4.1.2 Contenido de agua en el suelo

Los resultados obtenidos muestran que existe diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los sistemas de pastoreos rotativos evaluados (Figura 5, 3 A).

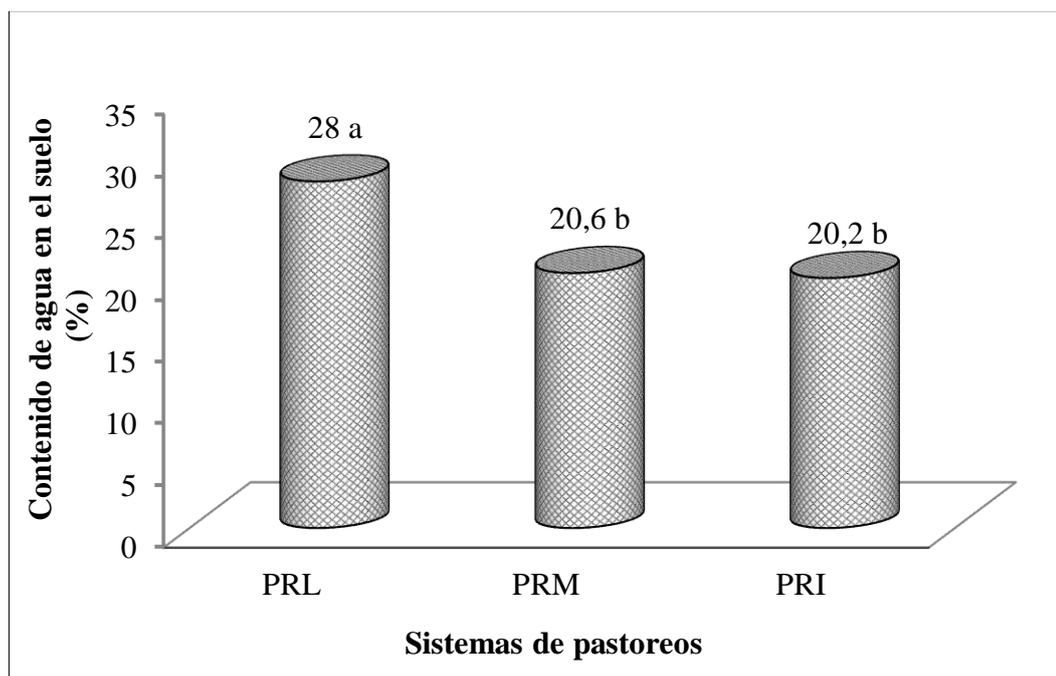


Figura 5. Contenido de agua en el suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2019.

Medias seguidas por diferentes letras difieren estadísticamente entre sí por teste de Tukey con probabilidad de error de 5%.

PRL= pastoreo rotativo leve. PRM= pastoreo rotativo moderado. PRI= pastoreo rotativo intensivo

Estos resultados pueden atribuirse al tiempo que transcurrió para la evaluación de un sistema al otro, considerando que la superficie de cada potrero es diferente y las mismas son áreas grandes, entonces, el tiempo transcurrido para la evaluación de un sistema al otro pudo influir en el contenido de humedad en el suelo, donde el primer potrero evaluado fue el del PRL y después de dos días fueron evaluados el PRI y PRM y considerando que las temperaturas de la zona del experimento son en promedio altas lo que probablemente provocó que la humedad del suelo sufra fluctuaciones muy notorias en pocos días.

Taboada y Micucci (2009), evaluaron durante un año las variaciones de un conjunto de propiedades físicas de suelo en sistemas apareados manejados con pastoreo continuo (PC; carga promedio de = 0,5-0,7 cabezas ha^{-1} año $^{-1}$) y con pastoreo rotativo (PR; carga instantánea = 30-40 cabezas ha^{-1} cada dos meses), en suelos ubicados en posiciones de loma, media loma y bajo. De los tres suelos, sólo el

de la loma mejoró su comportamiento físico por el PR. No sólo mantuvo contenidos hídricos gravimétricos 6,7-36% más altos, sino también densidades aparentes hasta 16% más bajas y capacidades portantes hasta 54% más bajas que la situación bajo PC.

4.1.3 Densidad aparente y porosidad total del suelo

No se observaron diferencias significativas por influencia de los sistemas de pastoreos en las tres profundidades evaluadas (Tabla 2, 4 A. y 5 A.). Considerando la textura del suelo del área experimental (franco arenoso) los valores de la densidad aparente del suelo se encuentran en rangos ideales para el óptimo desarrollo radicular de la pastura, teniendo en cuenta que los valores ideales de densidad aparente para un buen desarrollo radicular en un suelo franco arenoso debe ser $< 1.40 \text{ g cm}^{-3}$ y los valores que pueden afectar el crecimiento radicular es de $1,63 \text{ g cm}^{-3}$ y valores $>1.80 \text{ g cm}^{-3}$ restringen el crecimiento radicular (USDA 2000). Por lo tanto, se puede mencionar que los resultados de densidad aparente están más próximos a valores que pueden afectar el crecimiento radicular de la pastura.

Tabla 2. Densidad aparente y porosidad total del suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2019.

Sist. de Pastoreo	Densidad aparente (g cm^{-3})			Porosidad del suelo (%)		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
PRL	1,54 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,57 ^{ns}	41,83 ^{ns}	43,25 ^{ns}	40,98 ^{ns}
PRM	1,55	1,59	1,56	41,53	39,90	51,23
PRI	1,55	1,53	1,57	41,55	42,45	40,90
Media	1,55	1,54	1,57	41,63	41,86	44,37
CV (%)	5,15	4,26	3,81	7,19	5,95	5,45

CV: Coeficiente de variación. ns: Diferencias no significativas.

PRL= pastoreo rotativo leve. PRM= pastoreo rotativo moderado. PRI= pastoreo rotativo intensivo

En relación con la porosidad total del suelo no se observó respuestas significativas (5 A.), donde las medias variaron de 41,63; 41,86 y 44,37% para las profundidades de 0-10; 10-20 y 20-30 cm respectivamente, con coeficientes de

variación de 7,19% para la profundidad de 0-10 cm; 5,95% para la profundidad de 10-20 cm y 5,45 % para la profundidad de 20-30 cm (Tabla 2). La no incidencia de los sistemas de pastoreos en la densidad aparente y porosidad total del suelo puede deberse al óptimo estado de la pastura, considerando los valores de la densidad aparente y la resistencia mecánica del suelo a la penetración los cuales se encuentran en rangos adecuados para el buen desarrollo de la pastura (USDA 2000), reduciendo en gran medida el efecto del pisoteo de los animales al suelo.

Estos resultados concuerdan con lo observado por Denoia et al. (2000), quienes al evaluar el efecto del pisoteo animal sobre algunas propiedades físicas del suelo hubo aumento de la densidad aparente en los tratamientos que soportaron pisoteo en relación con el testigo. Al contrario del experimento mencionado en el presente estudio no se cuenta con un potrero testigo (sin pastoreo animal), el cual serviría para comparar la incidencia del pisoteo animal sobre la densidad aparente del suelo en relación con un potrero no pastoreado.

Resultados contrarios fueron observados por Cabrera et al. (2011) quienes al evaluar el efecto del pisoteo animal sobre algunas propiedades hidrofísicas de un Hapludoll típico implantado con Triticale, mediante un sistema de pastoreo rotativo (7 días de ocupación y 42 días de descanso). El pisoteo animal produjo un aumento significativo en la densidad aparente (Dap) en todos los tratamientos respecto del testigo. Así también, los autores mencionan que además de la carga animal, resulta evidente el efecto del contenido hídrico del suelo al momento del pisoteo sobre el incremento en la densidad aparente, ya que en la condición de pastoreo en suelo seco el aumento de la Dap en relación con el testigo no fue tan marcado como en el pastoreo en suelo húmedo.

Martínez et al. (2010a), evaluaron cuatro niveles de intensidad de pisoteo que fueron nula (A), media (B), alta (C), y muy alta (D), en la misma verificaron que

el menor valor de densidad aparente ($0,98 \text{ g cm}^{-3}$) se obtuvo en el grupo D entre 0 y 10 cm. Las densidades resultaron mayores entre 10 y 20 cm que en superficie, atribuyendo estos resultados al alto contenido de materia orgánica en las capas superficiales del suelo, debido a la alta deposición de estiércol de los animales.

Los resultados de la porosidad difieren de lo observado por Denoia et al. (2000), quienes verificaron la incidencia del pisoteo animal sobre la porosidad total del suelo en un trabajo evaluando parcelas con y sin pisoteo animal, con 52,28% de porosidad total para la parcela testigo, sin pisoteo, y 47,06 % en la parcela con pisoteo animal con vegetación normal en ambos casos con una altura mayor a 10 cm.

4.1.4 Velocidad de infiltración del agua en el suelo

Los valores de la velocidad de infiltración del agua en el suelo se encuentran en la Figura 6, las mismas no arrojaron diferencias significativas en los tres tratamientos en estudio y en los dos momentos de evaluación de esta variable (a los doce meses del ingreso de los animales en el ciclo de pastoreo del primer año ganadero y a los 7 meses del ingreso de los animales del segundo año ganadero), como así también, en la primera y segunda lectura de las mismas (6 A.).

La evaluación de esta variable en los dos momentos presentó una alta variabilidad entre los tratamientos, con valores del coeficiente de variación superiores al 50%. Considerando la metodología seguida del USDA (2000), el tiempo en que transcurrió en ingresar los 444 mL de agua (2,54 cm) en el anillo fue de 8,88 y 3,9 cm h⁻¹ en la primera lectura del 2018, correspondiente a una diferencia de 4,98 cm h⁻¹ entre el PRI y PRL respectivamente y una variación de 3,02 y 1,58 cm h⁻¹ en la segunda lectura del mismo año, con una diferencia de 1,44 cm h⁻¹ para ingresar una pulgada (2,54 cm) de agua en el PRL en comparación al PRI, a lo que se deduce que en las primeras camadas 0-5 cm, el suelo presenta una capa más compactada en el PRL, lo que provoca que el agua tarde más tiempo en ser infiltrada

en ese tratamiento. Esta evaluación fue realizada después de 6 meses de la evaluación de la RMSP donde se observó mayores niveles en el PRI, como así también, el contenido de agua en el suelo al momento de realizar la infiltración el suelo estaba muy seco.

Es importante mencionar que el tiempo de permanencia de los animales en el PRL es de 8 días y en el PRI de 2 días, una diferencia de 6 días en que los animales permanecen pastoreando en el PRL, por tanto, el tiempo en que esos potreros se encuentran con presión por pisoteo animal es mayor, así también, el tiempo de descanso, sin ocupación de esos potreros es menor que el PRI, es decir, los animales vuelven a ingresar en un tiempo más corto en el PRL y el periodo de recuperación por el pisoteo animal en esos potreros es menor.

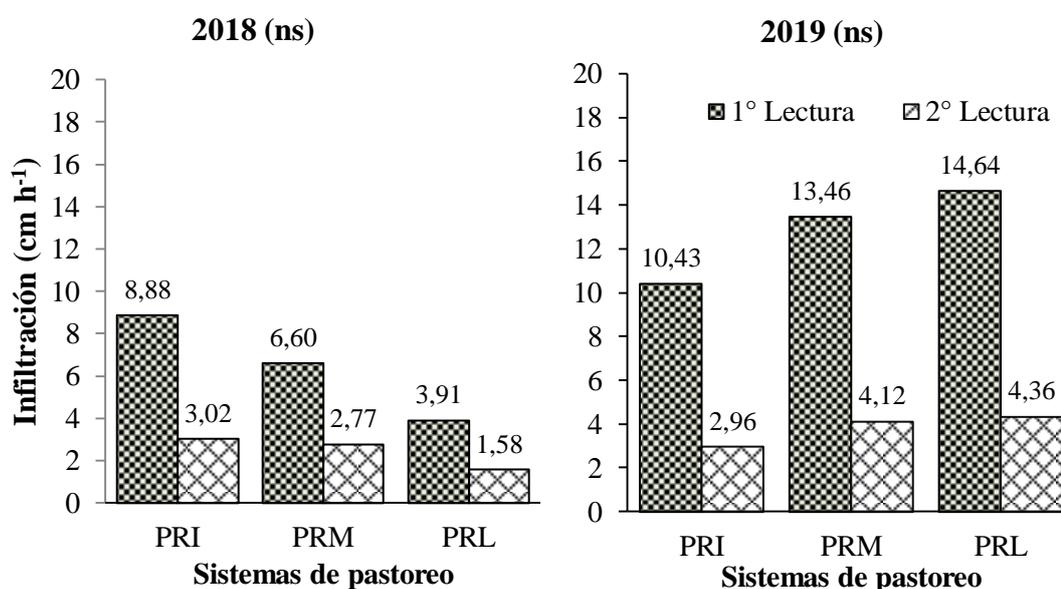


Figura 6. Velocidad de infiltración del agua en el suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2018/2019.

ns: no significativo.

PRL= pastoreo rotativo leve. PRM= pastoreo rotativo moderado. PRI= pastoreo rotativo intensivo

Similares resultados fueron observados en la evaluación realizada en el 2019 (Figura 6). No se observó resultados significativos, las medias variaron de

10,43 y 14,64 cm h⁻¹ entre el PRI y PRL respectivamente, en relación con la primera lectura en este año (6 A.). En la segunda lectura la diferencia entre las medias del PRI y PRL fue de 1,4 cm h⁻¹, en esta segunda evaluación la velocidad de infiltración de los 444 mL de agua en el suelo se dio en un lapso de tiempo más corto en comparación al 2018, pudiendo deberse a la variación de humedad entre los dos momentos de evaluación.

Estos valores de la velocidad de infiltración considerando la textura del suelo del área experimental (franco arenoso), se encuentran dentro de los valores estables de infiltración propuestas por la USDA (2000), y está clasificado como moderadamente lento.

Resultados contrarios a esta investigación fue observada por Martínez et al. (2010b), al evaluar el proceso de infiltración del agua en el suelo para cuatro intensidades de pisoteo: nula (A) (testigo), media (B), alta (C) y muy alta (D), constataron que la tasa de infiltración disminuyó a la mitad de su valor en los sectores con muy alta carga animal respecto del suelo testigo. La menor tasa de infiltración se obtuvo en los sectores D, difiriendo significativamente de los valores medios hallados en el grupo testigo (A) y en el de baja intensidad de carga (B). Los mismos autores sostienen que los resultados se atribuyen a la alta variabilidad espacial que presenta el fenómeno de infiltración.

Así también, Denoia et al. (2000), verificaron resultados significativos en el porcentaje de infiltración total en un experimento donde evaluaron parcelas con y sin pisoteo animal con diferentes altura del pasto, los tratamientos fueron: suelo desnudo con pisoteo (T1); suelo con vegetación a 2 cm de altura durante el pisoteo (T2); con vegetación de altura normal (> 10 cm) en el momento del pisoteo (T3); y con vegetación de altura normal (> 10 cm), sin pisoteo (T4), obteniendo valores de 19,2; 24,4; 45,2 y 57% para el T1, T2, T3 y T4 respectivamente, esto indica que el pisoteo de los animales afectó negativamente a la capacidad de infiltración del suelo.

4.2 Propiedades químicas del suelo

Los resultados de esta variable se presentan en la Tabla 3, en la misma se observan diferencias significativas a nivel estadística ($p < 0,05$) en el P, H+Al y CIC del suelo en la evaluación del año 2018 (7 A.). En los valores del P se observa que el PRI fue estadísticamente inferior al PRM e igual al PRL, con valores promedios de 163,0; 201,9 y 214,6 mg dm^{-3} respectivamente; considerando el tiempo de permanencia de los animales en los potreros en cada sistema se puede atribuir estos resultados a la cantidad de materia fecal depositada por los animales en los potreros. Siendo, el tiempo de permanencia de los animales el doble en el PRM en comparación al PRI, donde hubo diferencias significativas en los valores de P disponible en el suelo. Por otro lado, comparando el PRL y la PRI estadísticamente son iguales, sin embargo, la diferencia numérica entre estos sistemas es elevado, siendo 38,4 mg dm^{-3} , diferencia que puede ser explicado también por el tiempo de permanencia de los animales en los potreros.

En relación con el H + Al (Tabla 3), el PRI estadísticamente presentó el promedio más bajo en comparación al PRM y PRL con valores de 1,83; 2,56 y 2,32% respectivamente, estos valores de acidez potencial son bajos, por tanto, no afecta el desarrollo de pasturas.

Tabla 3. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo: acidez activa (pH), materia orgánica (MO), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), fósforo (P), acidez potencial (H + Al), saturación de bases (V) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. Mariscal Estigarribia-Chaco, Paraguay, 2019.

Análisis de suelo	Evaluación 2018				Evaluación 2019			
	PRI	PRM	PRL	CV (%)	PRI	PRM	PRL	CV (%)
pH (CaCl ₂)	6,41 ^{ns}	6,11	6,28	4,53	6,38 ^{ns}	6,42	5,89	6,39
pH (H ₂ O)	7,15 ^{ns}	6,87	6,97	3,82	7,05 ^{ns}	6,99	6,47	7,30
M. O. (%)	2,79 ^{ns}	3,30	3,40	13,7	2,13 ^b	3,07 ^a	2,48 ^b	9,99
P (mg dm ⁻³)	163,5 ^b	214,6 ^a	201,9 ^{ab}	25,32	168,4 ^{ns}	184,6	181,14	12,62
Ca ⁺⁺	4,85 ^{ns}	5,45	5,64	17,2	6,64 ^b	8,39 ^a	7,59 ^{ab}	9,74
Mg ⁺⁺	1,81 ^{ns}	2,57	2,52	25,6	1,89 ^{ns}	2,88	2,91	20,77
K ⁺	1,23 ^{ns}	1,27	1,51	22,23	5,26 ^{ns}	5,31	6,05	11,67
Na ⁺	0,61 ^{ns}	0,66	0,49	27,16	0,52 ^{ns}	0,52	0,53	14,08
H + Al (%)	1,83 ^b	2,56 ^a	2,32 ^a	14,7	2,22 ^{ns}	2,43	3	17,51
V (%)	82,07 ^{ns}	78,18	80,68	3,70	86,14 ^{ns}	87,33	84,50	1,95
CIC (cmol _c LS ⁻¹)	9,72 ^b	11,86 ^a	12 ^a	11,57	16,01 ^{ns}	19,01	19,53	11,13

CV: Coeficiente de variación. ns: no significativos. Medias seguidas por diferentes letras en la fila difieren estadísticamente entre sí por teste de Tukey con probabilidad de error de 5%.

PRL= pastoreo rotativo leve. PRM= pastoreo rotativo moderado. PRI= pastoreo rotativo intensivo

En los valores de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el PRI estadísticamente arrojó una media por debajo del PRM y PRL (Tabla 3, 7 A.), pudiendo ser atribuido estos valores al igual que el fósforo por la cantidad de materia orgánica (MO) depositada con el estiércol de los animales en los potreros, considerando que en el PRM y PRL los animales permanecen por más tiempo en los potreros, por ende, mayores concentraciones de MO, si observamos los valores de la MO estadísticamente son iguales en los tres sistemas de pastoreos, con diferencias numéricas mayores a medida que los animales permanecen por más tiempo de ocupación en los potreros, por lo tanto, a mayor MO mayor será el valor de la CIC del suelo.

Las otras variables no arrojaron diferencias significativas con valores promedios de 6,41; 6,11 y 6,28 en relación con el pH (CaCl₂); 7,15; 6,87 y 6,97 pH (H₂O); los cuales se encuentran en los rangos óptimos para un buen desarrollo de la pastura y en donde existe mayor disponibilidad de los nutrientes en el suelo para las plantas. Así también, los niveles de % de MO se encuentran en buena concentración que son: 2,79; 3,30 y 3,40 para el PRI, PRM y PRL respectivamente. Los valores del Ca⁺⁺ variaron de 4,85 y 5,64 cmol_c dm⁻³, correspondiente a un nivel de concentración “medio”; así también los tenores del Mg⁺⁺ se encuentran en un nivel “medio”; los niveles de K⁺ son considerados “altos” con 1,23; 1,27 y 1,51 cmol_c dm⁻³ para el PRI, PRM y PRL respectivamente y 0,61; 0,66 y 0,49 cmol_c dm⁻³ para el Na que están en un nivel “bajo” de acuerdo a la tabla de interpretación de análisis de suelo de CETAPAR (2019).

En la evaluación del año siguiente 2019 (Tabla 3), se observa diferencias significativas en los tenores de MO y Ca⁺⁺ (Anexo 7). Si bien los tenores de materia orgánica se mantuvieron similares a la evaluación realizada en el 2018, con excepción del PRL que disminuyó casi en 1%, en esta segunda evaluación el PRM presentó el tenor de M.O. más alto, con una media de 3,07 %, el PRI y PRL estadísticamente fueron iguales entre sí con medias de 2,13 y 4,48 %

respectivamente. En los tenores de Ca^{++} en esta segunda evaluación se observa valores más altos que el año anterior, incrementando $1,79 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ en el PRI, $2,94 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ en el PRM y $1,95 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ en el PRL.

Resultados similares son observados en una investigación realizada por Sanzano et al. (2005), al evaluar el efecto de 20 años de distintos sistemas de manejo en comparación con el suelo virgen sobre el nivel de degradación física y química del suelo, los sistemas estudiados fueron: monocultivo de soja bajo siembra directa (SD) y con laboreo convencional (LC); bajo pastura de gramíneas sin pastoreo directo (P) y bajo monte natural (MN) considerado el testigo, no se encontró diferencias significativas en el pH del suelo y al igual que el presente trabajo sí hubo diferencias en la CIC y P extractable, con valores de 22,3; 19,1; 18,2 y 16,1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ y 34; 5,5; 9,4 y 4,9 mg kg^{-1} de P para los sistemas MN, P, SD y LC respectivamente.

4.3 Parámetros agronómicos de la pastura

4.3.1 Altura del pasto pre y post pastoreo

En la Figura 7 se observan los resultados de la altura del pasto pre y post pastoreo de los diferentes sistemas de pastoreo rotativos evaluados. Los resultados de esta variable arrojaron diferencias significativas en los dos momentos de evaluación (8 A.), donde en el PRI el pre pastoreo fue igual al PRM y superior al PRL existiendo una diferencia de 26 cm entre el PRI y PRL y de 28 cm entre el PRM y PRL.

Con estos se demuestra cómo influye el tiempo de permanencia de los animales en los potreros, como así también el tiempo de descanso de la pastura, siendo este tiempo de descanso no suficiente para que exista una buena recuperación de la pastura de la defoliación sufrida por los animales durante su tiempo de ocupación.

Este comportamiento hace alusión a las primeras dos leyes universales de pastura propuestas por Voisin, donde menciona en la ley del reposo “para que un

pasto cortado por el diente del animal pueda dar su máxima productividad, es necesario que, entre dos cortes a diente sucesivos, haya pasado el tiempo suficiente que permita al pasto: almacenar en sus raíces las reservas necesarias para un rebrote vigoroso, y realizar su llamarada de crecimiento o alta producción diaria por hectárea”.

Así también, a la ley de ocupación donde menciona que: “el tiempo global de ocupación de una parcela debe ser lo suficientemente corto como para que un pasto cortado a diente el primer día de la ocupación, no sea cortado nuevamente por el diente de los animales, antes de que estos dejen la parcela” (Pinheiro 2016).

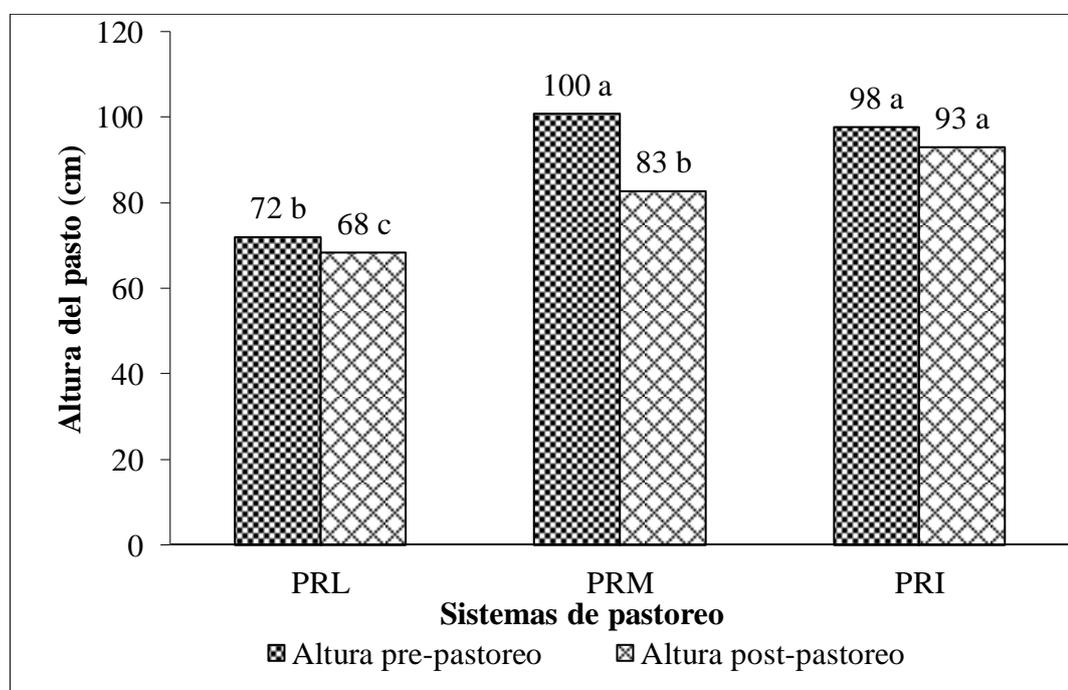


Figura 7. Altura del pasto pre y post pastoreo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2019.

Medias seguidas por diferentes letras difieren estadísticamente entre sí por test de Tukey con probabilidad de error de 5%.

PRL= pastoreo rotativo leve. PRM= pastoreo rotativo moderado. PRI= pastoreo rotativo intensivo

En relación a la altura del pasto post-pastoreo (Figura 7) los tres sistemas presentaron diferencias estadísticas entre sí (8 A.), donde el PRI superó al PRM y PRL con un promedio de 93; 83 y 68 cm respectivamente, existiendo una diferencia de 10 cm entre el PRI y PRM; y 15 cm entre el PRM y PRL y de 25 cm comparando el PRI con el PRL. Lo llamativo de esta evaluación es que en el PRI y PRL las

variaciones de altura del pasto pre y post pastoreo son similares, es decir, que los animales consumieron el pasto en similares cantidades considerando las variaciones de alturas de los pastos de los potreros mencionados, entonces, se puede afirmar que la oferta de pasto para los animales fue suficiente en todos los sistemas de pastoreos.

Hack et al. (2009), sostienen que alternar períodos de ocupación y descanso permite a las plantas recomponer sus reservas y mejorar su capacidad de rebrote, especialmente en períodos desfavorables.

4.3.2 Producción de materia seca pre y post pastoreo

En la Figura 8 se presentan los resultados de la producción de materia seca del pasto, la misma presenta diferencias significativas entre los sistemas de pastoreos evaluados, considerando la MS del pasto pre-pastoreo, el PRI fue superior en más de 3.222 kg ha⁻¹ que el PRL y 1.627 kg ha⁻¹ que el PRM, este último fue estadísticamente igual al PRI y al PRL (9 A.).

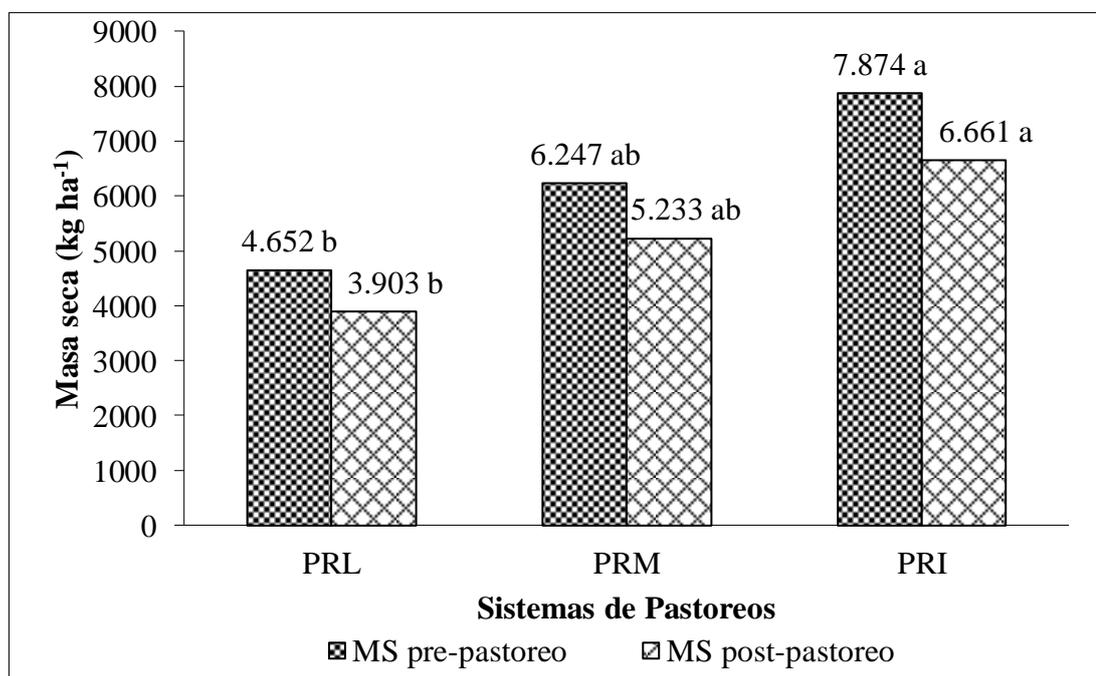


Figura 8. Producción de materia seca aérea del pasto pre y post-pastoreo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia, Paraguay, 2019.

Medias seguidas por diferentes letras difieren estadísticamente entre sí por el test de Tukey con probabilidad de error de 5%.

PRL= pastoreo rotativo leve. PRM= pastoreo rotativo moderado. PRI= pastoreo rotativo intensivo

La misma tendencia fue observada en la producción de materia seca post-pastoreo (Figura 8), donde el PRI fue superior al PRL e igual al PRM, con más de 2.758 kg ha^{-1} de diferencia entre el PRI y PRL y 1.428 kg ha^{-1} entre el PRI y PRM. Sin embargo, si hacemos la comparación de cada sistema de pastoreo (pre y post-pastoreo), se observa que las variaciones de las mismas son similares en cada sistema, es decir, la diferencia de la masa seca que fue consumida por los animales en el lapso de tiempo en que permanecieron en los potreros en cada sistema de pastoreo fueron similares, existiendo una diferencia de 1.213 kg ha^{-1} entre el pre y post-pastoreo de los animales en el PRI, una diferencia de 1.014 kg ha^{-1} en el PRM y la mas baja diferencia encontrada de la masa seca del pasto pre y post-pastoreo es en el PRL que fue de 750 kg ha^{-1} , entonces, considerando estos resultados, en promedio los animales consumieron similares cantidades del pasto en función a la masa seca en los tres sistemas de pastoreo.

Los sistemas de pastoreos evaluados sí influyen en la cantidad de masa seca del pasto ofrecido a los animales que ingresan a los potreros, sin embargo, la cantidad consumida por los animales es similar en todos los sistemas, sin importar la diferencia de masa saca disponible en cada potreros, es decir, existe suficiente masa seca para la cantidad de animales que ingresan a los potreros sin importar el tiempo de permanencia de los animales y tampoco la diferencia de superficie de cada potrero.

Resultados similares fueron encontrados por Hack et al. (2009), quienes evaluaron dos sistemas de pastoreo, en la región occidental de Corrientes (Argentina). Los tratamientos fueron: pastoreo continuo (T0) y pastoreo rotativo intensivo (T1). En T0 se acumuló una mayor cantidad de hojas secas, producto del subpastoreo y la selectividad de los animales propios del sistema de pastoreo continuo, mientras que la materia seca acumulada en T1 fue significativamente superior y prácticamente duplicó a T0.

Los mismos autores mencionan que una adecuada alternancia entre períodos de pastoreo y descanso, que es la base o el principio de utilización del pastoreo rotativo, permite a las plantas recomponer sus reservas y resistir los períodos críticos. La defoliación intensa que caracteriza al sistema de pastoreo rotativo intensivo, disminuye la selectividad entre especies evitando la acumulación de grandes cantidades de material muerto que inciden desfavorablemente en la capacidad de rebrote.

4.4 Ganancia de pesos totales de los animales

Los resultados de la ganancia de pesos totales de los animales se presentan en la Tabla 4, estos datos no fueron sometidos a análisis estadístico los cuales son analizados con estadística descriptiva, de la misma se puede mencionar que no existe mucha variabilidad entre los datos de ganancia de peso en todos los momentos de evaluación, tanto en el peso inicial y el pesaje por trimestre en los dos años ganaderos considerados para el estudio.

Tabla 4. Ganancia de pesos totales (GPT) de los animales por trimestre bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia-Paraguay, 2019.

GPT (Kg) Año ganadero 2017/2018				
Sistemas de pastoreo	Peso Inicial	1° Periodo	2° Periodo	3° Periodo
PRL	59.332	70.073	76.300	109.791
PRM	60.226	69.087	74.494	105.251
PRI	59.739	69.487	77.075	109.552
Media	59.765	69.549	75.956	108.198
GPT (kg) Año ganadero 2018/2019				
Sistemas de pastoreo	Peso Inicial	1° Periodo	2° Periodo	
PRL	65.179	70.759	99.147	
PRM	63.497	66.694	93.098	
PRI	61.806	68.129	96.261	
Media	63.494	68.527	96.168	

PRL= pastoreo rotativo leve. PRM= pastoreo rotativo moderado. PRI= pastoreo rotativo intensivo

En el primer año ganadero correspondiente al 2017/2018 se puede mencionar que entre los tres periodos considerados el tercero es el que presenta una mayor variabilidad en la ganancia de peso de los animales, siendo en el PRL el peso total de los animales de 109.791 kg que corresponde a una diferencia de 4.540 kg en comparación al PRM y 239 kg de diferencia en comparación al PRI. Con relación al segundo año ganadero 2018/2019 se observa en la Tabla 4 que existe mayor variabilidad en la ganancia de peso entre los sistemas en estudio, sin embargo, si comparamos el peso inicial de este año al anterior, los pesos iniciales presentan una mayor variabilidad, por consiguiente, la ganancia de peso entre los sistemas por cada periodo es mayor al año ganadero anterior.

Cabe mencionar que la cantidad de cabeza de animales en promedio entre los años ganaderos fue diferente, para el primer año fue de 295 cabezas ($0,73 \text{ UA ha}^{-1}$) y 350 cabezas ($0,78 \text{ UA ha}^{-1}$) para el segundo año ganadero, con un promedio aproximado de 200 kg peso vivo por cabeza de animales para el año 2017/2018 y de 180 kg peso vivo para el 2018/2019.

Resultados contrarios fue observado por Beretta et al. (2007), en un trabajo evaluando sistema rotativo en franjas el efecto de tres tiempos de ocupación de las parcelas (1, 3 y 4 días alternadamente, o 7 días) y dos intensidades de pastoreo (2,5 y 5 kg de MS 100 kg^{-1} de PV) sobre la ganancia diaria de novillos en crecimiento. El PV evolucionó en forma lineal, observándose un efecto significativo de la asignación de forraje sobre la ganancia media diaria.

4.5 Ganancia diaria de peso, ganancia diaria de peso promedio y ganancia total de peso

Al igual que la variable descrita anteriormente estas no presentaron mucha variabilidad entre los sistemas de pastoreos rotativos evaluados en la investigación (Tabla 5), considerando el año ganadero 2017/2018 se observa que existe mayor variabilidad de la ganancia diaria de peso en el primer periodo, existiendo una diferencia de 0,071 kg entre el PRL y la PRM, 0,038 kg entre el PRL y PRI.

Los mayores promedios de la ganancia diaria de peso fueron encontrados en el tercer periodo, donde los animales llegaron a ganar pesos promedios diarios superiores a 1 kg por animal, siendo la ganancia total de pesos de los animales de 171, 153 y 169 para los sistemas PRL, PRM y PRI respectivamente.

Tabla 5. Ganancia diaria de peso (GDP), ganancia diaria de peso promedio (GDPP) y ganancia total de peso (GTP) bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central, Mariscal Estigarribia-Paraguay, 2019.

GDP (Kg) Año ganadero 2017/2018					
Sistemas de pastoreo	1° Periodo	2° Periodo	3° Periodo	GDPP	GTP
PRL	0,405	0,235	1,26	0,634	171
PRM	0,334	0,204	1,16	0,565	153
PRI	0,367	0,286	1,22	0,625	169
Media	0,368	0,241	1,214	0,608	164
GDP (Kg) Año ganadero 2018/2019					
Sistemas de pastoreo	1° Periodo	2° Periodo		GDPP	GTP
PRL	0,177	0,901		0,539	97
PRM	0,101	0,838		0,470	85
PRI	0,201	0,893		0,547	98
Media	0,160	0,878		0,519	93

PRL= pastoreo rotativo leve. PRM= pastoreo rotativo moderado. PRI= pastoreo rotativo intensivo

Considerando estos resultados y haciendo referencia a las variables anteriormente mencionadas correspondientes a la altura y producción de materia seca pre y post-pastoreo se puede entender del porque no se presentaron excesiva variabilidad en la ganancia de peso de los animales entre los sistemas de pastoreos evaluados, la misma se explica por la buena disponibilidad de forraje existente en los potreros y que los sistemas de pastoreos evaluados que corresponden al tiempo de permanencia de los animales a los potreros, el tiempo de descanso de los mismos y la diferencia de superficie entre los potreros no afecta la buena disponibilidad de pastura, ya que todos los sistemas de pastoreo contaron con una superficie total de 200 ha, entonces, se puede afirmar que por las buenas condiciones físicas y químicas del suelo se cuenta con una buena disponibilidad de pasto para los animales.

5 CONCLUSIONES

En esta investigación en el corto plazo se obtuvo evidencias de variaciones en la resistencia mecánica del suelo a la penetración debidas a los diferentes sistemas de manejo de pastoreo, si bien los valores de la RMSP no corresponden a un suelo compactado no se descarta la posible ocurrencia de compactación que podría afectar el desarrollo radicular adecuado de la pastura.

Los sistemas de pastoreos evaluados no influenció en las variables densidad aparente, porosidad total y velocidad de infiltración del agua en el suelo. Por otro lado, en las características químicas del suelo se encontró influencias significativas en algunos de los parametros considerados, en los dos momentos de evaluación.

Diferencias estadísticas fueron observadas en la altura y cantidad de masa seca del pasto ofrecido a los animales que ingresan a los potreros, sin embargo, la cantidad consumida por los animales es similar en todos los sistemas de pastoreos, sin importar la diferencia de altura y masa seca disponible en cada potreros, es decir, existe suficiente pasto para la cantidad de animales que ingresan a los potreros sin importar el tiempo de permanencia de los animales, así también, la diferencia de superficie de cada potrero, por consecuente, no existe variabilidad en la ganancia de peso de los animales.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARP (Asociación Rural del Paraguay), 2017. Introducción a Paraguay y su Sector Cárnico. Asunción- PY. 12 p. Consultado 23 oct. 2018. Disponible en: <http://www.arp.org.py/images/Paraguay-y-el-Sector-Carnico.pdf>
- Balbuena, R; Botta, G; Draghi, L; Rosatto, H; Dagostino, C. 2003. Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistema de siembra directa. Spanish Journal of Agricultural Research 1(2): 75-80.
- Beretta, V; Simeone, A; Bentancur, O; Invernizzi, G; Puig, C; Viroga, S. 2007. Efecto de la asignación de forraje y el tiempo de ocupación de la parcela sobre la performance de terneros Hereford pastoreando praderas permanentes en invierno. Sitio Argentino de Producción Animal. (En línea) Consultado 13 feb. 2019. Disponible en: http://produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/90-Beretta_ocupacion.pdf
- Bonel, BA; Di Leo, NC; Monticol, S. 2018. Compactaciones naturales y antrópicas en suelos argentinos: evaluación de la compactación de suelos en sistemas de producción agropecuarios del sur de Santa Fe. Capítulo 11. Asociación Argentina Ciencia del Suelo. (En línea) Consultado 27 nov. 2018. Disponible en: <http://www.suelos.org.ar/sitio/nuevo-libro-aacs-on-line-compactaciones-naturales-y-antrópicas-en-suelos-argentinos/#more-3072>
- Cabrera, FS; Cholaky, C; Becker, A. 2011. Propiedades hidrofísicas de un hapludol típico de Córdoba en relación al pisoteo animal. CI. SUELO 29(2): 141-150.
- Cavallini, MC; Andreotti, M; Lisbôa, L; Magalhães, C; Carvalho, M. 2010. Relações entre produtividade de *Brachiaria brizantha* e atributos físicos de um latossolo do cerrado. Seção I - física do solo. R. Bras. Ci. Solo. 34: 1007-1015.
- CETAPAR (Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay). 2019. Fundación Nikkei. Laboratorio de análisis de suelo. Informe de análisis de suelo. Alto Parana, PY.

- Cholaky, C; Bonadeo, E. 2018. Compactaciones Naturales y Antrópicas en Suelos Argentinos: Compactación de suelos en el centro-sur de Córdoba: causas, consecuencias y manejo. Capítulo 12. Asociación Argentina Ciencia del Suelo. (En línea). Consultado 18 abr. 2019. Disponible en: <http://www.suelos.org.ar/sitio/nuevo-libro-aacs-on-line-compactaciones-naturales-y-antropicas-en-suelos-argentinos/#more-3072>
- Conte, O; Wesp, C; Anghinoni, I; Carvalho, PC; Levien, R; Nabinger, C. 2011. Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. R. Bras. Ci. Solo, 35:579-587.
- Denoia, J; Sosa, O; Zerpa, G; Martín, B. 2000. Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. PASTOS, XXX (1), 129-140.
- Distel, RA. 2013. Manejo del pastoreo en pastizales de zonas áridas y semiáridas. Revista Argentina de Producción Animal. 33 (1): 53-64.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. Base referencial mundial del recurso suelo. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos.
- Fernández, M. 2014. Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo. Departamento de Arte y Ciencias del Territorio. Universidad de Extremadura. Tesis Doctoral. (En línea). Consultado 15 ene. 2018. Disponible en: http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/1621/TDUEx_2014_Pulido_Fernandez.pdf?sequence=1
- Ferri, CM; Sáenz, AM; Jouve, VV. 2015. Términos de uso frecuente en producción y utilización de pasturas. Santa Rosa - Argentina. Rev. Fac. Agron. UNLPam. 25 (1): 41-61
- Franco, M. 2009. Las leyes universales de André Voisin para el pastoreo racional. Sitio Argentino de Producción Animal. (En línea). Consultado 10 feb. 2018. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/115-Voisin.pdf
- Glatzle, A. 2006. Sistemas Productivos en el Chaco Central Paraguayo: Características, Particularidades. INTTAS, Loma Plata. Asunción- PY. 10 p. (En línea). Consultado 23 oct. 2017. Disponible en:

http://www.chaconet.com.py/inttas/projects/pdf/a_glatzle_sistemas_productivos.pdf

- Hack, CM; Ciotti, EM; Castelán, ME; Porta, M; Tomei, CE. 2009. Efecto de dos sistemas de pastoreo en la producción de materia seca y la composición florística de un pastizal de *Andropogon lateralis* Nees. Instituto Agrotécnico “Pedro M. Fuentes Godo”. FCA–UNNE. Resistencia–Chaco. Nota de investigación. Agrotecnia 19-24.
- Kruger, HR; Venanzi, S; De Sá Pereira, E. 2008. Efecto del pastoreo sobre la resistencia mecánica del suelo en sistemas de producción bajo siembra directa continua. CI. Suelo 26(2): 211-217.
- Laureda, AD; Botta, GF; Tolón, A; Rosatto, HG. 2016. Compactación del suelo inducida por la maquinaria en campos de polo en Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO. 48(1): 79-99.
- López, FM; Duval, M; Martínez, JM; Galantini, JA. 2018. Compactaciones Naturales y Antrópicas en Suelos Argentinos: propiedades físicas en suelos bajo siembra directa del sudoeste bonaerense. Capítulo 18. Asociación Argentina Ciencia del Suelo. (En línea). Consultado 18 mar. 2019. Disponible en: <http://www.suelos.org.ar/sitio/nuevo-libro-aacs-on-line-compactaciones-naturales-y-antropicas-en-suelos-argentinos/#more-3072>
- Lozano, Z; Mogollón, A; Hernández, R; Bravo, C; Ojeda, A; Torres, A; Rivero, C; Toro, M. 2010. Cambios en las propiedades químicas de un suelo de sabana luego de la introducción de pasturas mejoradas. Bioagro 22 (2): 135-144.
- Martínez, D; Landini, A; Soza, E; Heredia, O; Sainato, C. 2010a. Efecto del pisoteo animal sobre las propiedades de un suelo. Parte I: densidad aparente, humedad, resistencia a la penetración, y modelos asociados. Sitio argentino de Producción Animal. Agro-Ciencia, Rev. Chil. Cs. Agropec. 27 (1): 5-14.
- Martínez, D; Landini, A; Soza, E; Sainato, C; Heredia, O. 2010b. Efecto del pisoteo animal sobre las propiedades de un suelo. Parte II: infiltración y conductividad hidráulica saturada. Sitio Argentino de Producción Animal. Agro-Ciencia, Rev. Chil. Cs. Agropec. 27 (1): 15-27.
- Medina, C. 2016. Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. Remediaciones. Revista Colombiana de Ciencia Animal 8(1):88-93.

- Mejías, S. 2016. Soils dedicated to cattle rearing in Cuba: characteristics, management, opportunities and challenges. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50 (2): 279-290.
- Ortíz, V; Soto, C. 2006. Cálculo y manejo en pastoreo controlado. Pastoreo rotativo y en franjas. *Sociedad de Medicina Veterinaria del Uruguay* 41 (161-162) 15-24.
- Parga, J. 2003. Utilización de praderas y manejo de pastoreo con vacas lecheras. Instituto de Investigaciones Agropecuarias – Centro Regional de Investigación Remehue. (En línea), Consultado 10 jul. 2018. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR30029.pdf>.
- Pérez, HE; Martínez, L; Taleisnik, E. 2014. Implantación y Manejo de Especies Forrajeras Tropicales en ambientes salinos. Praderas y Forrajes, consorcio de ganaderos para experimentación agropecuaria. Asunción, Paraguay. 111-132.
- Pinheiro, LC. 2016. Pastoreo Racional Voisin. Tecnología Agroecológica para el Tercer Milenio. 1ª ed. 6ª reimp. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Ed. Hemisferio Sur. 254 p.
- Queirolo, A; Carvalho, P; Anghinoni, I; Pilau, A; Queirolo, J; Dal Forno, G. 2008. Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. *R. Bras. Zootec* 37 (9): 1523-1530.
- Sadeghian, S. 2005. Impacto de la ganadería sobre el suelo alternativas sostenible de manejo. Consultado 15 enero 2018. Disponible en: <https://slidex.tips/download/impacto-de-la-ganaderia-sobre-el-suelo-alternativas-sostenible-de-manejo>.
- Sánchez, S; Hernández, M; Ruz, F. 2011. “Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios”. *Pastos y Forrajes*, 34 (4): 375–392.
- Sanzano, G A.; Corbella, R D.; García JR.; Fadda, G S. 2005. Degradación física y química de un haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. *CI. Suelo* - 23 (1) 93-100.
- SARO (Sistema Ambiental de la Región Occidental), 2009. Atlas Geográfico del Chaco Paraguayo. Red de Inversiones y Exportaciones. UNIDAD GIS – REDIEX. Asunción – Paraguay. (En línea). Consultado 20 mar. 2018. Disponible en: <http://www.geologiadelparaguay.com/Atlas-Geografico-del-Chaco.pdf>

- Senra, A. 2009. Impacto del manejo del ecosistema del pastizal en la fertilidad natural y sostenibilidad del suelo. Avances en Investigación Agropecuaria. Instituto de Ciencia Animal (ICA). La Habana, Cuba. 13 (2): 3-15.
- Senra, A; Martínez, RO; Jordán, H; Ruiz, T; Reyes, JJ; Guevara RV; Ray, JV. 2005. Principios básicos del pastoreo rotacional eficiente y sostenible para el subtrópico americano. Instituto de Ciencia Animal. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 39 (1): 23-30.
- Taboada, MA; Micucci, SN. 2009. Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la pampa deprimida al pastoreo rotativo. CI. Suelo 27(2): 147-157.
- Teuber, N; Balocchi, O. 2003. Recursos forrajeros en producción de leche. I. Balance alimenticio con los recursos del sur. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación. Universidad Austral de Chile, Valdivia. Seminario Hagamos de la lechería un mejor negocio.
- Teuber, N; Parga, J. 2003. Manejo del pastoreo con vacas lecheras en praderas permanentes. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA Remehue. (En línea). Consultado 21 oct. 2018. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR33838.pdf>.
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 2000. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Instituto de Suelos. Argentina. (En línea). Consultado 2 mar. 2018. Disponible en: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- Zerpa, G; Sosa, O; Berardi, J; Bolatti, P; Galindo, A; Maldonado, J. 2013. La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. Sitio Argentino de Producción Animal. 35: 64-68.

7. ANEXOS

1 A. Precipitación ocurrida durante el ciclo del experimento (precipitación mensual) y medias históricas.

Meses	Precipitación Mensual (mm)	Medias históricas (mm)
Enero	124,7	99,6
Febrero	180,2	109,9
Marzo	112,2	82,3
Abril	53,4	61,8
Mayo	44,7	31,8
Junio	11,7	13,9
Julio	11,4	6,4
Agosto	39	4,1
Septiembre	14,2	13,8
Octubre	77,9	46,9
Noviembre	238,4	55,1
Diciembre	31,5	89,7
Enero	40,4	98,0
Febrero	33,1	94,0
Marzo	177,3	80,0
TOTAL	1068,4	887,3

Fuente: Meteomanz.com. 2019. Estación: Mariscal Estigarribia (Paraguay)

2 A. Análisis de varianza de la variable resistencia del suelo a la penetración

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0- 5 cm	28	0,27	0,21	14,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,12	2	0,06	4,51	0,0212
Sist.de past.	0,12	2	0,06	4,51	0,0212
Error	0,34	25	0,01		
Total	0,46	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5 - 10 cm	28	0,3	0,24	13,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,21	2	0,1	5,32	0,0119
Sist.de past.	0,21	2	0,1	5,32	0,0119
Error	0,49	25	0,02		
Total	0,69	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
10 - 15 cm	28	0,15	0,08	14,1	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,1	2	0,05	2,17	0,1348
Sist.de past.	0,1	2	0,05	2,17	0,1348
Error	0,56	25	0,02		
Total	0,66	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
15 - 20 cm	28	0,07	0	16,04	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	2	0,03	0,93	0,4064
Sist.de past.	0,05	2	0,03	0,93	0,4064
Error	0,68	25	0,03		
Total	0,73	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
20 - 25 cm	28	0,02	0	17,68	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	2	0,01	0,3	0,747
Sist.de past.	0,02	2	0,01	0,3	0,747
Error	0,78	25	0,03		
Total	0,8	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
25 - 30 cm	28	0,01	0	18,74	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	2	0,01	0,16	0,8525
Sist.de past.	0,01	2	0,01	0,16	0,8525
Error	0,86	25	0,03		
Total	0,87	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
30 - 35 cm	28	0,06	0	20,26	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,06	2	0,03	0,78	0,4708
Sist.de past.	0,06	2	0,03	0,78	0,4708
Error	1	25	0,04		
Total	1,06	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
35 - 40 cm	28	0,13	0,06	21,82	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,17	2	0,09	1,82	0,1823
Sist.de past.	0,17	2	0,09	1,82	0,1823
Error	1,19	25	0,05		
Total	1,37	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
40-45cm	28	0,03	0	17,81	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	2	0,01	0,37	0,6955
Sist.de past.	0,02	2	0,01	0,37	0,6955
Error	0,79	25	0,03		
Total	0,81	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
45 - 50 cm	28	0,2	0,14	24,77	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,44	2	0,22	3,21	0,0574
Sist.de past.	0,44	2	0,22	3,21	0,0574
Error	1,71	25	0,07		
Total	2,15	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
50 - 55 cm	28	0,3	0,24	25,24	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,79	2	0,39	5,33	0,0118
Sist.de past.	0,79	2	0,39	5,33	0,0118
Error	1,85	25	0,07		
Total	2,64	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
55 - 60 cm	28	0,33	0,28	25,34	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,94	2	0,47	6,27	0,0062
Sist.de past.	0,94	2	0,47	6,27	0,0062
Error	1,86	25	0,07		
Total	2,8	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
60 - 65 cm	28	0,32	0,27	24,81	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,83	2	0,41	5,96	0,0077
Sist.de past.	0,83	2	0,41	5,96	0,0077
Error	1,74	25	0,07		
Total	2,56	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
65 - 70 cm	28	0,31	0,25	25,49	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,78	2	0,39	5,61	0,0097
Sist.de past.	0,78	2	0,39	5,61	0,0097
Error	1,75	25	0,07		
Total	2,53	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
70 - 75 cm	28	0,35	0,29	25,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,92	2	0,46	6,64	0,0048
Sist.de past.	0,92	2	0,46	6,64	0,0048
Error	1,72	25	0,07		
Total	2,64	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
75 - 80 cm	28	0,36	0,31	24,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,89	2	0,44	7,11	0,0036
Sist.de past.	0,89	2	0,44	7,11	0,0036
Error	1,56	25	0,06		
Total	2,45	27			

3 A. Análisis de varianza de la variable contenido de agua en el suelo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad	28	0,3	0,25	20,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	202,54	2	101,27	5,43	0,011
Sist.de past.	202,54	2	101,27	5,43	0,011
Error	466,31	25	18,65		
Total	668,86	27			

4 A. Análisis de varianza de la variable densidad aparente del suelo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Dap. de 0 a 10 cm	12	4,70E-03	0	5,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,70E-04	2	1,30E-04	0,02	0,9792
Sist.de past.	2,70E-04	2	1,30E-04	0,02	0,9792
Error	0,06	9	0,01		
Total	0,06	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Dap.de 10 a 20 cm	12	0,3	0,14	4,26	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	2	0,01	1,92	0,2025
Sist.de past.	0,02	2	0,01	1,92	0,2025
Error	0,04	9	4,30E-03		
Total	0,06	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Dap.de 20 a 30 cm	12	4,70E-03	0	3,81	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,50E-04	2	7,50E-05	0,02	0,9791
Sist.de past.	1,50E-04	2	7,50E-05	0,02	0,9791
Error	0,03	9	3,50E-03		
Total	0,03	11			

5 A. Análisis de varianza de la variable porosidad total del suelo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
de 0 a 10 cm	12	2,70E-03	0	7,19	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,22	2	0,11	0,01	0,9877
Sist.de past.	0,22	2	0,11	0,01	0,9877
Error	80,73	9	8,97		
Total	80,95	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
de 10 a 20 cm	12	0,3	0,15	5,95	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24,49	2	12,24	1,97	0,195
Sist.de past.	24,49	2	12,24	1,97	0,195
Error	55,9	9	6,21		
Total	80,39	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
de 20 a 30 cm	12	0,01	0	5,45	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,23	2	0,12	0,02	0,9772
Sist.de past.	0,23	2	0,12	0,02	0,9772
Error	45,04	9	5		
Total	45,27	11			

6 A. Análisis de varianza de la variable infiltración del agua en el suelo

Evaluación del 2018

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
T.I. Primera lectura	12	0,29	0,13	63,01	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1019,45	2	509,72	1,84	0,2138
Sist.de past.	1019,45	2	509,72	1,84	0,2138
Error	2493,38	9	277,04		
Total	3512,83	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
T.I. Segunda lectura	12	0,26	0,1	59,19	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5080,28	2	2540,14	1,6	0,2534
Sist.de past.	5080,28	2	2540,14	1,6	0,2534
Error	14244,12	9	1582,68		
Total	19324,4	11			

Evaluación del 2019

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Primera lectura	12	0,35	0	76,17	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	277,75	5	55,55	0,65	0,6718
Sist.de past.	39,12	2	19,56	0,23	0,8013
Repet	238,63	3	79,54	0,93	0,4799
Error	510,56	6	85,09		
Total	788,31	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Segunda Lectura	12	0,29	0	77,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2556,45	5	511,29	0,5	0,768
Sist.de past.	642,99	2	321,49	0,31	0,7416
Repet	1913,47	3	637,82	0,62	0,6253
Error	6135,61	6	1022,6		
Total	8692,07	11			

7 A. Análisis de varianza de la variable propiedades químicas del suelo

Evaluación 2018

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH H ₂ O	28	0,77	0,39	3,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,46	17	0,14	2	0,1334
Tratamientos	0,45	2	0,22	3,07	0,0911
Sist.de past.	2,01	15	0,13	1,85	0,1635
Error	0,72	10	0,07		
Total	3,18	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH Ca Cl ₂	28	0,7	0,18	4,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,86	17	0,11	1,34	0,3249
Tratamientos	0,49	2	0,24	2,99	0,0962
Sist.de past.	1,37	15	0,09	1,12	0,4387
Error	0,82	10	0,08		
Total	2,67	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.O. (%)	28	0,83	0,55	13,7

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,52	17	0,5	2,92	0,0442
Sist.de past.	2,02	2	1,01	5,89	0,0204
Repeticiones	6,5	15	0,43	2,53	0,0713
Error	1,72	10	0,17		
Total	10,24	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca ⁺⁺	28	0,69	0,17	17,2

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17,48	17	1,03	1,32	0,3348
Sist.de past.	3,12	2	1,56	2	0,1856
Repeticiones	14,36	15	0,96	1,23	0,3794
Error	7,79	10	0,78		
Total	25,27	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg ⁺⁺	28	0,83	0,55	25,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14,91	17	0,88	2,94	0,0436
Sist.de past.	3,84	2	1,92	6,42	0,0161
Repeticiones	11,07	15	0,74	2,47	0,0762
Error	2,99	10	0,3		
Total	17,89	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K ⁺	28	0,76	0,35	22,23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,54	17	0,15	1,84	0,1635
Sist.de past.	0,26	2	0,13	1,58	0,2525
Repeticiones	2,28	15	0,15	1,88	0,1587
Error	0,81	10	0,08		
Total	3,35	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na ⁺	28	0,67	0,12	27,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,56	17	0,03	1,21	0,3898
Sist.de past.	0,08	2	0,04	1,4	0,2913
Repeticiones	0,48	15	0,03	1,18	0,4023
Error	0,27	10	0,03		
Total	0,83	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
P (mg dm ⁻³)	28	0,54	0	25,32	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25263,26	17	1486,07	0,69	0,7613
Sist.de past.	15516,96	2	7758,48	3,59	0,0669
Repeticiones	9746,3	15	649,75	0,3	0,9822
Error	21617,56	10	2161,76		
Total	46880,82	27			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
H+ Al	28	0,84	0,58	14,7	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,17	17	0,3	3,17	0,0341
Sist.de past.	3,08	2	1,54	16,03	0,0008
Repeticiones	2,09	15	0,14	1,45	0,2794
Error	0,96	10	0,1		
Total	6,13	27			

Evaluación 2019

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
pH H2 O	12	0,36	0	7,3	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,86	5	0,17	0,69	0,6508
Sist.de past.	0,8	2	0,4	1,61	0,2757
Repeticiones	0,05	3	0,02	0,07	0,9719
Error	1,49	6	0,25		
Total	2,35	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
pH Ca Cl2	12	0,44	0	6,39	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,75	5	0,15	0,94	0,515
Sist.de past.	0,7	2	0,35	2,21	0,1911
Repeticiones	0,05	3	0,02	0,1	0,9563
Error	0,95	6	0,16		
Total	1,7	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.O.	12	0,83	0,68	9,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,86	5	0,37	5,69	0,0281
Sist.de past.	1,8	2	0,9	13,74	0,0058
Repeticiones	0,06	3	0,02	0,33	0,8073
Error	0,39	6	0,07		
Total	2,26	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca	12	0,72	0,49	9,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,45	5	1,69	3,13	0,0985
Sist.de past.	6,14	2	3,07	5,68	0,0412
Repeticiones	2,32	3	0,77	1,43	0,3237
Error	3,24	6	0,54		
Total	11,69	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg	12	0,7	0,45	20,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,98	5	0,8	2,82	0,1196
Sist.de past.	2,71	2	1,35	4,79	0,0571
Repeticiones	1,28	3	0,43	1,5	0,3062
Error	1,7	6	0,28		
Total	5,68	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K	12	0,53	0,14	11,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,83	5	0,57	1,35	0,3578
Sist.de past.	1,56	2	0,78	1,87	0,2341
Repeticiones	1,26	3	0,42	1,01	0,4514
Error	2,51	6	0,42		
Total	5,33	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na	12	0,61	0,29	14,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	5	0,01	1,9	0,2284
Sist.de past.	1,50E-04	2	7,50E-05	0,01	0,9864
Repeticiones	0,05	3	0,02	3,16	0,1072
Error	0,03	6	0,01		
Total	0,08	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P	12	0,31	0	12,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1347,06	5	269,41	0,53	0,7464
Sist.de past.	579,08	2	289,54	0,57	0,5917
Repeticiones	767,98	3	255,99	0,51	0,6917
Error	3029,83	6	504,97		
Total	4376,89	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
H + Al	12	0,53	0,14	17,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,35	5	0,27	1,36	0,3554
Sist.de past.	1,31	2	0,65	3,28	0,1089
Repeticiones	0,05	3	0,02	0,08	0,9692
Error	1,19	6	0,2		
Total	2,55	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
V	12	0,64	0,34	1,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29,84	5	5,97	2,11	0,1946
Sist.de past.	16,16	2	8,08	2,86	0,1342
Repeticiones	13,69	3	4,56	1,61	0,2823
Error	16,95	6	2,83		
Total	46,8	11			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CIC	12	0,62	0,31	11,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40,66	5	8,13	1,99	0,2138
Sist.de past.	28,92	2	14,46	3,53	0,0969
Repeticiones	11,75	3	3,92	0,96	0,4714
Error	24,56	6	4,09		
Total	65,23	11			

8 A. Análisis de varianza de la variable altura del pasto pre y post-pastoreo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA NTES	60	0,58	0,56	12,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8971,3	2	4485,65	39,18	<0,0001
Sist.de past.	8971,3	2	4485,65	39,18	<0,0001
Error	6526,3	57	114,5		
Total	15497,6	59			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA DESPUES	60	0,53	0,51	13,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8179,6	2	4089,8	32,02	<0,0001
Sist.de past.	8179,6	2	4089,8	32,02	<0,0001
Error	7281	57	127,74		
Total	15460,6	59			

9 A. Análisis de varianza de la variable masa seca del pasto pre y post-pastoreo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
MS Antes del Ing.	15	0,46	0,37	25,4	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25959320,8	2	12979660,4	5,14	0,0245
Sist.de past.	25959320,8	2	12979660,4	5,14	0,0245
Error	30327211,2	12	2527267,6		
Total	56286531,9	14			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
MS Después del Ing.	15	0,38	0,28	23,28	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12050838,7	2	6025419,36	3,72	0,0553
Sist.de past.	12050838,7	2	6025419,36	3,72	0,0553
Error	19432319,2	12	1619359,93		
Total	31483157,9	14			

10 A. Valores de la resistencia mecánica del suelo a la penetración

Sis. P	Rep.	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm	20 - 25 cm	25 - 30 cm	30 - 35 cm	35 - 40 cm	40-45 cm	45 - 50 cm	50 - 55 cm	55 - 60 cm	60 - 65 cm	65 - 70 cm	70 - 75 cm	75 - 80 cm
PRI	R1	0,89	0,98	0,94	0,94	0,96	0,98	0,96	0,97	0,96	0,93	0,92	0,91	0,9	0,91	0,9	0,87
PRI	R2	0,78	0,86	0,85	0,82	0,87	0,79	0,76	0,79	0,8	0,77	0,78	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
PRI	R3	0,8	1,07	0,99	0,9	0,79	0,75	0,77	0,83	0,81	0,86	0,88	0,93	0,87	0,85	0,83	0,88
PRI	R4	0,64	0,94	0,97	0,98	1,04	1,07	1,07	1,05	1,04	1,06	1,14	1,05	1,06	1,05	1,02	0,91
PRI	R5	0,85	1,15	1,27	1,24	1,27	1,33	1,5	1,42	1,35	1,44	1,49	1,44	1,35	1,35	1,23	1,18
PRI	R6	0,78	1,13	1,18	1,12	1,05	1,04	1,03	1,08	1,06	1,29	1,33	1,31	1,24	1,18	1,19	1,21
PRI	R7	0,75	1,22	1,49	1,49	1,4	1,27	1,1	1,15	1,28	1,07	1,08	1,05	1	1,01	1	1
PRI	R8	0,78	1,2	1,26	1,18	1,08	1,05	1,02	1,03	1,07	1,18	1,23	1,2	1,16	1,11	1,09	1,1
PRI	R9	0,76	1,02	1,08	1,07	1,08	1,04	0,96	0,94	1,02	0,77	0,76	0,76	0,77	0,75	0,73	0,73
PRI	R10	1,01	1,29	1,23	1,12	1,12	1,1	1,07	0,99	1,08	1,27	1,13	1,08	1,02	1,05	1,13	1,04
PRI	R11	1,05	1,18	1,09	0,98	1	1,1	1,07	1,07	1,04	1,02	1,01	1,05	1,1	1,01	1,01	1
PRI	R12	0,75	0,98	1,02	0,93	0,81	0,82	0,78	0,76	0,82	0,73	0,7	0,67	0,66	0,62	0,61	0,59
PRI	R13	1,08	1,33	1,2	1,21	1,1	1	1,06	1,33	1,14	1,42	1,43	1,37	1,33	1,26	1,21	1,23
PRI	R14	0,91	1,11	1,06	1,07	0,96	0,79	0,79	0,75	0,87	0,84	0,84	0,86	0,9	0,84	0,85	0,85
PRI	R15	0,77	1,35	1,16	0,97	0,93	0,89	0,9	0,89	0,92	0,79	0,77	0,72	0,71	0,68	0,67	0,66
PRI	R16	0,85	1,14	1,04	0,97	0,91	0,95	0,93	0,9	0,93	0,96	0,98	0,96	0,85	0,84	0,82	0,75
PRM	R1	0,96	0,96	0,92	1	1,09	1,11	1,14	1,2	1,11	1,27	1,28	1,28	1,37	1,36	1,33	1,31
PRM	R2	0,68	0,95	1,01	0,96	0,97	0,92	0,84	0,84	0,9	0,93	0,96	1,02	1,02	0,96	0,95	0,95
PRM	R3	0,66	0,82	0,83	0,77	0,7	0,69	0,68	0,73	0,71	0,73	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,72
PRM	R4	0,8	0,88	0,83	0,76	0,65	0,68	0,69	0,71	0,7	0,75	0,77	0,77	0,76	0,75	0,75	0,77
PRM	R5	0,91	1,14	1,07	1,13	1,08	1,08	1,12	1,08	1,1	1,17	1,18	1,22	1,27	1,2	1,2	1,2
PRM	R6	0,95	1,22	1,24	1,25	1,23	1,27	1,31	1,34	1,28	1,39	1,41	1,38	1,36	1,37	1,33	1,27
PRM	R7	0,87	1,16	1,12	1,15	1,19	1,11	0,9	0,74	1,02	0,82	0,79	0,84	0,92	0,89	0,86	0,85
PRM	R8	0,91	1,08	1,04	1,04	0,94	0,8	0,84	0,74	0,82	0,69	0,67	0,68	0,67	0,67	0,66	0,64
PRL	R1	0,53	0,84	1,03	1,01	1,03	1,11	1,19	1,31	1,13	1,56	1,63	1,67	1,69	1,63	1,62	1,61
PRL	R2	0,66	0,78	0,9	0,85	0,86	0,89	1	1,01	0,92	1,01	1,08	1,09	1,17	1,09	1,09	1,09
PRL	R3	0,68	0,83	0,84	0,8	0,78	0,81	0,84	0,9	0,83	1,12	1,33	1,29	1,13	1,1	1,12	1,13
PRL	R4	0,74	1,05	1,13	1,11	1,16	1,23	1,34	1,49	1,26	1,74	1,9	2,05	1,94	1,96	2,05	1,95

11 A. Valores de contenido de agua en el suelo

Sistemas de pasoreo.	Repeticiones	Contenido de agua (%)
PRI	R1	22
PRI	R2	24
PRI	R3	22
PRI	R4	23
PRI	R5	24
PRI	R6	18
PRI	R7	10
PRI	R8	9
PRI	R9	18
PRI	R10	22
PRI	R11	23
PRI	R12	16
PRI	R13	23
PRI	R14	23
PRI	R15	21
PRI	R16	25
PRM	R1	25
PRM	R2	22
PRM	R3	20
PRM	R4	21
PRM	R5	24
PRM	R6	23
PRM	R7	17
PRM	R8	13
PRL	R1	29
PRL	R2	28
PRL	R3	26
PRL	R4	29

12 A. Valores de densidad aparente y porosidad total del suelo

Sistemas de pasoreo.	Repeticiones	Densidad Aparente (g cm ⁻³)			Porosidad total del suelo (%)		
		0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
PRI	R1	1,55	1,55	1,55	41,7	41,6	41,5
PRI	R2	1,52	1,51	1,49	42,5	43,1	43,8
PRI	R3	1,64	1,55	1,62	38,3	41,4	38,8
PRI	R4	1,49	1,49	1,60	43,7	43,7	39,5
PRM	R1	1,52	1,47	1,50	42,6	44,5	43,3
PRM	R2	1,58	1,63	1,52	40,3	38,3	42,6
PRM	R3	1,48	1,56	1,61	44,3	41,0	39,3
PRM	R4	1,62	1,70	1,60	38,9	35,8	39,7
PRL	R1	1,64	1,49	1,52	38,0	43,8	42,8
PRL	R2	1,46	1,55	1,61	45,0	41,4	39,3
PRL	R3	1,62	1,53	1,63	38,8	42,2	38,5
PRL	R4	1,44	1,44	1,50	45,5	45,6	43,3

13 A. Valores de velocidad de infiltración del agua en el suelo

Sistemas de pasoreo.	Repeticiones	Infiltración 2018 (h pulg ⁻¹)		Infiltración 2019 (h pulg ⁻¹)	
		Primera lectura	Segunda lectura	Primera lectura	Segunda lectura
PRI	R1	0,31	0,79	0,50	1,79
PRI	R2	0,55	1,68	0,12	0,91
PRI	R3	0,18	0,60	0,11	0,21
PRI	R4	0,10	0,29	0,24	0,51
PRM	R1	0,21	0,52	0,11	0,62
PRM	R2	0,10	0,24	0,27	0,46
PRM	R3	0,50	1,28	0,04	0,31
PRM	R4	0,74	1,63	0,33	1,08
PRL	R1	0,19	0,54	0,02	0,15
PRL	R2	0,77	1,81	0,25	0,47
PRL	R3	0,97	2,24	0,11	0,60
PRL	R4	0,67	1,82	0,32	1,11

14 A. Valores de altura del pasto del antes y después del ingreso de los animales a los potreros

Sistemas de pasoreo.	Repeticiones	Altura del pasto (cm)	
		Pre-pastoreo	Post-pastoreo
PRI	R1	85	91
PRI	R2	100	70
PRI	R3	86	110
PRI	R4	92	81
PRI	R5	112	101
PRI	R6	75	94
PRI	R7	92	81
PRI	R8	74	92
PRI	R9	90	105
PRI	R10	108	90
PRI	R11	93	86
PRI	R12	107	109
PRI	R13	107	107
PRI	R14	98	119
PRI	R15	84	94
PRI	R16	94	100
PRI	R17	102	94
PRI	R18	94	107
PRI	R19	98	107
PRI	R20	82	102
PRM	R1	114	102
PRM	R2	97	98
PRM	R3	101	76
PRM	R4	105	102
PRM	R5	85	87
PRM	R6	109	82
PRM	R7	85	90
PRM	R8	82	79
PRM	R9	117	77
PRM	R10	110	80
PRM	R11	102	80
PRM	R12	115	87
PRM	R13	75	82
PRM	R14	100	76
PRM	R15	111	77
PRM	R16	104	65
PRM	R17	95	75
PRM	R18	109	78
PRM	R19	99	82
PRM	R20	100	79
PRL	R1	68	68

14 A. Valores de altura del pasto del antes y después del ingreso de los animales a los potreros (Continuación).

Sistemas de pasoreo.	Repeticiones	Altura del pasto (cm)	
		Pre-pastoreo	Post-pastoreo
PRL	R2	78	79
PRL	R3	76	68
PRL	R4	95	95
PRL	R5	71	70
PRL	R6	60	74
PRL	R7	85	93
PRL	R8	67	66
PRL	R9	56	72
PRL	R10	73	69
PRL	R11	69	78
PRL	R12	67	49
PRL	R13	66	66
PRL	R14	76	73
PRL	R15	77	69
PRL	R16	74	49
PRL	R17	67	55
PRL	R18	66	53
PRL	R19	89	65
PRL	R20	60	57

15 A. Valores de la masa seca del pasto del antes y después del ingreso de los animales a los potreros

Sistemas de pasoreo.	Repeticiones	Masa seca del pasto (kg ha ⁻¹)	
		Pre-pastoreo	Post-pastoreo
PRI	R1	7497,11	8045,00
PRI	R2	7035,56	5712,22
PRI	R3	6607,88	7980,48
PRI	R4	8561,72	6984,81
PRI	R5	9672,00	4584,20
PRM	R1	9045,45	7679,44
PRM	R2	8431,56	3915,17
PRM	R3	5021,50	4992,19
PRM	R4	4128,48	4680,07
PRM	R5	4608,27	4900,09
PRL	R1	5295,06	4116,60
PRL	R2	3541,17	3754,79
PRL	R3	5138,73	3922,67
PRL	R4	5354,42	3650,34
PRL	R5	3933,28	4070,99

16 A. Evaluación de la variable resistencia mecánica del suelo a la penetración

17 A. Evaluación de la variable densidad aparente del suelo



18 A. Evaluación de la variable velocidad de infiltración del agua en el suelo

19 A. Evaluación de la variable altura y masa seca pre y post-pastoreo del la pastura

