

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**CONTENIDO DE CARBONO Y NITRÓGENO EN DOS CONDICIONES DE
PASTIZAL SEMIDESÉRTICO, EN EL SURESTE DE COAHUILA,
MÉXICO**

POR

JESÚS GAMALIEL CARVAJAL DOMÍNGUEZ

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CONTENIDO DE CARBONO Y NITRÓGENO EN DOS CONDICIONES DE
PASTIZAL SEMIDESERTICO EN EL SURESTE DE COAHUILA, MEXICO

TESIS

Presentada por

JESÚS GAMALIEL CARVAJAL DOMÍNGUEZ

Que somete a la consideración de H. Jurado Examinador como requisito para
obtener el título de:

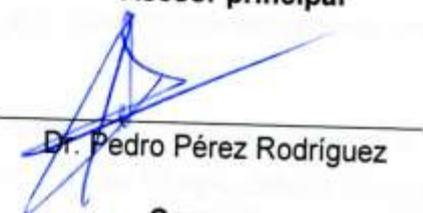
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

APROBADA POR:



Dr. Juan Antonio Encina Domínguez

Asesor principal



Dr. Pedro Pérez Rodríguez

Coasesor



M.C. Sait Juanes Márquez

Asesor principal externo



Dr. José Antonio Hernández Herrera



Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Octubre de 2022

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Celene del Socorro Domínguez Laines especialmente porque fue un pilar muy importante en mi vida, le agradezco por la educación y el amor que me brindo.

A mi hermano Hermilo Carvajal Domínguez, por el apoyo que me ofreció en cada momento difícil que se me presentaba en la vida.

A mi padre Gamaliel Carvajal Núñez, a pesar de que las circunstancias no me permitieron compartir momentos importantes en mi vida con él, le agradezco de todo corazón por todo.

A mi Abuela Eriberta Laines, por enseñarme el respeto a la madre tierra, el amor por la naturaleza y a las plantas medicinales.

A mi abuelo Hermilo Domínguez Valencia por enseñarme a trabajar la tierra y por enseñarme el respeto hacia los animales.

A Azucena Álvarez Bautista por motivarme todos los días, y recordarme los valioso que soy en los momentos que me encontraba mentalmente agotado.

A mis tíos y mis primos, Miguel, Fernanda, Sofía, Jesús, Trancita, Anyelo, Riger, Rodin, Ronnie, Chapis, Julissa, Vannesa, Jackson, Bety, Rodin Jr, Vaquita, Nairobi, Laura, Karen, Edwin, Fabian.

A mis amigos Jorge, Clara, Karina, Oscar Marines, Rene, Darío, Soto, Marco, Alejandro, Cristian, Favian, Salas, Cirilo, Ricardo, Itzel, Ponce, Clara, Toro, Erasmo, Braulia, Silva, Carmen, Omar, Fabricio.

DEDICATORIA

Al Dr. Juan Antonio Encina Domínguez, por confiar en mí potencial y brindarme todas las herramientas necesarias para la realización de la tesis.

Al M.C Sait Juanes Márquez, por inspirarme en la metodología y apoyarme en el seguimiento a lo largo del trabajo de investigación.

Al Dr. Pedro Pérez Rodríguez, por ayudarme y guiarme en el análisis de las muestras de campo.

Dr. José Antonio Hernández Herrera, por motivarme y demostrarme su apoyo en todo momento.

Al Ing. Leticia Castillo Balcázar, por apoyarme en la caracterización del sitio y la recolecta de muestras.

A mis compañeros, Azucena, Alejandro y Luz por acompañarme en la recolecta de datos.

A Dios, a mi Familia y Amigos por hacer todo esto posible.

DECLARACION DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

JESUS GAMALIEL CARVAJAL DOMINGUEZ

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE	VI
RESUMEN	X
I. INTRODUCCIÓN	1
1.2 Objetivo general	2
1.3 Específicos	2
1.4 Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Suelo	3
2.2 Pastizal Semidesértico	3
2.3 Bienes y Servicios producidos por los Pastizales	3
2.4 Carbono orgánico	5
2.5 Ciclo del Carbono	5
2.7 Ciclo del Nitrógeno	6
2.8 Manejo y uso del suelo	7
2.9 Método de Walkley & Black para estimar el contenido de las fracciones del suelo.....	7
2.10 Interacción entre usos de la tierra, almacenamiento de carbono y nitrógeno en el suelo	8
2.10. 1 Reservas de carbono y nitrógeno a través del tiempo	9
2.12 El pastoreo y sus efectos generales en la cubierta vegetal.....	10
2.13 El pastoreo y la materia orgánica del suelo	12
2.14 Cambio Climático	14
2.14.1 Sumidero de Carbono en la convención marco de Naciones Unidas .	14

2.14.2 Sumideros del protocolo de Kyoto	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Área de estudio	17
3.2 Metodología.....	18
3.3 Caracterización de los potreros	19
3.3.1 Potrero 2	19
3.3.2 Potrero 19	19
3.4 Variables a evaluar	19
3.4.1 Carbono Orgánico.....	19
3.4.2 Materia Orgánica.....	19
3.4.3 Nitrógeno Total	20
3.4.4 Contenido del Potencial de Hidrógeno.....	20
DISCUSIÓN	26
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. LITERATURA CITADA	30
VII. ANEXOS.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Contenido de carbono, materia orgánica, nitrógeno total y pH en el suelo del potrero 19.....	21
Cuadro 2.	Contenido de carbono, materia orgánica, nitrógeno total y pH en el suelo del potrero 2.....	21
Cuadro 3.	Resultado de la comparación de medias de la prueba t de Student en el programa IBM SPSS Statistics 21. (\bar{x} = Media, DE= Desviación estándar, t= Distribución, P= Probabilidad, D de Cohen= Tamaño del efecto CP= Constante pastoreo, DP= Descanso de pastoreo).....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sitios de estudios del Rancho Experimental Los Ángeles.....	17
Figura 2.	Muestreo al azar estratificado en cada potrero.....	18
Figura 3.	Contenido de Carbono Orgánico.....	23
Figura 4.	Contenido de Materia Orgánica.....	23
Figura 5.	Contenido de Nitrógeno Total.....	24
Figura 6.	Contenido de pH.....	25

RESUMEN

Los pastizales semidesérticos propician servicios ecosistémicos como la provisión de hábitat a la fauna silvestre, cosecha de agua, producción de alimento y la captura y almacenamiento de nitrógeno y carbono. En el sureste de Coahuila se evaluaron dos sitios en un pastizal en pastoreo constante y un pastizal semidesértico en descanso por cuatro meses, ubicados en el rancho Los Ángeles. En cada sitio se realizó el muestreo de suelo a una profundidad variable de 10-20 cm. Se extrajeron 10 muestras de suelo en cada sitio, se tomó un kg de cada muestra de suelo con una barrena, la cual contaba con un diámetro de 5 cm. Las muestras se llevaron al laboratorio para los análisis del porcentaje de contenido, donde se aplicó el método de Walkley y Black. Se determinó el contenido de carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total y el potencial de hidrogeno de cada potrero. El análisis estadístico se realizó con las pruebas estadísticas de t de Student con el programa IBM SPSS Statistics 21. Se encontró mayor contenido de nitrógeno total (2.74 %), materia orgánica (4.72 %), carbono orgánico (6.94 %) y pH (8.55) en el potrero en constante pastoreo, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en comparación al potrero en descanso donde presento menor contenido de nitrógeno total (2.25 %), materia orgánica (3.88 %), carbono orgánico (5.71 %) y pH (8.47). En conclusión, la introducción de ganado bovino al pastizal semidesértico acelera los procesos biogeoquímicos, por lo tanto, influye en el aumento del contenido de nitrógeno y carbono en el suelo.

Palabras claves: Cambio climático, Servicios ecosistémicos, Suelo, Nitrógeno, Carbono.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es cualquier cambio en el clima sobre el tiempo a causa de la variabilidad natural y a las actividades antropogénicas del hombre. Es una amenaza ambiental a nivel global. El cual es caracterizado por alteraciones en distintos factores como en las temperaturas y la lluvia, así como concentraciones de gases de efecto invernadero que provocan cambios en los ecosistemas (IPCC, 2022).

Los pastizales semidesérticos son áreas con vegetación natural, las cuales son hábitat para especies de fauna silvestre, que proporcionan bienes y servicios, sin embargo, se ha encaminado por mucho tiempo a la producción ganadera lo que ha generado sobrepastoreo (Holecheck *et al.*, 1998).

La presencia del ganado genera cambios en el ciclo del carbono y el ciclo del nitrógeno, acelerando o reduciendo los procesos bioquímicos, los cuales puede atraer efectos negativos en el suelo (Chang *et al.*, 2018), debido a los cambios sociales y económicos los pastizales han adquirido gran importancia ecológica, bajo un concepto de servicios ecosistémicos como la cosecha de agua, la generación de aire limpio, el paisajismo y secuestro de carbono (Schmitt *et al.*, 2021).

La velocidad de ciclo del nitrógeno y el carbono aumentan su disponibilidad debido al pastoreo, a causa de la rápida devolución en formas inorgánicas realizada por los herbívoros entre zonas sin pastoreo y otras pastoreadas (Frank y Evans 1997, McNaughton *et al.*, 1997).

Sin embargo, Lavado y Taboada (1985) indican que el carbono orgánico del suelo se mantiene en niveles similares a los anteriores después de la presencia y alimentación del ganado bovino, señalando leve disminución en la materia orgánica del suelo.

1.1 Justificación

Los gases de efecto invernadero provocan alteraciones en el ecosistema, por su parte los pastizal han demostrado ser capaces de capturar y almacenar los gases que provocan el cambio climático, por ende se evaluó el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en el suelo de dos condiciones de pastizal semidesértico, con el propósito de analizar el comportamiento de nutrientes en un potrero con presencia constante de ganado bovino y otro potrero en descanso del pastoreo por cuatro meses en el rancho Los Ángeles, Saltillo, Coahuila, México.

1.2 Objetivo general

Evaluar el contenido de carbono y nitrógeno en dos áreas de pastizal semidesértico sometidos a diferentes condiciones de manejo.

1.3 Objetivo específico

- Cuantificar el contenido de carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno y pH en el suelo de un pastizal semidesértico en descanso y un pastizal semidesértico en constante pastoreo.

1.4 Hipótesis

Ho. No existe diferencia significativa en el contenido de carbono orgánico, en la cantidad de materia orgánica, en el nitrógeno total y pH del suelo de un pastizal semidesértico en constante pastoreo en comparación a un pastizal en descanso.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Suelo

El suelo es un cuerpo natural que consiste en horizontes del suelo, compuestas de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo se define como el producto final de la influencia combinada con el tiempo, clima, topografía, flora, fauna y el ser humano, así como rocas y minerales originarios. Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas (FAO, 2022).

Por otro lado, Orsag (2010) indica que desde el punto de vista agronómico, el recurso suelo debería estar formado de manera proporcional por una parte sólida 50% que corresponde a minerales y materia orgánica, una parte aérea aproximadamente de 50% que corresponde a la fase líquida conocida como solución del suelo y otra gaseosa con presencia de oxígeno, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno y amonio.

2.2 Pastizal Semidesértico

Este tipo de vegetación se compone de pastos amacollados y rastreros distribuidos en valles y áreas donde la pendiente es suave menor del 10%, se encuentran entre sierras o lomeríos que forman valles o mesas con poco grado de inclinación. Las especies más comunes son: *Bouteloua gracilis* (zacate navajita azul), *Disakisperma dubium* (zacate gigante), *Hopia obtusa* (zacate guía), *Bothriochloa barbinodis* (zacate popotillo plateado), *Digitaria californica* (zacate punta blanca), *Aristida ternipes* (zacate tres barbas), *Aristida adscensionis* (zacate tres barbas anual), *Scleropogon bevifolius* (Zacate burrero), entre otros (Juarez, 2020).

2.3 Bienes y Servicios producidos por los Pastizales

Los pastizales son tierras sin cultivar capaces de proveer hábitat para herbívoros domésticos y silvestres. Su manejo implica la manipulación de sus componentes

para obtener una óptima combinación de bienes y servicios para una sociedad sobre una base sostenible. Anteriormente, sus bienes han estado encaminados a obtener una producción ganadera únicamente (Holecheck *et al.*, 1998).

Los pastizales son la vegetación más importante debido a la gran superficie que ocupa y los múltiples servicios ecosistémicos que proporciona, como la captura y el almacenamiento de carbono (Santos *et al.* 2021).

Por otro lado, Schmitt *et al.* (2021) menciona que los pastizales permanentes ofrecen una combinación importante de servicios ecosistémicos que incluyen provisión de hábitat, secuestro de carbono, protección de la calidad de agua, producción de alimentos y actividades culturales, entre otros.

Un número que se encuentra en constante crecimiento de países de todo el mundo están modificando sus políticas agrícolas y ganaderas para mejorar el desempeño ambiental en las tierras productivas, a través de pagos financieros a las granjas (Vojtech, 2010).

En los países de primer mundo el modelo dominante se centra en los pagos por la retirada de las tierras de producción, debido a que la tierra alcanza un mayor valor ambiental cuando se retira la agricultura y la ganadería, restaurándola a su estado natural (Baylis *et al.*, 2008).

El segundo modelo se basa en el otorgamiento de fondos a los agricultores para reducir su impacto ambiental y mantener al mismo tiempo los sistemas de producción intensivos. Por otra parte, el tercer modelo, más común en Europa y otras regiones del mundo, se basa en incentivar a los productores para que realicen prácticas más respetuosas con el medio ambiente, denotando que un valor ambiental está asociado con las tierras agrícolas y con los pastizales (Baylis *et al.*, 2008; Vojtech, 2010).

2.4 Carbono orgánico

El carbono orgánico en el suelo representa materiales de origen vegetal, animal y microbiano que se encuentran en diversas etapas de descomposición y se asocian con la fracción mineral con diferentes grados de intimidad. La fauna del suelo puede crear y estabilizar poros. La porosidad total que se mide en un momento determinado en suelos que no se hinchan está influenciada por las características del suelo, como la textura, el contenido de carbono orgánico, y por el manejo. Los macro poros pueden representar hasta un tercio de la porosidad total de los suelos. (Kay, 2018)

2.5 Ciclo del Carbono

El ciclo del carbono es la circulación del carbono en diversas formas a través de la naturaleza. Las plantas utilizan la fotosíntesis para hacer uso del dióxido de carbono, presente en la atmosfera o disuelto en el agua, el carbono pasa a formar parte de los tejidos vegetales en forma de hidratos de carbono, grasas y proteínas, y el oxígeno es devuelto a la atmosfera mediante la respiración. Así, el carbono pasa a través de los herbívoros que comen las plantas y de ese modo utilizan, reorganizan y degradan los compuestos de carbono. Gran parte del carbono es liberado pero el 10 % se almacena en los tejidos animales y pasa a los carnívoros, que se alimentan de los herbívoros. El carbono presente en los desechos animales y en los cuerpos de todos los organismos es liberado como dióxido de carbono por organismos de descomposición o descomponedores, principalmente bacterias y hongos en una serie de transformaciones microbianas (Martín, 2010).

Parte del carbono orgánico se ha acumulado en la corteza terrestre en forma de combustibles fósiles, por ejemplo, carbón, gas, petróleo, piedra caliza y coral. El carbono de los combustibles fósiles, eliminado del ciclo en tiempos prehistóricos, ahora se libera en grandes cantidades como dióxido de carbono a través de procesos industriales y agrícolas, gran parte pasa rápidamente a los océanos y ahí se fija como carbonatos. Si el oxígeno escasea como en aguas residuales,

marismas y pantanos, se libera algo de carbono en forma de gas metano (Martín, 2010).

2.7 Ciclo del Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial, un macronutriente para todos los seres vivos. Además de ser un componente específico de las proteínas, está presente en la mayor parte de las combinaciones orgánicas de los vegetales. Actualmente está demostrado que es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas, y que un deficiente suministro de este nutriente puede provocar notables descensos en la producción vegetal. A su vez, es fuente de las sustancias proteicas que aseguran la nutrición del hombre y de los animales en general. Tanto sus deficiencias como sus excesos en los suelos tienen gran impacto en la salud y en la productividad de los ecosistemas mundiales (Benimeli, 2019).

De acuerdo con Lazcano (2017) el ciclo del nitrógeno es cada uno de los procesos biológicos y abióticos en que se basa el suministro de los seres vivos, es uno de los ciclos geoquímicos importantes en que se basa el equilibrio dinámico de la composición de la biosfera terrestre. En la atmósfera, es donde se encuentra el nitrógeno atmosférico (N_2), pero esta molécula no puede ser utilizada por la mayoría de los seres vivos, excepto algunas bacterias, esas bacterias y algas cianofíceas que pueden usar el nitrógeno del aire, juegan un papel importante en el ciclo de este elemento al hacer fijación del nitrógeno, de esta forma convierten el nitrógeno en otras formas químicas, en nitratos y amonio, los cuales son asimilables por las plantas.

El metabolismo de los compuestos nitrogenados en los animales se transforma en amonio (NH_4) que es muy tóxico y debe ser eliminado, esta eliminación se hace en forma de amoníaco (NH_3), algunos peces y organismos acuáticos, o en forma de urea del hombre u otros mamíferos, también en forma de ácido úrico de aves y otros animales de zonas secas. Estos compuestos van a la tierra o al agua de donde pueden tomarlos de nuevo las plantas o ser usados por algunas bacterias (Lazcano, 2017).

2.8 Manejo y uso del suelo

Estudios realizados por Caballero y Miranda (2014) indican que en suelos del Altiplano Central Boliviano, el manejo de parcelas influye en el contenido de nitrógeno mineral, donde una parcela con seis años de descanso presentó mayor contenido de nitratos, mientras que una parcela con cultivo continuo de quinua, presentó un 66 % menos de nitrógeno mineral en comparación a la parcela con seis años de descanso.

Por otro lado, Vargas y Sandy (2017) mencionan que la cantidad de nitrógeno en suelos agrícolas del intersalar del altiplano boliviano está íntimamente relacionado con el contenido de materia orgánica y que además es influenciado por los cambios de las propiedades físicas del suelo, por el uso indiscriminado de la maquinaria agrícola, los restos vegetales que son pobres en proteínas y biomasa, lo que influye negativamente en el proceso de mineralización, como la erosión permanente de los suelos y los cambios en el ambiente microbiológico del suelo.

El nitrógeno que está presente en el suelo no es estático, al contrario, es dinámico, la cantidad existente de nitrógeno en el suelo está controlado por las condiciones climáticas y por la vegetación. Los suelos con mayor contenido de arcilla contienen más nitrógeno que otro tipo de suelos (Fautapo, 2008).

2.9 Método de Walkley & Black para estimar el contenido de las fracciones del suelo.

Con este método se estima el contenido de carbono orgánico total de una muestra de suelo, completo o de alguna de sus fracciones. Es el método más utilizado en los laboratorios edafológicos para evaluar la materia orgánica del suelo. Según el *Soil Survey Laboratory* (1995), este método actúa sobre las formas más activas del carbono orgánico que posee el suelo y no produce una oxidación completa de dichos compuestos, por lo que se deben hacer ajustes a los resultados del laboratorio, cuando se quieren expresar en términos de contenido de materia

orgánica. El *Soil Survey Laboratory* (1996) recomienda utilizar un factor de corrección igual a 1.724, asumiendo que la materia orgánica tiene 58 % de carbono orgánico (Carreira, 2010).

2.10 Interacción entre usos de la tierra, almacenamiento de carbono y nitrógeno en el suelo

La mayoría del carbono entra a los ecosistemas vía fotosíntesis, siendo más evidente el almacenamiento cuando se da en la biomasa superficial, sin embargo, los suelos son los que poseen la mayor cantidad de este elemento, ya que más de la mitad del que es asimilado finalmente llega a la parte subterránea por medio del crecimiento, el movimiento y los exudados de las raíces de las plantas, además de la descomposición de hojarasca (Montagnini y Fair, 2004). Por otro lado, los depósitos de carbono orgánico en el suelo representan un equilibrio dinámico de pérdidas y ganancias que se afectan por procesos erosivos, oxidación, humificación y escorrentía, razón por la cual, el secuestro de carbono se da principalmente en aquellos sistemas que aportan altas cantidades de biomasa, mejoran la estructura del suelo, aumentan la actividad y la diversidad de fauna edáfica y propician mecanismos del ciclo de nutrientes (Lal, 2004).

La habilidad de algunos sistemas para retener nitrógeno atmosférico se asocia con el tipo de vegetación, el estado sucesional, la historia del uso de la tierra, la topografía y las condiciones edáficas (Small y McCarthy, 2005). Sin embargo, las actividades antrópicas que han modificado el paisaje a gran escala, entre las cuales se encuentra la agricultura y la ganadería, han aumentado el nitrógeno al interior de los ecosistemas, generando pérdidas de aniones y cationes del suelo, procesos de acidificación e incremento en la salida de nitrógeno a sistemas acuáticos (Baer *et al.*, 2006).

En otros estudios realizados por Vijai *et al.* (2018), donde analizan los efectos de los sistemas de uso de la tierra sobre la reserva de carbono y nitrógeno en el suelo, seleccionaron cuatro condiciones distintas; tierra estéril, tierra cultivada, pastizales y tierras forestales. Mencionan que los pastizales y bosques poseen los valores

más altos de carbono y nitrógeno total en comparación con las tierras estériles y cultivadas que presentaron menores valores de carbono y nitrógeno.

2.10. 1 Reservas de carbono y nitrógeno a través del tiempo

Se caracterizaron tierras de cultivo abandonadas después de 35 años, debido a la sucesión vegetal se llevó al dominio de la especie *Prosopis glandulosa leñosa*. Las reservas de carbono y nitrógeno de la biomasa aérea aumentaron con la edad de restauración después del abandono de las tierras de cultivo y mostraron una alta tasa de acumulación. Sin embargo, la captación de carbono orgánico y nitrógeno total no mostraron aumento en relación al tiempo de abandono de las tierras de cultivo. Las tierras de cultivo abandonadas con gramíneas después de dos años presentaron mayores contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total en el suelo. Los terrenos con mayor tiempo de abandono con treinta y cinco años de restauración donde dominan especies arbóreas como *P. glandulosa* presentaron bajos contenidos de carbono orgánico en los suelos (Contreras et al., 2021).

2.11 Prácticas de manejo en pastizales

Los pastizales ocupan 54% de la superficie mundial, por lo que las prácticas hacia el manejo de pastizales para reducir las pérdidas o aumentar las reservas de carbono del suelo son muy relevantes. Incluso un pequeño aumento en la reserva de carbono orgánico del suelo resulta en grandes reducciones en las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, son suficientes para limitar el calentamiento global por debajo del umbral de 2°C requerido para la estabilidad climática (Whitehead *et al.*, 2018).

Por su parte Whitehead *et al.* (2018) demostraron que la adición de fertilizantes, la importación de forrajes, la aplicación de estiércol y orina aumentan las reservas de suelo en suelos degradados. Los estudios de renovación han demostrado que las pérdidas a corto plazo de carbono resultantes de la perturbación se pueden mitigar reemplazando con otros zacates, aplicando labranza mínima y evitando los momentos en que el contenido de agua del suelo es alto. Los pastizales que

comprenden múltiples especies también han demostrado que las reservas de carbono del suelo pueden aumentar después de varios años. La intensidad del pastoreo tiene una gran influencia en las reservas de carbono del suelo.

2.12 El pastoreo y sus efectos generales en la cubierta vegetal

El incremento de la carga animal implica alteraciones estructurales y funcionales de las comunidades vegetales. Estas pueden afectar el ciclo de los nutrientes, el flujo de la energía o a la composición de las especies animales y vegetales. Por otra parte, los cambios ocasionados por el pastoreo pueden separarse en los que son consecuencia inmediata del disturbio a corto plazo y los que son producto de la acumulación de efectos de los sucesivos eventos de pastoreo a largo plazo (Piñeiro, 2006).

En un área de vegetación no impactada, el inicio del pastoreo es un disturbio que provoca respuestas inmediatas o de corto plazo. Sin embargo, en muchos ecosistemas este disturbio se torna recurrente y constituye un factor más del ambiente. En este último caso, el pastoreo induce, en el largo plazo, una reorganización del ecosistema. Es esperable que existan diferencias importantes en las respuestas de corto plazo asociadas a respuestas eco fisiológicas, liberación rápida de recursos y las de largo plazo con variaciones en la composición de especies, así como variaciones en las reservas de nutrientes (Piñeiro, 2006).

La interacción del pastoreo con otros disturbios recurrentes como el fuego, puede condicionar las respuestas de los ecosistemas frente al pastoreo. En sitios fuertemente pastoreados la frecuencia e intensidad de los fuegos disminuye y viceversa (Oesterheld *et al.*, 1999). Esto se debe a que ambos disturbios consumen biomasa y por ende compiten por ella, sin embargo, la frecuencia, la intensidad y la distribución de estos difiere notablemente (Bond y Keeley, 2005). Debido a que entre ambos condicionan su ocurrencia y a sus efectos disímiles sobre el funcionamiento eco sistémico.

Existe controversia de la magnitud y sentido de los efectos del pastoreo sobre algunos atributos clave de los ecosistemas (Milchunas y Lauenroth, 1993). Desde el punto de vista biogeoquímico, el pastoreo provoca alteraciones, pero las más importantes ocurren en las entradas de carbono al ecosistema y/o en las salidas de nitrógeno. La modificación de ambos flujos modificará los niveles de materia orgánica del suelo (Burke *et al.*, 1997; Frank *et al.*, 2004). Se ha estudiado los efectos del pastoreo sobre estas variables. Sin embargo, no existe un consenso claro de sus efectos. En el caso del impacto del pastoreo se han realizado importantes esfuerzos por generalizar sus efectos (Milchunas y Lauenroth, 1993, Oesterheld *et al.*, 1999). En cambio son pocos los estudios que tratan de unificar los efectos del pastoreo sobre la materia orgánica del suelo, probablemente por lo variado de las respuestas encontradas, muchas veces en sitios muy cercanos (Derner *et al.*, 2006).

Por otro lado, de acuerdo con Seeber *et al.* (2022) analizaron la partición de depósitos de carbono y nitrógeno en 36 praderas de montañas europeas que difieren en el uso de la tierra y el clima con respecto a la fitomasa, la hojarasca y la capa superior del suelo a 23 cm. Determinaron que una reducción de la intensidad de manejo y el abandono de praderas de heno y pasto aumentaron la fitomasa, la masa de raíces y la hojarasca, así como sus respectivos depósitos de carbono y nitrógeno, al mismo tiempo que disminuyó la contribución fraccional de la capa superficial del suelo al depósito total de carbono orgánico. Estos resultados fueron fuertemente influenciados por la suspensión del pastoreo y la tala de árboles. Dentro del compartimento de la capa superior del suelo, las concentraciones de carbono disminuyeron de los sitios más fríos a los más cálidos y aumentaron con el aumento de la precipitación. El clima influyó en los efectos del uso de la tierra en los depósitos de carbono y nitrógeno a través de la temperatura media anual y menos a través de la precipitación media anual. Se concluyó que se deben considerar las condiciones específicas del sitio para comprender los efectos del uso de la tierra y de los cambios climáticos actuales y futuros en las reservas de carbono y nitrógeno de los pastizales.

2.13 El pastoreo y la materia orgánica del suelo

El carbono orgánico del suelo se mantiene en niveles similares a los anteriores a la introducción de los herbívoros domésticos (Lavado y Taboada 1985; Lavado *et al.*, 1995), por su parte Álvarez (2001) señala que ligeros descensos en la materia orgánica a nivel global, los estudios señalan resultados similares. Sin embargo, se ha registrado incremento en la acumulación de carbono en los pastizales pastoreados con respecto a sitios sin pastoreo y son significativos en los primeros centímetros de suelo (Schuman *et al.*, 1999; Conant *et al.*, 2001).

El ciclo del nitrógeno podría condicionar la acumulación y la reserva de carbono en ecosistemas pastoreados. Debido a la estrecha vinculación entre el carbono y nitrógeno en algunas partes de sus ciclos, es posible que la carencia de un elemento limite la circulación y acumulación del otro (Baisden y Amundson, 2003). Debido a que el nitrógeno limita la productividad de los ecosistemas húmedos o subhúmedos, cobra especial importancia analizar los efectos del pastoreo sobre la circulación de nitrógeno y especialmente sobre las pérdidas de este elemento. La emisión y la lixiviación de nitrógeno ocasionada por el ganado, desde los parches de orina, han sido documentadas (Whitehead y Raistrick, 1993; Frank y Zhang, 1997), pero pocas veces se ha analizado sus consecuencias a largo plazo sobre las reservas de carbono y nitrógeno del ecosistema. Estas pérdidas podrían restringir el almacenamiento de carbono a largo plazo al imponer una limitante adicional asociada a la relativa rigidez de la relación carbono y nitrógeno de la materia orgánica del suelo en pastizales, sobre todo en los reservorios más estables. De la misma forma que para el carbono, es posible determinar el nitrógeno orgánico del suelo para cada fracción de la materia orgánica y analizar los efectos del pastoreo sobre el nitrógeno orgánico del suelo en la materia orgánica de ciclado rápido y lento. A su vez, las variaciones en la relación carbono y nitrógeno de las fracciones entre zonas clausuradas y pastoreadas podrían poner en evidencia restricciones en la disponibilidad de nitrógeno. La velocidad de ciclado del nitrógeno es otro factor que determina la disponibilidad de nitrógeno para las plantas.

Algunos estudios muestran que el nitrógeno aumenta su disponibilidad debido al pastoreo (Frank y Evans, 1997; McNaughton *et al.*, 1997). El aumento de la velocidad de ciclo del nitrógeno, debido a la rápida devolución en formas inorgánicas realizada por los herbívoros, ha sido propuesto como el factor responsable de esta mayor disponibilidad de nitrógeno. A su vez, las emisiones de nitrógeno desde heces y orina ocurren como NH_3 en contraste con las de ecosistemas sin herbívoros, dominadas por N_2O y NO_x (Zheng *et al.*, 2002). Por lo tanto, el pastoreo puede alterar los flujos y formas químicas de nitrógeno hacia la atmósfera, así como la lixiviación del nitrógeno, afectando la dinámica local del carbono en el suelo, la magnitud y forma química de los aportes atmosféricos de nitrógeno al suelo a nivel regional (Bouwman *et al.*, 2002; Neff *et al.*, 2002).

El análisis de los impactos del pastoreo, los contenidos de carbono y nitrógeno en las distintas fracciones de la materia orgánica del suelo, así como la comprensión de los factores que los determinan, es importante para poder estimar las consecuencias de la ganadería a escala regional y diseñar estrategias factibles para aumentar la productividad de los pastizales naturales y el secuestro de carbono (Piñeiro, 2006).

Los suelos con presencia de pastizales son grandes reservas para almacenar carbono y donde el pastoreo puede afectar de forma importante el contenido de carbono del suelo y por lo tanto dependiendo de la presencia de herbívoros como los bovinos que incrementa el almacenamiento de carbono, mientras que los ovinos lo disminuyen por lo tanto hay que determinar las especies que afecten en menor medida a los pastizales (Chang *et al.*, 2018).

Por otra parte, Zhou *et al.* (2019) indican que el pastoreo tiene influencia negativa sobre el almacenamiento de carbono en el suelo, esto porque la presencia del ganado disminuye la biomasa de hojas y raíces de las plantas, lo que reduce el aporte de la hojarasca y por lo tanto la acumulación de carbono y materia orgánica en el suelo.

2.14 Cambio Climático

El cambio climático es considerado por el *Intergovernmental Panel on Climate Change*, como cualquier cambio de clima sobre el tiempo, debido a la variabilidad natural o como un resultado de la actividad humana (IPCC, 2022). El panel Intergubernamental sobre cambio climático fue establecido por la *World Meteorological Organization* y *United Nations Environmental Programme* en 1988, para evaluar información científica, técnica y socioeconómica que fuese relevante para entender el cambio climático es una amenaza ambiental a nivel planeta. El cambio climático caracterizado por alteraciones en los patrones de temperatura y lluvia, así como concentraciones de gases en la atmósfera podrían ser desastrosos para algunos ecosistemas que son sensibles al clima (IPCC, 2022).

Los impactos pueden ocurrir en la circulación de los océanos, nivel del mar, ciclo hidrológico, ciclo de carbón y nutrientes, calidad de aire, la productividad y estructura de los ecosistemas naturales, la productividad y estructura de los ecosistemas naturales, la productividad agrícola, ganadera y forestal, así como la distribución geográfica, comportamiento, abundancia y sobrevivencia de las especies de plantas y animales, incluyendo los vectores y hospederos de las enfermedades humanas. Estos cambios podrán afectar la seguridad humana positiva o negativamente. La seguridad se verá impactada a través de los cambios en los abastecimientos y demanda por agua, alimento, Energía entre otros bienes tangibles que son derivados de estos ecosistemas. Sin embargo, un efecto importante es provocado por las concentraciones de gases en la atmósfera (McCarty, 2001).

2.14.1 Sumidero de Carbono en la convención marco de Naciones Unidas

La convención conformada por 196 países, tiene como objetivo lograr una estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera para impedir perturbaciones peligrosas por actividades antropogénicas en el sistema climático. En la Convención Marco de Naciones Unidas para Cambio Climático, las actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y selvicultura

se incluyen como un sector más, que puede contribuir a la mitigación del cambio climático o a su empeoramiento, dependiendo de las políticas y medidas de lucha contra el cambio climático que se apliquen en dicho sector para lograr el objetivo último de dicha Convención (Protocolo de Kyoto, 2020).

Cada una de las partes adoptará políticas nacionales y tomará las medidas de mitigación del cambio climático, limitando sus emisiones de gases de efecto invernadero, protegiendo y mejorando sus sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero. Esas políticas y medidas demostrarán que los países desarrollados están tomando la iniciativa en lo que respecta a modificar las tendencias a más largo plazo de las emisiones antropogénicas de acuerdo con el objetivo de la presente convención. Lo anterior demuestra la gran importancia que se otorga a los sumideros como elemento de mitigación en la Convención de Cambio Climático (Protocolo de Kyoto, 2020).

2.14.2 Sumideros del protocolo de Kyoto

El protocolo incluye determinadas actividades dentro del sector de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, de las que cada país deberá contabilizarse las emisiones o absorciones netas a efectos del cumplimiento de los objetivos de reducción o limitación de emisiones adquiridos en este protocolo (Protocolo de Kyoto, 2020).

Las actividades relacionadas con uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura permitidas para añadir o sustraer unidades a la cuota de emisión asignada de los países son: forestación, reforestación y deforestación en el artículo 3.3 del Protocolo de Kyoto. Además de éstas, las actividades adicionales que se permiten durante el primer periodo de compromiso son las siguientes: gestión de tierras agrícolas, gestión forestal, gestión de pastizales y revegetación, que se encuentran en el artículo 3.4 (Protocolo de Kyoto, 2020).

Por otro lado, en el marco del Protocolo de Kioto, los sumideros de carbono se refieren al aumento de carbono almacenado en determinados ecosistemas, como

consecuencia de determinadas actividades en el sector de uso de la tierra, cambio de uso del suelo y selvicultura. Como se ha comentado esto queda reflejado en sus artículos 3.3 y 3.4 (Protocolo de Kyoto, 2020).

Todas las absorciones o emisiones derivadas de las actividades obligatorias y de las actividades elegidas por los países, serán restadas si son sumideros o sumadas si son fuentes, a las emisiones del resto de sectores, y contribuirán, como las variaciones de emisiones de otro sector difuso cualquiera, al cumplimiento o incumplimiento de los objetivos de reducción o limitación de emisiones adquiridos en el ámbito del Protocolo de Kyoto (Protocolo de Kyoto, 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el rancho Los Ángeles, localizado en el municipio de Saltillo, Coahuila, acceso por la Carretera Saltillo – Zacatecas. Las coordenadas geográficas entre las cuales se ubica la superficie del rancho son 25° 08' 51" Latitud norte y 100° 58' 07" Longitud Oeste con una altitud de 2,150 m. El uso del suelo es el pastoreo de ganado Charolais además de ganado equino. El clima dominante según el sistema de clasificación de climas de Köppen, modificado por García (2004) presenta la fórmula climática [BWhw(x') (e)] semiárido, con invierno fresco, y temperatura media anual que oscila entre 18 y 22 °C, con precipitación anual de 350 mm (Serrato, 1983).

El muestreo de la estimación del secuestro de Nitrógeno y Carbono se realizó en dos sitios.

- 1) Pastizal semidesértico en constante pastoreo (Potrero 2).
- 2) Pastizal semidesértico en descanso por cuatro meses (Potrero 19).

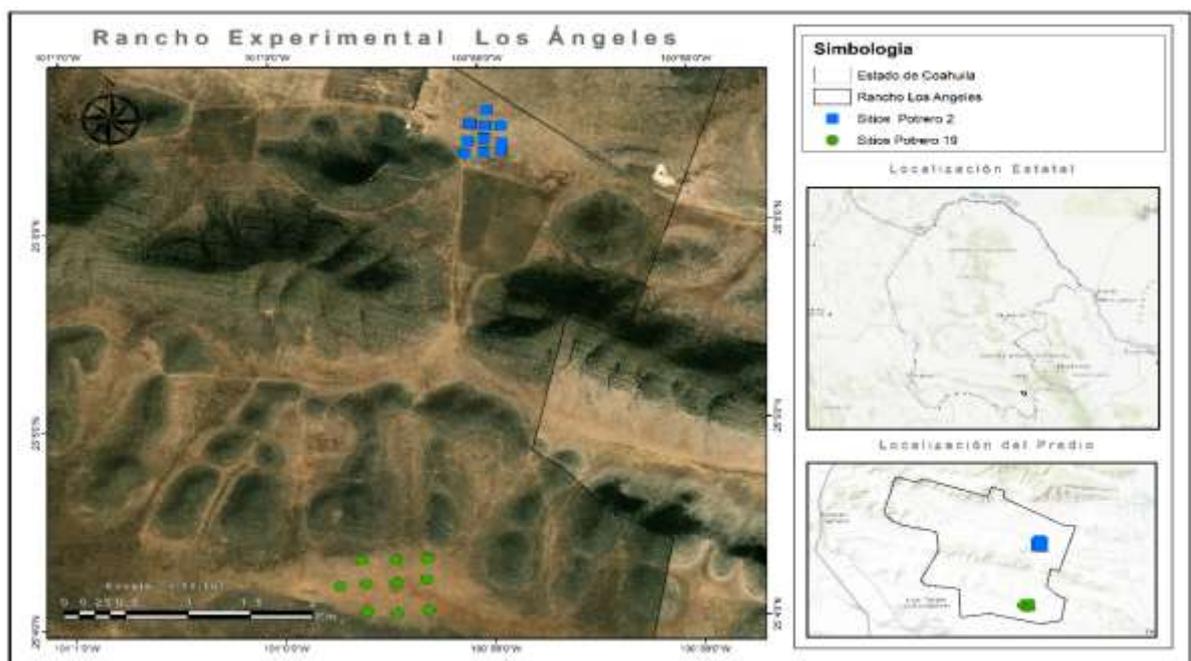


Figura 1. Sitios de muestreo en el Rancho Experimental Los Ángeles

3.2 Metodología

Se seleccionaron dos sitios de pastizal semidesértico con un historial de manejo diferente, el potrero 2 se encontraba en constante pastoreo de ganado bovino con bebederos y el potrero 19 esta limitada por falta de bebederos, además se mantuvo en descanso del pastoreo por cuatro meses para comparar la influencia del manejo sobre el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en el suelo entre los dos sitios a evaluar.

En cada sitio se realizó una colecta de 10 muestras con una profundidad de 10 cm dispersados al azar estratificada mente proporcional. En cada área se utilizó una barrena con un diámetro de 5 cm y se tomó 1 kg de suelo para cada muestra. Las muestras se colocaron en una bolsa y se etiquetaron de acuerdo al número de sitio.

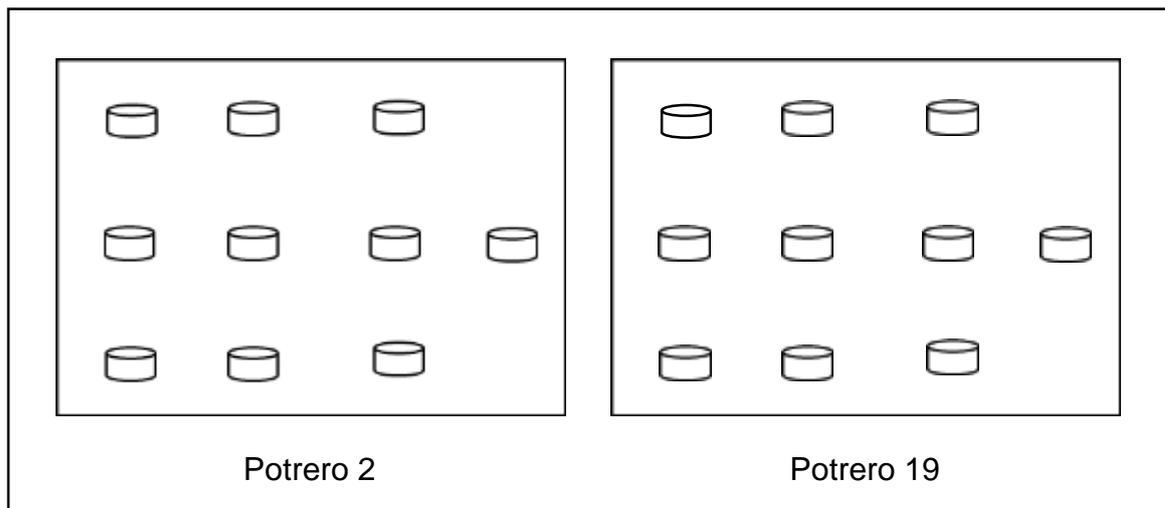


Figura 2. Muestreo al azar estratificado en cada potrero.

Las muestras de suelo se trasladaron al laboratorio de planeación ambiental y edafología, se estibarón las muestras y se colocaron en recipientes de aluminio de 40 ml dentro de un horno de aire caliente a 120°C por 24 horas. Se utilizó un potenciómetro para medir el pH y se aplicó el Método de Black & Wackley (1934) para el análisis del porcentaje del contenido de cada fracción del suelo.

3.3 Caracterización de los potreros

3.3.1 Potrero 2

Pastizal semidesértico dominado por gramíneas principalmente por: *Bouteloua dactyloides*, *B. curtipendula*, *B. gracilis*, *B. hirsuta*, *Muhlenbergia villiflora*, *Aristida adscensionis* y *Nassella tenuissima*, algunas herbáceas como: *Acalypha phleoides*, *Castilleja lanata*, *Eriogonum atrorubens*, *Argemone echinata*, y arbustivas que crecen aisladas como: *Berberis trifoliata* y *Buddleja scordioides*.

3.3.2 Potrero 19

El área en donde se tomaron los datos es un valle con vegetación dominante de gramíneas principalmente por además de *Bouteloua gracilis*, *B. curtipendula*, *Muhlenbergia villiflora*, *M. torreyi*, especies herbáceas como son: *Dyssodia tenuifolia*, *D. papposa*, *Dyschoriste linearis*, *Portulaca oleracea*, *Ambrosia confertiflora* y *Verbena neomexicana*. Algunas arbustivas: *Buddleja scordioides*.

3.4 Variables a evaluar

3.4.1 Carbono Orgánico

Para determinar el carbono orgánico se utilizó el método de Walkley y Black (1934), en el cual el suelo se oxida con una solución de dicromato de potasio estandarizada, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado en la solución crómica.

3.4.2 Materia Orgánica

Para determinar la materia orgánica se utilizó el método de Walkley y Black (1934), la muestra se trata con un volumen conocido de solución de dicromato de potasio que actúa como oxidante, en un medio fuertemente ácido con (Ácido sulfúrico) en una proporción estipulada. El calor desprendido por la reacción del Ácido Sulfúrico

al diluirse favorece la acción del dicromato de potasio para que oxide la materia orgánica. El exceso de oxidante se determina titulando con una solución de sulfato de hierro de normalidad conocida, que actúa como reductor.

3.4.3 Nitrógeno Total

Para la estimación del nitrógeno total se realizó de forma directa después de aplicar el método de Walkley y Black (1934). Se basa en una combustión de la muestra en una corriente de oxígeno con posterior cuantificación del nitrógeno que se desprende. Se cuantifican las formas orgánica y amónica, y con ciertas modificaciones se pueden incluir los nitratos. Éstos deberían incluirse cuando se los encuentra en cantidades apreciables, dado que una concentración en el suelo de 500 ppm de nitratos sólo representa un 0.01% del N total.

3.4.4 Contenido del Potencial de Hidrógeno.

Para la estimación del pH se utilizó un potenciómetro de marca Redlemon, modelo 81234. El medidor de pH es un instrumento utilizado para medir la acidez o la alcalinidad de una solución, también llamado de pH. El potencial de hidrogeno es la unidad de medida que describe el grado de acidez o alcalinidad y es medido en una escala que va de 0 a 14.

IV. RESULTADOS

El potrero con pastizal semidesértico en constante pastoreo que se muestra en el Cuadro 2 presentó mayor contenido de carbono orgánico (6.94 %), materia orgánica (4.72 %), nitrógeno total (2.74 %) y potencial de hidrogeno (8.55) en comparación al potrero con pastizal semidesértico en descanso del pastoreo que se muestra en el Cuadro 1, donde presentó menor contenido de nitrógeno total (2.25 %), materia orgánica (3.88 %), carbono orgánico (5.71 %) y potencial de hidrogeno (8.47).

Por su parte para las muestras del potrero 19, se registró un mayor contenido de carbono orgánico (4.29%), materia orgánica (7.40%), nitrógeno total (10.88%) en la M4 y del potencial de hidrogeno (9.38) en la M3.

Cuadro 1. Contenido de carbono, materia orgánica, nitrógeno total y pH en el suelo del potrero 19 en descanso por cuatro meses.

Muestras Potrero 19	Carbono Orgánico%	Materia Orgánica%	Nitrógeno Total%	pH
M1	3.39	5.85	8.60	8.46
M2	3.14	5.41	7.96	9.18
M3	3.59	6.19	9.10	9.38
M4	4.29	7.40	10.88	8.22
M5	1.37	2.35	3.46	8.30
M6	2.93	5.04	7.42	7.98
M7	0.74	1.27	1.87	8.46
M8	0.92	1.58	2.32	8.70
M9	0.43	0.74	1.09	8.38
M10	1.76	3.03	4.45	7.66

Cuadro 2. Contenido de carbono, materia orgánica, nitrógeno total y pH en el suelo del potrero dos en constante pastoreo.

Muestras Potrero 2	Carbono Orgánico %	Materia Orgánica %	Nitrógeno Total %	pH
M1	1.71	2.96	4.35	8.46
M2	4.48	7.73	11.24	8.54
M3	2.21	3.79	5.583	8.30
M4	2.76	4.69	7.01	8.54
M5	2.85	4.96	7.36	8.70
M6	1.95	3.36	4.94	8.46

M7	1.77	3.06	4.50	8.78
M8	1.75	3.02	4.44	8.70
M9	2.81	4.84	7.12	8.46
M10	5.11	8.81	12.95	8.62

En las muestras del potrero 2, se encontró mayor contenido de carbono orgánico (5.11%), materia orgánica (8.81%), nitrógeno total (12.95%) en la M10 y el potencial de hidrogeno (8.78) en la M7.

Cuadro 3. Resultado de la comparación de medias de la prueba t de student en el programa IBM SPSS Statistics 21.

Variables	Potrero 2 (CP)	Potrero 19 (DP)	t	P	D
	\bar{x} (DE)	\bar{x} (DE)			
Carbono Orgánico	2.74 (1.18)	2.25 (1.36)	0.846	.408	0.378
Materia Orgánica	4.72 (2.03)	3.88 (2.36)	0.847	.408	0.378
Nitrógeno	6.94 (2.97)	5.71 (3.47)	0.853	.405	0.381
pH	8.55 (0.14)	8.47 (0.51)	0.497	.625	0.222

(\bar{X} =Media, DE= Desviación estándar, t= Distribución, P= Probabilidad, D de Cohen= Tamaño del efecto, CP= Constante pastoreo, DP= Descanso del pastoreo).

4.1 Análisis del contenido de Carbono Orgánico

En el análisis del carbono orgánico no se registraron diferencias estadísticas significativas en los potreros, donde el potrero dos en constante pastoreo presentó (\bar{x} =2.74; DE=1.18) mayor contenido de carbono que en el potrero 19 en descanso del pastoreo por cuatro meses (\bar{x} =2.25; DE=1.36) t (18).846, p=.408, d=0.378.

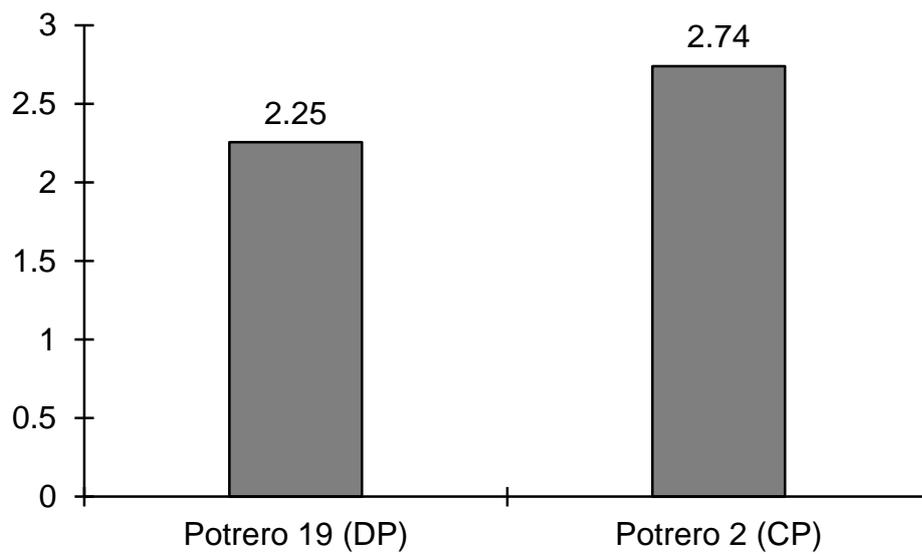


Figura3. Contenido de Carbono Orgánico %.

4.2 Análisis del contenido de Materia Orgánica

En el análisis de la materia orgánica no se registraron diferencias estadísticas significativas en los potreros, donde el potrero dos en constante pastoreo presentó (\bar{x} = 4.72; DE= 2.03) mayor contenido de materia orgánica que en el potrero 19 en descanso del pastoreo por cuatro meses (\bar{x} = 3.88; DE= 2.36) $t(18).847$, $p= .408$, $d=0.378$.

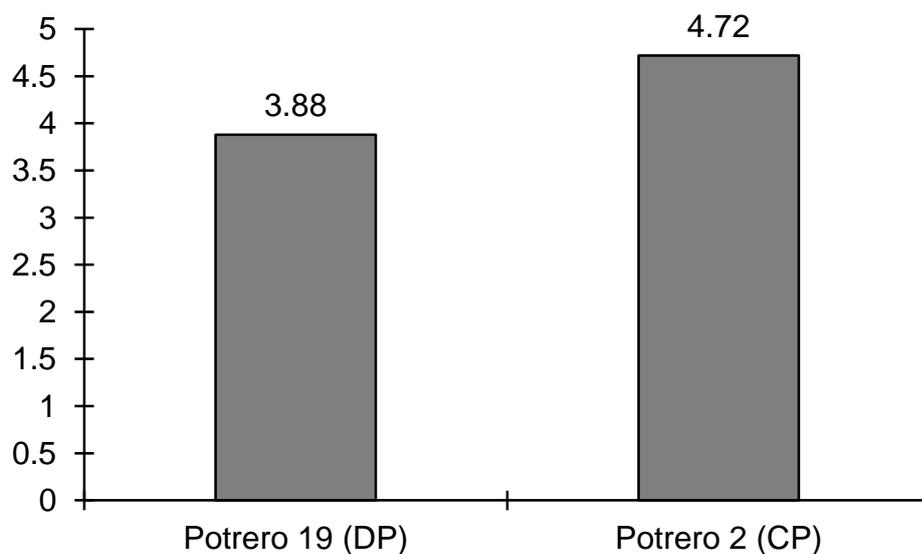


Figura 4. Contenido de materia orgánica. %

4.3 Análisis del contenido de Nitrógeno Total

En el análisis del Nitrógeno no se observan diferencias estadísticas significativas en los potreros, donde el potrero dos en constante pastoreo presentó (\bar{x} =6.94; DE=2.97) mayor contenido de nitrógeno que en el potrero 19 en descanso del pastoreo por cuatro meses (\bar{x} =5.71; DE=3.47) t (18).853, p=.405, d=0.381.

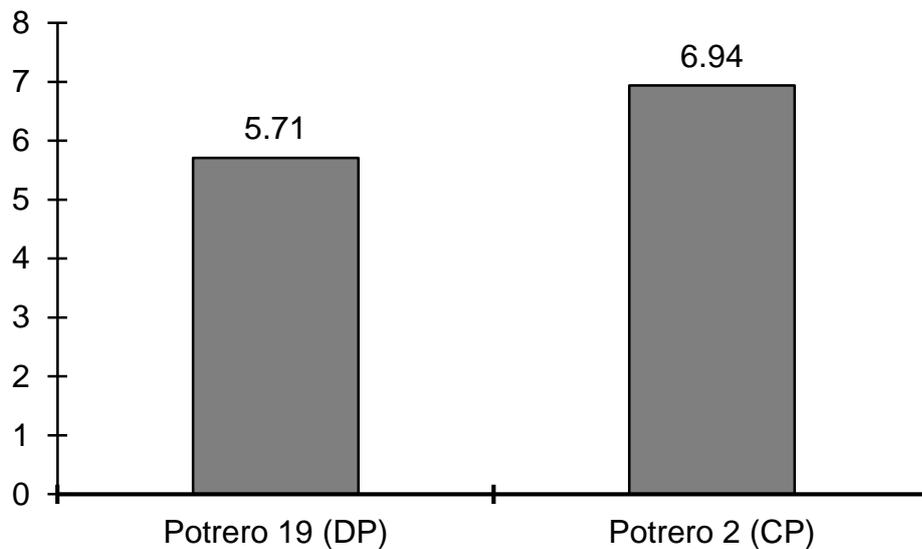


Figura 5. Contenido de Nitrógeno Total. %

4.4 Análisis del contenido de pH

En el análisis del pH no encontramos diferencias estadísticas significativas en los potreros, donde el potrero dos en constante pastoreo presentó (\bar{x} =8.55; DE=0.14) mayor alcalinides que en el potrero 19 en descanso del pastoreo por cuatro meses (\bar{x} =8.47; DE=0.51) t (18).497, p=.625, d=0.222, r=0.110.

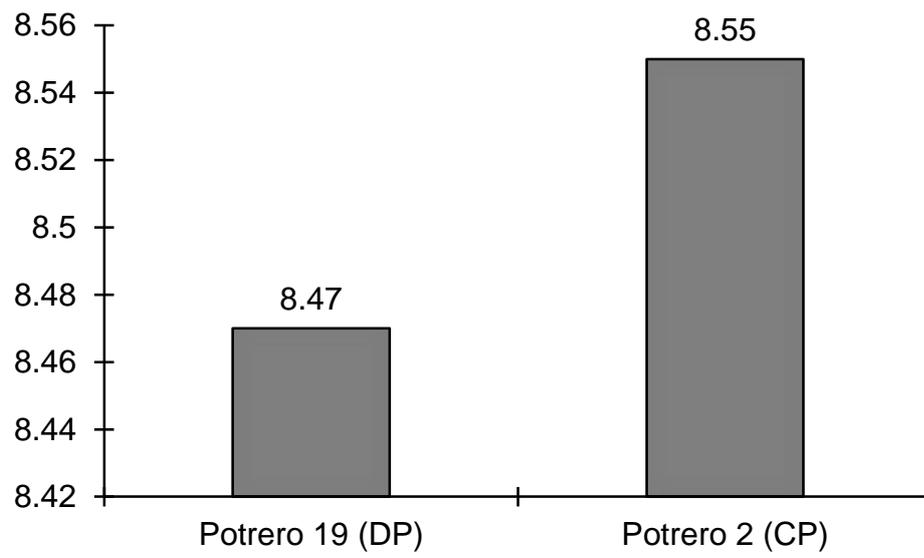


Figura 6. Contenido del pH.

V. DISCUSIÓN

De acuerdo a los siguientes numerales 4.1 al 4.4, las variables evaluadas de los potreros con pastizal semidesértico no presentaron diferencias significativas, lo que indica que los factores de contenido de carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total y pH no difieren, por lo tanto el periodo de cuatro meses del ganado bovino en el potrero de descanso no incrementa los contenidos de las variables estudiadas, mientras que la aportación de nitrógeno y materia orgánica del ganado no es significativa en las dos condiciones. Sin embargo, se aprecia mayor contenido en el potrero dos en constante pastoreo (CP) en comparación al potrero 19 en descanso (DP) por cuatro meses (Piñeiro, 2006).

El pastoreo ocasiona alteraciones en la entrada y salida del nitrógeno y carbono al ecosistema, lo que modifica los niveles de materia orgánica en el suelo (Milchunas y Lauenroth 1993, Burke *et al.*, 1997; Frank *et al.*, 2004). Por otra parte, no coincide con las investigaciones de Lavado y Taboada (1985) y de Lavado *et al.* (1995) que indican que el carbono orgánico del suelo se mantiene en niveles similares a los anteriores después de la introducción de los herbívoros domésticos, mientras que (Álvarez, 2001) señala un ligero descenso en la materia orgánica.

Sin embargo, se concuerda con Schuman *et al.* (1999) y Conant *et al.* (2001), quienes encontraron incrementos en la acumulación de carbono orgánico en los pastizales pastoreados con respecto a situaciones sin pastoreo, pero generalmente significativos de 5 a 10 cm del suelo ellos proponen al pastoreo como un potencial instrumento para secuestrar carbono.

De acuerdo con Baisden y Amundson (2003) concluyen que el ciclo del nitrógeno podría condicionar la acumulación y la reserva de carbono en ecosistemas pastoreados. Debido a la estrecha vinculación existente entre el carbono y nitrógeno en algunas partes de sus ciclos, es posible que la carencia de un elemento limite la circulación y acumulación del otro.

Lo anterior, concuerda con Frank y Evans (1997) y McNaughton *et al.* (1997) donde la velocidad del ciclo del nitrógeno y carbono aumenta su disponibilidad debido al pastoreo a causa de la rápida devolución en formas inorgánicas realizada por los herbívoros entre zonas clausuradas y pastoreadas.

Por otra parte, no coincide con Contreras *et al.* (2021) debido a que no se registró un aumento en el contenido de carbono orgánico y nitrógeno en relación con el tiempo de abandono de tierras de cultivo. Proponiendo la restricción del pastoreo cuando no evaluó la introducción del ganado como variable.

En contraparte, concuerda con Vijai *et al.* (2018) donde analizaron los efectos de uso de la tierra sobre la reserva de carbono y nitrógeno en el suelo, donde seleccionaron cuatro condiciones distintas; tierra estéril, tierra cultivada, pastizales y tierras forestales. Determinaron que en los pastizales y en los bosques poseen los valores más altos de carbono y nitrógeno total, en comparación con las tierras estériles y cultivadas, que presentaron menor valor de carbono y nitrógeno.

Por otro lado, no coincide con Seeber *et al.* (2022) en la cual analizaron los depósitos de carbono y nitrógeno en 36 praderas de montañas europeas que difieren en el uso de la tierra donde determinaron que una reducción de la intensidad de manejo y el abandono de praderas de heno y pasto aumentaron la fitomasa, la masa de raíces y la hojarasca, así como sus respectivos depósitos de carbono y nitrógeno, al mismo tiempo que disminuyó la contribución fraccional de la capa superficial del suelo al depósito total de carbono orgánico. Estos resultados están influenciados por la suspensión del pastoreo y la tala de árboles.

Se considera que el pastoreo tiene influencia negativa sobre el almacenamiento de carbono en el suelo, esto porque la presencia del ganado disminuye la biomasa de hojas y raíces de las plantas, lo que reduce el aporte de la hojarasca y por lo tanto la acumulación de carbono y materia orgánica en el suelo (Zhou *et al.*, 2019). se considera que el bajo número de muestras analizadas por potrero y además el corto tiempo de descanso, no indican que haya afectaciones en el contenido de carbono o materia orgánica. Lo anterior, coincide con Whitehead *et al.* (2018) han

demostrado que las reservas de carbono del suelo pueden aumentar después de periodos de varios años. La intensidad del pastoreo tiene una gran influencia en las reservas de carbono del suelo.

Finalmente, concuerda con Chang *et al.* (2018) quienes indican que los suelos del pastizal son grandes reservas para almacenar carbono y donde el pastoreo puede afectar de forma importante el contenido de carbono del suelo, dependiendo de la presencia de herbívoros como los bovinos que incrementa el almacenamiento de carbono, mientras que los ovinos lo disminuyen, por lo tanto, es importante determinar las especies que afectan en menor medida a los pastizales y a los servicios ecosistémicos que estos proporcionan.

V. CONCLUSIÓN

Los contenidos de carbono orgánico, materia orgánica, pH y nitrógeno total del porcentaje de las fracciones del suelo demuestran que el apacentamiento del ganado bovino en el pastizal semidesértico acelera los procesos biogeoquímicos, por lo tanto, contribuye al aumento del contenido y almacenamiento de nitrógeno y carbono en el suelo.

VI. LITERATURA CITADA

- Albareda**, J. M. 1940. Regeneración de suelos salinos. Madrid: Biosca.
- Alvarez**, R. 2001. Estimation of carbon losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using the Century model. *Soil Use and Management* 17: 62-66.
- Baer**, S.G., Church, J.M., Williard, K.W.J. y Groninger, J.W. 2006. Changes in intrasystem N cycling from N₂-fixing shrub encroachment in grassland: multiple positive feedbacks. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115: 174-182.
- Baisden**, W. T., R. Amundson, D. L. Brenner, A. C. Cook, C. Kendall y J. W. Harden. 2003. A multiisotope C and N modeling analysis of soil organic matter turnover and transport as a function of soil depth in a California annual grassland soil chronosequence. *Global Biogeochemical Cycles* 16: 1135.
- Baylis** K, Peplow S, Rausser G, and Simon L. 2008. Agri-environmental policies in the EU and United States: a comparison. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 65: 753–64.
- Benimeli**, M.F. 2019. El nitrógeno del suelo. Tucumán, Argentina.: Cátedra de Edafología.
- Bond**, W.J. y J.E. Keeley. 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 387-394.
- Bouwman**, A.F., L.J.M. Boumans y N.H. Batjes. 2002. Estimation of global NH₃ volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands. *Global Biogeochemical Cycles* 16: 1024.
- Burke**, I.C., W.K. Lauenroth y D. Milchunas. 1997. Biogeochemistry of managed grasslands in Central North America. pp 85-102
- Caballero**, A., y Miranda, R. 2014. Nitrógeno mineral y actividad microbiana en suelos del altiplano. *Andescrop*, 67-68.
- Chang**, Q., Wang, L., Ding, S., Xu, T., Li, Z., Song, X., ... y Pan, D. 2018. Grazer effects on soil carbon storage vary by herbivore assemblage in a semi-arid grassland. *Journal of Applied Ecology* 55: 2517-2526.

- Contreras, A., Mata, R., Trejo, R., Pedroza, A., Prado, D., y Abdallahb, M.** 2021. Carbon and nitrogen stocks through time in abandoned croplands of the Comarca Lagunera, Mexico. *Agriculture. Ecosystems & Environment*, 7-8.
- Derner, J., T. Boutton y D. Briske.** 2006. Grazing and Ecosystem Carbon Storage in the North American Great Plains. *Plant and Soil* 280: 77-90.
- FAO.** 2022. Organización de la Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de Portal de suelos de la FAO: <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Fautapo.** 2008. Programa Quinua Altiplano Sur. Informe: Fertilidad, uso y manejo de suelos en la zona del Intersalar, Departamentos Influencia de la dosis de estiércol ovino y bioinsumo en la Mineralización del Nitrógeno 98 de: Oruro y Potosí. Oruro – Bolivia. 105 p.
- Frank, D.A. y R.D. Evans.** 1997. Effects of native grazers on grassland N cycling in Yellowstone National Park. *Ecology* 78: 2238-2248.
- Frank, D.A. y Y.M. Zhang.** 1997. Ammonia volatilization from a seasonally and spatially variable grazed grassland: Yellowstone National Park. *Biogeochemistry* 36: 189-203.
- García, E.** 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana (3r ed., 252 p). México D.F.: UNAM.
- Holecheck, J.L.** 1981. Brush. Control impacts on rangeland wildlife. *J. Soil Wailey.* 1982. Fire ecology Jolen Wiley & Sons Inc. N.Y.
- Holecheck, J.L., R.D. Pieper y C.H. Herbel.** 1998. Range Management Principles and practices. 3er Ed. Prentize Hall Press 542.
- IPCC.** 2022. land use, Land-use change, and Forestry a special report of IPCC.
- IPCC.** 2022. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva y Nairobi, WMP/UNEP.

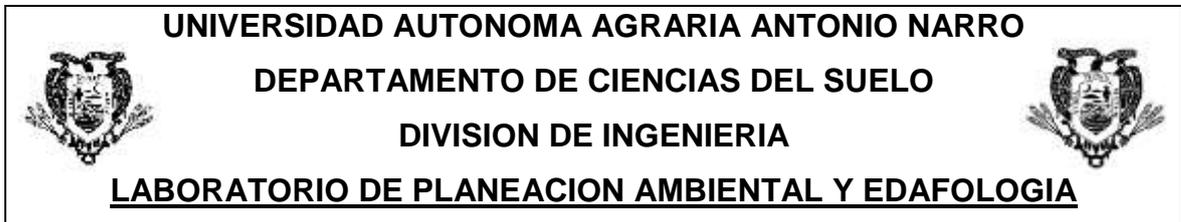
- IPCC.** Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático. 2022. Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC. Documento técnico II del IPCC.
- Juárez, A.** 2020. Tipos de vegetación, Pastizales. Obtenido de IMC Vida Silvestre A. C.: <http://www.imcvidasilvestre.org/blog/tipos-de-vegetacion-pastizales>.
- Kay, B.** 2018. Soil Structure and Organic Carbon. Soil Science.
- Kyoto, P.** 1998. Protocolo de Kioto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas, 3-6.
- Lal, R.** 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science 304(5677):1623-1626.
- Lal, R.** 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma 123, 1-22.
- Lavado, R. S. y M. A. Taboada.** 1985. Influencia del pastoreo sobre algunas propiedades químicas de un natracuol de la pampa deprimida. Ciencia del Suelo 3:102-108.
- Lazcano, G.** 2017. El ciclo del nitrógeno. Obtenido de PREZI: <https://prezi.com/msfh1u53ddib/ciclo-del-nitrogeno/>
- McCarty, J.P.** 2001. Ecological consequences of recent climate change. Conservation Biology.
- McNaughton, S., F. Banyikwa y M. McNaughton.** 1997. Promotion of the cycling of diet-enhancing nutrients by African grazers. Science 278: 1798-1800.
- Milchunas, D.G. y W.K. Lauenroth.** 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. Ecological Monographs 63: 327-366.
- Montagnini, F., Nair, P.K.R.** 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. Agroforestry Systems 61: 281-295.
- Neff, J. C., A.R. Townsend, G. Gleixner, S.J. Lehman, J. Turnbull y W.D. Bowman.** 2002. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. Nature 419: 915 - 917.

- Oosterheld, M., J. Loreti, M. Semmartin y J. Paruelo.** 1999. Grazing, fire, and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. Walker, editor. *Ecosystems of disturbed ground*. Amsterdam. Elsevier, Pag. 287-306.
- Orsag, V.** 2010. El recurso suelo "Principios para su manejo y conservación". Bolivia: Zeus.
- Piñeiro, G.** 2006. Biogeoquímica del carbono y nitrógeno en los pastizales pastoreados del río de plata. Buenos Aires: Udelar.
- Santos J.L., Moreira F., Ribeiro P.F., Canadas M.J., Novais A. y Lomba A.** 2021. A farming systems approach to linking agricultural policies with biodiversity and ecosystem services. *Frontiers in Ecology and Environment* 19(3), 168-175.
- Schmitt T.M., Martín-López B., Kaim A., Früh-Müller A. y Koellner T.** 2021. Ecosystem services from pre-alpine grasslands: Matches and mismatches between citizens' perceived suitability and farmers' management considerations. *Ecosystem Services* 49, 101284.
- Schuman, G. E., H. H. Janzen y J. E. Herrick.** 2002. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution* 116:391-396.
- Schuman, G. E., J. D. Reeder, J. T. Manley, R. H. Hart y W. A. Manley.** 1999. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. *Ecological Applications* 9:65-71.
- Seeber, J., Tasser, E., Rubatscher, D., Loacker, I., Lavorel, S., Robson, T. M., . . . Cernusca, A.** 2022. Effects of land use and climate on carbon and nitrogen pool partitioning in European mountain grasslands. *Agriculture. Ecosystems & Environment*, 153-180.
- Small, C.J., McCarthy, B.C.** 2005. Relationship of understory diversity to soil nitrogen, topographic variation, and stand age in an eastern oak forest, USA. *Forest Ecology and Management* 217, 229–243.
- SPSS.** Statistical Product and Service Solution. Inc., 2021.
- USDA.** 1998. Soil Taxonomy. Washington, DC: Soil Surveys.
- Vargas, M. y Sandy, A.** 2017. Tecnologías de manejo de suelos agrícolas en la región del intersealar del altiplano boliviano. La Paz, Bolivia.: ICCA.

- Vijay**, S. M., Mondal, T., Pandey, B. M., Mukherjee, A., Yadav, R. P., Choudhary, M., . . . Pattanayak, A. 2018. Land use changes: Strategies to improve soil carbon and nitrogen storage pattern in the mid-Himalaya ecosystem, India. Elsevier, 69-78.
- Vojtech** V. 2010. Policy measures addressing agri-environmental issues. Paris, France: Organization for Economic Co-operation and Development.
- Walkley**, A. y C.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method, *Soil Sciences* 37:29-38.
- Whitehead**, D.C. y N. Raistrick. 1993. The volatilization of ammonia from cattle urine applied to soils as influenced by soil properties. *Plant Soil* 148:43-51.
- Whitehead**, D., Schipper, L. A., Pronger, J., Moineta, G. Y., Mudge, P. L., Pereira, R. C., . . . Camps-Arbestain, M. 2018. Management practices to reduce losses or increase soil carbon stocks in temperate grazed grasslands: New Zealand as a case study. *Agriculture. Ecosystems & Environment*. 432-443.
- Zheng**, X., C. Fu, X. Xu, X. Yan, Y. Huang, S. Han, F. Hu y G. Chen. 2002. The Asian nitrogen cycle case study. *Ambio* 31: 79-87.
- Zhou**, G., Luo, Q., Chen, Y., He, M., Zhou, L., Frank, D., ... y Zhou, X. 2019. Effects of livestock grazing on grassland carbon storage and release override impacts associated with global climate change. *Global Change Biology*, 25, 3, 1119-1132.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Informe de análisis de muestras.



INFORME DE ANALISIS DE MUESTRAS

Muestras	Carbono orgánico, %	Materia orgánica, %	Nitrógeno total, %	pH
M4P19	4.29	7.40	10.88	8.22
M8P19	0.92	1.58	2.32	8.70
M2P19	3.14	5.41	7.96	9.18
M6P19	2.93	5.04	7.42	7.98
M10P19	1.76	3.03	4.45	7.66
M1P19	3.39	5.85	8.60	8.46
M5P19	1.37	2.35	3.46	8.30
M3P19	3.59	6.19	9.10	9.38
M9P19	0.43	0.74	1.09	8.38
M9P2	2.81	4.84	7.12	8.46
M10P2	5.11	8.81	12.95	8.62
M7P2	1.77	3.06	4.50	8.78
M1P2	1.71	2.96	4.35	8.46
M2P2	4.48	7.73	11.24	8.54
M8P2	1.75	3.02	4.44	8.70
M7P19	0.74	1.27	1.87	8.46
M6P2	1.95	3.36	4.94	8.46
M3P2	2.21	3.79	5.58	8.30
M4P2	2.76	4.69	7.01	8.54
M5P2	2.85	4.96	7.36	8.70

Anexo 2. Prueba T de Student (Valor F y Significancia).

Prueba de muestras independientes		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	Sig.
Contenido de carbono	Se han asumido varianzas iguales	1.507	.235
Contenido de nitrógeno	Se han asumido varianzas iguales	1.504	.236
Contenido de materia orgánica	Se han asumido varianzas iguales	1.555	.228
Contenido de pH	Se han asumido varianzas iguales	5.372	.032

Anexo 3. Prueba T de Student (Distribución y Grados de libertad).

Prueba de muestras independientes		Prueba T para la igualdad de medias	
		t	gl
Contenido de carbono	Se han asumido varianzas iguales	.846	18
	No se han asumido varianzas iguales	.846	17.617
Contenido de nitrógeno	Se han asumido varianzas iguales	.847	18
	No se han asumido varianzas iguales	.847	17.612
Contenido de materia orgánica	Se han asumido varianzas iguales	.853	18
	No se han asumido varianzas iguales	.853	17.577
Contenido de pH	Se han asumido varianzas iguales	.497	18
	No se han asumido varianzas iguales	.497	10.423

Anexo 4. Prueba T de Student (Significancia bilateral y Diferencia de medias).

Prueba de muestras independientes		Prueba T para la igualdad de medias	
		Sig. (bilateral)	Diferencias de medias
Contenido de carbono	Se han asumido varianzas iguales	.408	.48400
	No se han asumido varianzas iguales	.409	.48400
Contenido de nitrógeno	Se han asumido varianzas iguales	.408	.83600
	No se han asumido varianzas iguales	.408	.83600
Contenido de materia orgánica	Se han asumido varianzas iguales	.405	1.23430
	No se han asumido varianzas iguales	.405	1.23430
Contenido de pH	Se han asumido varianzas iguales	.625	.08400
	No se han asumido varianzas iguales	.629	.08400

Anexo 5. Prueba T de Student (Error típico de la diferencia e Intervalo de confianza inferior).

Prueba de muestras independientes		Prueba T para la igualdad de medias	
		Error tip. De la diferencia	95% intervalo de confianza...
			Inferior
Contenido de carbono	Se han asumido varianzas iguales	.57189	-.71750
	No se han asumido varianzas iguales	.57189	-.71938
Contenido de nitrógeno	Se han asumido varianzas iguales	.98679	-1.23716
	No se han asumido varianzas iguales	.98679	-1.24044
Contenido de materia orgánica	Se han asumido varianzas iguales	1.44671	-1.80513
	No se han asumido varianzas iguales	1.44671	-1.81038
Contenido de pH	Se han asumido varianzas iguales	.16900	-.27105
	No se han asumido varianzas iguales	.16900	-.29049

Anexo 6. Prueba T de Student (Intervalo de confianza superior)

Prueba de muestras independientes		Prueba T para la igualdad de medias
		95% intervalo de confianza...
		Superior
Contenido de carbono	Se han asumido varianzas iguales	1.68550
	No se han asumido varianzas iguales	1.68738
Contenido de nitrógeno	Se han asumido varianzas iguales	2.90916
	No se han asumido varianzas iguales	2.91244
Contenido de materia orgánica	Se han asumido varianzas iguales	4.27373
	No se han asumido varianzas iguales	4.27898
Contenido de pH	Se han asumido varianzas iguales	.43905
	No se han asumido varianzas iguales	.45849

Anexo 7. Vista panorámica Pastizal semidesértico del Potrero 2, nótese la presencia de ganado y suelos con poca cobertura de plantas donde dominan especies como *Bouteloua dactyloides*, *B. curtipendula*, *B. gracilis*, *B. hirsuta*, *Muhlenbergia villiflora*, *Aristida adscensionis*, *Nassella tenuissima*.



Anexo 8. Vista panorámica Pastizal semidesértico del Potrero 19, nótese la ausencia de ganado y la amplia cobertura vegetal donde dominan especies como *Bouteloua gracilis*, *B. curtipendula*, *Muhlenbergia villiflora*, *M. torreyi*, *Dyssodia tenuifolia*, *D. papposa*.

