

## Comunicación

# Modificaciones de las propiedades físicas en entisoles del Chaco seco para recuperación de pastizales degradados

Ayan, Hugo<sup>1,\*</sup>, Castro Ibarra, José<sup>1</sup>, Alvarado, Isaías<sup>1</sup> y Collante Bustos, Jonathan<sup>1</sup>

1 Universidad Nacional de La Rioja -INDELLaR – Sede Chemical (La Rioja, Argentina)  
\* hayan@unlar.edu.ar

Recibido: 14/11/2023  
Aceptado 29/08/2024

**Resumen.** El objetivo del estudio fue evaluar el impacto de diferentes herramientas de descompactación (rastra de discos y rolo trozador) y la aplicación de estiércol en la infiltración y la compactación (Resistencia a la Penetración - RSP) del suelo en praderas de Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) en el Chaco Seco argentino. El ensayo se llevó a cabo en pasturas con más de 10 años de establecimiento, ya que se observó que la producción disminuye a partir de esta edad. La toma de las muestras se realizó durante dos años consecutivos al finalizar la estación seca (menor humedad edáfica), el diseño experimental fue de dos factores: Laboreo (tres niveles, Rolado, Rastra de discos y sin Laboreo) y Adición de estiércol (dos niveles, Si/No). La hipótesis fue que la descompactación y la adición de estiércol producirían disminución de la compactación y un aumento de la infiltración recuperando la productividad del pastizal. Los resultados muestran que las variables analizadas se modificaron, mostrando disminución en la RSP con diferencia para el Laboreo ( $p < 0,0002$ ), ordenándose de la siguiente forma con laboreo < sin laboreo, no se observaron diferencias significativas para el factor de Adición de Estiércol en el estudio, la tendencia muestra a los tratamientos con estiércol < sin estiércol, para la infiltración también hay una correspondencia en encontrar un aumento en los tratamientos con Laboreo ( $p < 0,0001$ ). Los resultados obtenidos indican que los tratamientos con descompactación muestran una significativa disminución en la Resistencia del Suelo a la Penetración (RSP) y un aumento en la infiltración en comparación con la situación de control, además se verifica una tendencia a tener mejores valores en los tratamientos con incorporación de estiércol bovino. Dado que la aplicación de estiércol no es una práctica común en el área de estudio de este trabajo, se considera que estos resultados proporcionan una base para incorporar esta propuesta dentro de las buenas prácticas agrícolas para la región del Chaco seco.

**Palabras clave:** Buffel grass; Compactación; Infiltración.

**Abstract. Modifications of physical properties in dry Chaco entisols for the recovery of degraded rangelands.** The objective of the study was to assess the impact of different soil decompaction tools (disc coulters and roller chopping) and manure application on the infiltration and soil compaction (RSP) in Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) pastures in the Argentine Dry Chaco. The trial was carried out on pastures more than 10 years old, because it was observed that production decreases after this age. Soil sampling was carried out during two consecutive years at the end of the dry season (lower soil moisture). The experimental design had two factors: Tillage (three levels, roller chopping, disc coulters and no tillage) and manure addition (two levels, Yes/No). The hypothesis was that decompaction and manure addition would produce a decrease in compaction and an increase in infiltration returning the grassland to productivity. The results show that the variables analyzed were modified, showing a decrease in RSP with a difference for Tillage ( $p < 0.0002$ ), ordered as follows with tilling < no tilling, no differences were found for the Manure Addition factor, the trend shows with manure < no manure, for infiltration there is also a correspondence in finding an increase in the treatments with Tilling ( $p < 0.0001$ ). The results obtained indicate that the treatments with decompaction show a significant decrease in Soil Penetration Resistance (SPR) and an increase in infiltration compared to the control situation, and there is also a tendency to have better values for the treatments with the incorporation of bovine manure. Since manure application is not a common practice in the study area of this work, it is considered that these results provide a foundation for incorporating this proposal into good agricultural practices for the Dry Chaco region

**Key words:** Buffel grass; Compaction; Infiltration.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la producción de alimentos a nivel global está siendo afectada por la degradación constante de los suelos (Cotler et al., 2011), este proceso de degradación trae una disminución en la calidad de suelo trayendo consecuencias en la

### Cómo citar este trabajo:

Ayan, H., Castro Ibarra, J., Alvarado, I. y Collante Bustos, J. (2024). Modificaciones de las propiedades físicas en entisoles del Chaco seco para recuperación de pastizales degradados. *Semiárida*, 34(2), 79-90.

disminución de las propiedades de un suelo en relación a funciones determinadas importantes para la población (Lal, 2001). En las últimas décadas, los sistemas productivos utilizan tecnología que tienden a asociar altas producciones con manejo sustentable de los entornos ambientales. Esto adquiere mayor preponderancia en zonas con problemas de desequilibrio ambiental como consecuencia de técnicas de manejo agropecuario no convenientes, que van inflexiblemente acompañadas de disminución de rindes y en consecuencia rentabilidad. A partir de esto existe un progresivo reconocimiento de la necesidad de aplicar buenas prácticas agropecuarias, lo que ha llevado a la aceptación en general de los procesos que minimicen los impactos negativos (Bisset et al., 2013). En los últimos años, la ganadería se va intensificando en zonas marginales debido a la intensificación agropecuaria del uso de la tierra. Esto implica una transformación en los métodos tradicionales de cría de ganado en áreas extensivas, que ahora se están convirtiendo en sistemas de producción altamente tecnificados y productivos. La principal restricción para la ganadería en estas regiones es la escasa producción de pasto en los pastizales naturales, en gran medida debido a su estado de degradación. Esto resulta en una baja capacidad para sostener una carga animal adecuada, imponiendo restricciones nutricionales al ganado y afectando negativamente su productividad individual, la cual es considerablemente menor de lo que podría esperarse.

En la zona noroeste de Argentina (NOA) encontramos las producciones de la cría y recría de ganado vacuno (De León, 2004; Reartes, 2004, 2007). La vegetación en esta área está principalmente compuesta por gramíneas nativas que crecen durante el verano, con un estrato arbustivo dominante y un estrato arbóreo que ha experimentado históricamente procesos de tala. Aunque el pastizal natural sirve como la principal fuente de forraje para más de 4.000.000 de cabezas de ganado vacuno (Rearte, 2007), presenta una notoria variabilidad, influenciada por la presencia de sales en el suelo y los niveles de precipitación. Esta variabilidad plantea desafíos significativos en términos de restricciones alimentarias y nutricionales para el ganado en la región. Varios estudios sugieren que el aumento del número de animales en las regiones fuera de la pampa está alcanzando un límite, ya que los incrementos en la carga animal no van de la mano con una adecuada provisión de forraje (Chiossone, 2006; Elizalde y Riffel, 2014; Rearte, 2007). Un manejo inadecuado de la vegetación en la región en los últimos 100 años, trajo como resultado que en la actualidad se observen grandes áreas con su productividad sensiblemente disminuida con relación a la situación original (Calella y Corzo, 2006). Debido a la limitada contribución de las regiones áridas y semiáridas a la ganadería nacional, atribuida principalmente a la baja capacidad de los campos debido a la escasa oferta de forraje, un aumento en el potencial de producción de forraje podría facilitar un incremento en la carga animal. Esto, a su vez, permitiría la implementación de esquemas de producción de carne bovina con niveles de productividad más elevados, según señala De León (2010). Esta posibilidad de incremento de forraje se logra con la incorporación de especies exóticas (Guevara et al., 2009). Dentro de las especies forrajeras perennes introducidas que han demostrado una adaptación exitosa a las condiciones del trópico seco, Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) ocupa un lugar destacado (Ayerza, 1981; Ayerza, 1983; Biderbost et al., 2008; Frasinelli y Veneciano, 2014; Gaitán et al., 2017; Giraud, 2003; Griffa et al., 2011; Tessi et al., 2014;).

Varios estudios indican que la cobertura de Buffel grass (BG) tiende a disminuir a medida que envejece, especialmente después de más de 10 años. Aunque las causas exactas de esta reducción no están completamente claras, se sugiere que podría deberse a una combinación de factores, como la presencia de enfermedades según PATROCIPES (1995), deficiencias en la germinación y establecimiento durante la siembra según Castellanos et al. (2002), la mortalidad de plantas adultas o un escaso o nulo reclutamiento de nuevos individuos según Ibarra Flores et al. (2004). Según diversos autores citados en la bibliografía, los desmontes totales, e incluso aquellos "selectivos" que incluyen la introducción de pasturas megatérmicas exóticas, conducen rápidamente a una disminución en la fertilidad del suelo debido a la falta de renovación de nitrógeno. En pocos años, la productividad de estos pastizales tiende a disminuir, dejando el suelo expuesto, compactado y altamente propenso a la degradación (Ayan et al., 2018a; Ayan et al., 2018b; Ibarra et al., 2004; Karlin, 2013). Se observa que extensiones significativas de tierra se están destinando a la siembra

y cría utilizando genética moderna en lugar de aprovechar aquella adaptada a las condiciones reales del Chaco árido. Esto ha llevado a que alrededor del 4 % de la superficie haya sido transformada mediante el rolado e implantación de pasturas exóticas, ampliando las áreas de pastoreo, según indica Karlin (2013). Investigaciones realizadas por Celaya et al. (2015) indican que las transformaciones de arbustales a praderas de BG afectan la disponibilidad de agua a nivel de la parcela. La sostenibilidad de la ganadería bovina basada en la siembra de esta pastura debe tener en cuenta las alteraciones en el funcionamiento de la cubierta vegetal, una cuestión que ha sido objeto de debate en otras partes del mundo (Castellanos et al., 2002; Dalal et al., 2005). Además, en las zonas de la llanura oriental de la provincia de La Rioja (área de estudio), se reporta un 30 % de incidencia de erosión hídrica severa a grave y un 50 % de incidencia moderada, según Biurrún (1996). En el contexto de la agricultura de secano, como es el caso del cultivo de BG, el uso eficiente del agua de lluvia es crucial. Las medidas destinadas a aumentar el rendimiento del cultivo buscan lograr una mayor cantidad de materia seca por milímetro de agua, según señala Frank (2014).

Para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de estas especies, es necesario llevar a cabo ciertas prácticas de manejo que aseguren y mantengan un rendimiento elevado a lo largo del tiempo. Estas prácticas incluyen la quema controlada, la aplicación de nutrientes, el control de plagas y malezas, así como la aplicación de abonos orgánicos, según lo indicado por CIPEJ (1990). Padilla et al. (2009) sostienen que la recuperación o rehabilitación de un pastizal implica restablecer su capacidad productiva por unidad de área y por animal, buscando alcanzar niveles ecológicos y económicos aceptables.

Entre las técnicas más empleadas para la rehabilitación efectiva de pastizales degradados se encuentran el subsolado, el arado, el rolado, entre otras. La labranza de descompactación, como el subsolado, genera cambios en la estructura del suelo que pueden aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas sin perturbar los procesos biológicos superficiales del suelo, según señala Mattalia et al. (2020).

En particular, el rolado se destaca por aumentar la cobertura de broza y remover superficialmente el suelo, lo que favorece la germinación de semillas presentes en el ambiente (Quiroga et al., 2008). Además, el rolado descompacta la superficie del suelo, facilita el intercambio gaseoso y el flujo de nutrientes, y mejora la capacidad de retención de agua (Berlanga et al., 2009; Fullbright y Ortega, 2007; Granados, 2009; Ranglack y du Toit, 2014). En Argentina, se han realizado rolados en diversas regiones, como el Caldenal-Monte Occidental, el Chaco Árido y en Mendoza, con antecedentes que incluyen la siembra de pasturas subtropicales (Adema et al., 2004; Aguilera y Steinaker, 2001; Kunst et al., 2012; Martín, et al., 2008), según mencionan Blanco et al. (2005), Ayan et al. (2010), Agüero et al. (2012), Blanco et al. (2013), y Mora y Rosales (2014).

En términos de impacto, se ha investigado cómo el rolado afecta la distribución radical de pastos (Ledesma et al., 2018), la calidad biológica del suelo (Anríquez et al., 2005), la dinámica de las arbustivas y la productividad de las pasturas (Kunst et al., 2012), así como su influencia en la infiltración del agua (Kunst et al., 2013).

Además, la aplicación de estiércol de ganado vacuno en el suelo ha demostrado reducir la erosión al incrementar la formación, estabilización y resistencia de los agregados del suelo, debido a la incorporación de materia orgánica al sistema. Numerosos estudios han reportado mejoras en propiedades edáficas tras la aplicación de enmiendas orgánicas, como el aumento de la infiltración, la mejora de la estructura del suelo y la formación de agregados, así como el incremento de nutrientes y materia orgánica, atribuibles a los altos contenidos de materia orgánica (MO) y nutrientes presentes en el estiércol (Moldes et al., 2007; Shiralipour et al., 1992; Stocking y Albadalejo, 1994).

En el NOA, se han seleccionado indicadores de calidad de suelo con diversos propósitos, según estudios como los de Albanesi et al. (2003), Benintende et al. (2015), y Rojas et al. (2016). Hasta el momento, no se ha publicado un conjunto de indicadores de calidad de suelo que sea universalmente aplicable en la región. Rojas et al. (2016) argumentan que la selección de estos

indicadores debe realizarse a nivel local, considerando las características específicas del suelo, las prácticas de manejo y las condiciones ambientales. Por lo tanto, se hace necesario definir un conjunto de variables que permita monitorear los cambios en la calidad del suelo en sistemas silvopastoriles de la Región Chaqueña, como señala Silberman (2016).

El propósito de este estudio es ampliar la comprensión sobre el impacto de la labranza y la fertilización con enmiendas orgánicas en indicadores de calidad física del suelo, centrándose específicamente en la infiltración y la resistencia mecánica a la penetración del mismo, como factores a tener en cuenta para la recuperación de pastizales degradados.

## METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo en la región de los Llanos Riojanos (Figura 1), que abarca aproximadamente 5 millones de hectáreas, representando un poco más de la mitad de la superficie total de la provincia. Esta región se encuentra ubicada entre los 29° y 31° de latitud sur, y los 65° y 67° de longitud oeste, formando parte de la región ecológica del Chaco Árido (subregión del Chaco árido), según la clasificación de Morello et al. (1985). La región se caracteriza por tener un clima subtropical seco, con precipitaciones concentradas en los meses de verano, que disminuyen de este a oeste, pasando de 500 mm a 200 mm anuales (Anderson et al., 1980). La evapotranspiración potencial es de aproximadamente 1700 mm al año, y el déficit hídrico tiende a aumentar en dirección oeste. Los veranos son cálidos, con una temperatura media mensual en el mes más caluroso de alrededor de 26 °C y máximas absolutas de 45 °C. Los inviernos son templados, con una temperatura media mensual en el mes más frío de 12 °C (Karlin, 2013). En cuanto al suelo estudiado, este pertenece al Subgrupo: Torripsamment típico.

En el lugar del ensayo, Caella y Corzo (2006) describen al suelo con un relieve normal a subnormal, con una leve pendiente del 1 al 3 %. Se trata de una acumulación de depósitos loessoides. La textura es franco arenosa (55 % de arena, 15 % de arcilla) a lo largo de todo el perfil, poco desarrollado con una secuencia de horizontes A – AC y C. Presenta muy bajos valores de Carbono orgánico (0,33 %) y de Nitrógeno (0,05 %) en todo el perfil, siendo por lo tanto pobre en MO. La salinidad no es una limitante ya que sus valores no superan los límites fijados para clasificar al suelo como salino (0,27 dS.m<sup>-1</sup>).



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio (Elaboración propia).

**Figure 1.** Location of the study area (red circle).

El muestreo se realizó en la población de potreros sembrados con BG mayores a 10 años de antigüedad, se desarrolló el ensayo con cinco repeticiones para cada tratamiento, estos se hicieron

en una superficie aproximada de 20 ha, la cantidad de estiércol adicionada fue de 30 t.ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos se instalaron de forma tal que las condiciones edáficas sean iguales para todos ellos.

Las propiedades físicas que se evaluaron en el estudio fueron la resistencia mecánica a la penetración y la infiltración del suelo. El muestreo de suelo se realizó al azar, en los primeros 30 cm de suelo, se recogieron cinco muestras compuestas de cinco submuestras con un muestreador de tipo barreno, el periodo donde se realizó el trabajo fue entre noviembre de 2017 y noviembre de 2019 (al final de la estación seca) la humedad del suelo tomada de forma gravimétrica fue entre 0,90 % (año 2017) y 2,25 % (año 2019), para la medición de la infiltración se utilizó un infiltrómetro de mini discos (Metter Group Inc., USA), se eligió esta técnica por ser la que menos agua necesita y ya fue probada en diferentes ensayos en la zona con resultados muy confiables, la compactación se midió con la resistencia del suelo a la penetración (RSP) mediante un penetrómetro de golpe Modelo INTA Villegas, la unidad de medida expresada es en megapascales (Mpa), la metodología para la toma de muestra de las dos variables analizadas se realizaron según lo propuesto por Quiroga et al. (2018). Estadísticamente se analizaron los resultados mediante un Análisis de la Varianza (ANAVA) con un diseño factorial de los tratamientos dado por dos factores: 1) Laboreo con tres niveles (Rolado, Rastra y Sin Laboreo) y 2) Adición de estiércol con dos niveles (con y sin). Se utilizó el software InfoStat para llevar a cabo el análisis de datos en este estudio (Di Rienzo et al., 2018). Los tratamientos surgen de la combinación de factores con niveles: 1) Rolado sin estiércol (RoSE), 2) Rolado con estiércol (RoCE), 3) Rastra sin estiércol (RaSE), 4) Rastra con estiércol (RaCE), 5) Testigo con estiércol (TCE), 6) Testigo sin estiércol (TSE).

## RESULTADOS

En este estudio la Infiltración mostró diferencia para el factor laboreo ( $p < 0,0001$ ), para el factor adición de estiércol no hay diferencias estadísticas ( $p = 0,0851$ ), no se encontró interacción entre ellos ( $p = 0,9893$ ). El test de Tukey (Tabla 1) muestra los distintos niveles del factor laboreo, los tratamientos testigos se comportan de manera distinta a los que tuvieron algún tipo de labor, ordenándose de la siguiente forma Rastra>Rolado>Sin laboreo. Se realizó un ANAVA para los tratamientos, este arrojó diferencias estadísticas ( $p = 0,0001$ ), en la Tabla 2 observamos que los valores encontrados fueron mayores en donde se aplicaron las herramientas de roturación y nos muestra la tendencia: Con estiércol > Sin estiércol.

**Tabla 1.** Valores promedios de Infiltración (cm.h<sup>-1</sup>) para el factor laboreo (en sus tres niveles: rastra, rolado y sin laboreo)

**Table 1.** Average Infiltration values (cm.h<sup>-1</sup>) for the tillage factor (in its three levels: disc coultter, roller chopping and no-tilling).

Tratamiento	Infiltración (cm.h <sup>-1</sup> )	
Rastra	5,6	A
Rolado	4,9	A
Sin laboreo	1,1	B

**Tabla 2.** Valores promedios de Infiltración (c.h<sup>-1</sup>) medidos bajo diferentes tratamientos de rastra, rolado, sin laboreo, con adición o no de estiércol bovino.

**Table 2.** Average Infiltration values (cm.h<sup>-1</sup>) measured under different treatments of disc coultter, roller chopping and no-tilling, with or without the addition of bovine manure.

Tratamiento	Infiltración (cm.h <sup>-1</sup> )	
RaCE	6,12	A
RaSE	5,04	A B
RoCE	5,46	A B
RoSE	4,43	A B C
TCE	1,71	B C
TSE	0,47	C

Los tratamientos Testigos son los que mostraron los valores más bajos de infiltración los promedios indican una clase 5 y el test de Tukey los separa claramente de los otros tratamientos, pero notamos una tendencia a mayor infiltración en TCE, separando a TSE a la clase 6.

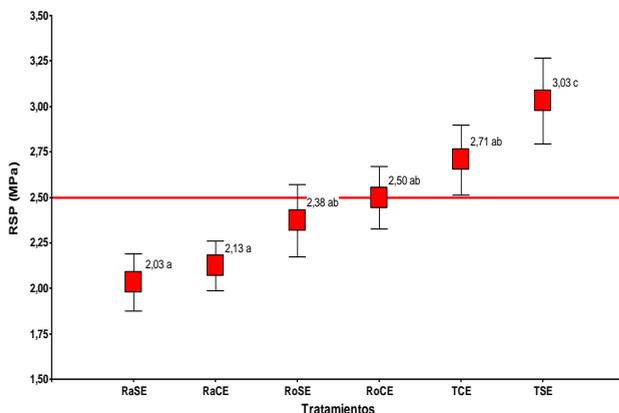
El ANAVA para la variable RSP muestra diferencias estadísticas para el factor laboreo ( $p = 0,0002$ ), no así para el factor adición de estiércol ( $p = 0,8118$ ), tampoco para la interacción de ellos ( $p = 0,4028$ ), el nivel Rastra se muestra con valores distintos (Tabla 3) seguido del Rolo, mostrando el orden Rastra<Rolo<Sin laboreo.

Laboreo	Medias (MPa)	
Rastra	2,08	A
Rolo	2,44	A B
Sin laboreo	2,87	B

**Tabla 3.** Valores medios de RSP (MPa) en capa de suelo de 0-30 cm para el factor laboreo con tres niveles (rastra, rolo y sin laboreo).

**Table 3.** Mean RSP values (MPa) in 0-30 cm soil layer for the tillage factor with three levels (disc coultter, roller chopping and no-tilling).

El ANAVA para los tratamientos muestra diferencias estadísticas ( $p = 0,0017$ ), los valores promedios observados al finalizar el ensayo para cada uno de los tratamientos se muestran en la Figura 2, los tratamientos sin laboreo (con y sin estiércol) son los que arrojaron valores de compactación más altos, en la tabla observamos el siguiente patrón de RSP Sin Laboreo>Con Laboreo y dentro de este factor, Rastra<Rolo. En la figura se observa que los tratamientos sin laboreo son los que presentan mayores valores de compactación superando sus valores promedios a los aceptados como críticos (Hamza y Anderson, 2005; Pabin et al., 1998).



**Figura 2.** Resistencia mecánica a la penetración para los distintos tratamientos el finalizar el ensayo.

**Figure 2.** Mechanical resistance to penetration for the different treatments at the end of the test.

Los valores de rendimiento en Kg MS.ha<sup>-1</sup> aumentaron acompañando las modificaciones realizadas al suelo, el ANAVA realizado muestra diferencias estadísticas para el factor laboreo ( $p < 0,0001$ ), también para factor adición de estiércol ( $p = 0,0003$ ) y se encontró interacción entre los dos factores ( $p = 0,0049$ ). La comparación de promedios en el factor laboreo (Tabla 4) muestra a los tratamientos que realizaron roturación del suelo en un grupo distinto, mostrando que las acciones realizadas tuvieron el efecto final deseado.

La Tabla 5 muestra los promedios en el factor adición de estiércol, en donde los tratamientos con estiércol muestran mayor producción de MS.ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 4.** Valores promedio de la producción de forraje (Kg MS.ha<sup>-1</sup>) al finalizar el ensayo para el factor laboreo en sus tres niveles: rastra, rolado y sin laboreo.

**Table 4.** Average values of forage production (kg DM.ha<sup>-1</sup>) at the end of the trial for the tillage factor in its three levels: disc coultter, roller chopping and no-tilling.

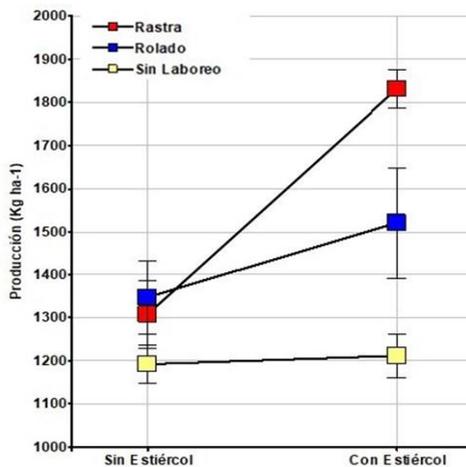
Laboreo	Medias (kg MS.ha <sup>-1</sup> )	
Rastra	1569,33	A
Rolado	1433,93	A
Sin laboreo	1202,3	B

**Tabla 5.** Valores promedio de la producción de forraje (Kg MS.ha<sup>-1</sup>) al finalizar el ensayo para el factor adición de estiércol en sus dos niveles: con y sin adición.

**Table 5.** Average values of forage production (kg DM.ha<sup>-1</sup>) at the end of the trial for the manure addition factor in its two levels: with and without addition.

Estiércol	Medias (kg MS.ha <sup>-1</sup> )	
Si	1520,7	A
No	1283,01	B

En la Figura 3, muestra la interacción entre los factores como se mencionó anteriormente, todos los tratamientos aumentaron con la adición de estiércol, pero el de Rastra lo hizo a una tasa distinta, en donde la forma en que se realizó el tratamiento permitió una respuesta mayor en la producción de forraje. Se observó que el laboreo sumado a la adición de estiércol es la situación en donde se obtuvieron los mejores valores de producción de forraje.



**Figura 3.** Interacción de los factores estudiados (laboreo y adición de estiércol) en la producción de forraje (Kg MS.ha<sup>-1</sup>).

**Figure 3.** Interaction of the studied factors (tillage and manure addition) on forage production (kg DM.ha<sup>-1</sup>).

## DISCUSIÓN

Según el Soil Survey Staff (2022) la infiltración es moderadamente rápida y coincide con los valores descriptos por Velásquez Valle et al. (2014) para lotes con BG. Se observa que la roturación del suelo ha permitido romper las capas compactadas permitiendo mejorar el Coeficiente hidráulico (Yimer et al., 2008), si bien el laboreo con Rastra y adición de estiércol muestra el valor más alto, en estas áreas, se observa suelo desnudo donde se han perdido las pocas plantas de BG que se encontraban. La escasa vegetación afecta directamente la partición de flujos de agua, según indican estudios como los de Chagas et al. (2004), Newman et al. (2006), Schlesinger y Jasechko (2014), Chandler et al. (2018). Los sitios donde se realizaron labores (RaCE, RoCE, RaSE y RoSE) se caracterizan por una mayor transpiración y un menor escurrimiento, drenaje profundo y evaporación en comparación con sitios menos no labreados (TSE y TCE), coincidiendo con hallazgos de Newman et al. (2006) y Schlesinger y Jasechko (2014). La baja cobertura en la

superficie del suelo en TSE y TSC podría resultar en una baja cantidad de nutrientes disponibles para el desarrollo vegetal (Austin et al., 2006; Kraemer et al., 2017), además este suelo desnudo desencadena procesos de deterioro que impactan negativamente en su capacidad de infiltración (Chagas et al., 2011; Kraemer, 2015).

La consideración de la descompactación como una alternativa para mejorar las condiciones del suelo coincide con investigaciones previas de varios autores, como Hilbert y Pincu (2000), Álvarez et al. (2006), Colareda (2013), Kunst et al. (2013), Grosso et al. (2014), Bongiovanni et al. (2020). Los resultados indican que los tratamientos sin laboreo presentan los valores más altos de RSP En la Figura 2, se muestra una línea a los 2,5 MPa que marca el límite para un buen crecimiento de las raíces según algunos autores (Hamza y Anderson, 2005; Pabin et al., 1998), se observa que cuando removemos la capa compactada es posible disminuir la RSP del suelo en los primeros cm, los tratamientos testigos (TCE y TSE) muestran valores medios superiores a los 2,5 MPa, establecido como límite para una buena distribución de las raíces. La descompactación realizada fue efectiva y se observa el efecto a través de la variable estudiada, la cual mantuvo diferencias significativas al final del ensayo entre suelos con laboreo y los suelos sin laboreo, resultado similar es mencionado por Gómez et al. (1998) e Invinkelried et al. (2018).

La adición de estiércol no ha sido determinante para mejorar las condiciones físicas del suelo, como si sucedió en el trabajo presentado por Carfagno et al. (2020) donde el estudio lo hicieron con guano de aves, otra condición que se tiene que evaluar es que las mejoras producidas por la adición de enmiendas se manifiestan trascurridos unos años, como lo describe Anriquez et al. (2018a, 2018b) en sistemas silvopastoriles implementados mediante rolado.

## CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra que es posible recuperar mediante el laboreo, las buenas condiciones físicas del suelo en pastizales con siembras antiguas de BG, la ruptura de la capa compactada permitió aumentar la infiltración mejorando la acumulación de agua en los primeros centímetros subsuperficiales del suelo, esto se evidenció además en la producción de forraje de las parcelas tratadas mostrando un significativo aumento en el rendimiento. La incorporación de estiércol no generó los resultados esperados; sin embargo, creemos que un aumento en la dosis podría mejorar los resultados y contribuir al suministro de materia orgánica al suelo.

Dado que la aplicación de estiércol no es una práctica común en el área de estudio de este trabajo, se considera que estos resultados proporcionan una base para incorporar esta propuesta dentro de las buenas prácticas agrícolas para la región del Chaco seco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adema, E., Buschiazzo, D., Babinec, F., Rucci, T. & Gómez Hermida, V. (2004). Mechanical control of shrubs in a semiarid region of Argentina and its effect on soil water content and grassland productivity. *Agricultural Water Management*, 68, 185-194.
- Agüero, W., Biurrun, F. y Quiroga, R. (2012). Efecto del rolado con y sin siembra de buffel grass en un monte natural del Chaco Árido de La Rioja. En Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. 9 al 11 de mayo de 2012. Santiago del Estero.
- Aguilera, M. y Steinaker, D. (2001). *Rolado y siembra en arbustales semiáridos de San Luis*. En: J. Panigatti, D. Buschiazzo, H. Marelli (Eds.), pp. 289-302. Siembra Directa II. INTA.
- Albanesi, A., Anriquez, A. y Sánchez, A. P. (2003). Efectos de la agricultura convencional sobre algunas formas del C en una toposecuencia de la Región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia*, 20, 9-17.
- Álvarez, C., Taboada, M., Bustingorri, C. y Gutiérrez Boem, F. (2006). Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. *Revista Ciencia del Suelo*, 24, 1-10.
- Anriquez, A., Albanesi, A., Kunst, C., Ledesma, R., López, C., Rodríguez Torresi, A. y Godoy, J. (2005). Rolado de fachinales y calidad de suelos en el Chaco occidental, Argentina. *Revista Ciencia del Suelo*, 23(2), 145-157.
- Anriquez, A., Barrionuevo, M., Dominguez, N., Silberman, J. y Albanesi, A. (2018a). Dinámica de Comunidades Microbianas en Sistemas Silvopastoriles del Centro Este de Santiago del Estero. En: Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, compilado por Gerardo Agustín Sanzano ... (et al.). - 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: AACCS, 2018.

- Anriquez, A., Barrionuevo, M., Silberman, J., Dominguez, N., Dominguez Nuñez, J. y Albanesi, A. (2018b). Impacto de los sistemas silvopastoriles en los microorganismos relacionados al ciclo del N. *Revista Ciencia del Suelo*, 36(2), 117-128.
- Austin, A., Piñeiro, G., & González Polo, M. (2006). More is less: agricultural impacts on the N cycle in Argentina. *Biogeochemistry*, 79, 45-60.
- Ayan, H., Hang, S. y Casanoves, F. (2010). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la geomorfología y el manejo en el Chaco Árido. *Revista UNLaR Ciencia*, 1(3), 2-9.
- Ayan, H., Vera Díaz, J., Bolaño, M. y Romero, M. (2018a). Influencia de los árboles en la compactación del suelo en pradera con *Cenchrus ciliaris* L. en el Chaco Árido. En VIII Congreso Nacional - IV Congreso del Mercosur sobre Manejo de Pastizales Naturales, Argentina: INTA.
- Ayan, H., Vera Díaz, J., Bolaño, M. y Romero, M. (2018b). Infiltración abajo y afuera de la proyección de copas de *Prosopis flexuosa* y *Aspidosperma quebracho blanco* en praderas con *Buffel grass* (*Cenchrus ciliaris* L.) en el Chaco Árido. En VIII Congreso Nacional, IV Congreso del Mercosur sobre Manejo de Pastizales Naturales, Argentina: INTA.
- Ayerza, R. (1981). *El Buffel grass: Utilidad y manejo de una promisorio gramínea*. Editorial Hemisferio Sur S.A.
- Ayerza, R. (1983). *Leucaena (Leucaena leucocephala)* en Villa Dolores Córdoba. En el Informe de la 2da Edición del Taller sobre arbustos forrajeros de zonas áridas y semiáridas, Mendoza, Argentina.
- Benintende, S., Benintende, M., Sterren, M., Saluzzio, M., & Barbagelata, P. (2015). Biological variables as soil quality indicators: Effect of sampling time and ability to classify soils by their suitability. *Ecological indicators*, 52, 147-152.
- Berlanga, R., Beltrán, L., Martínez, O., Hernández, R. y Torres, E. (2009). Rehabilitación de pastizales en el Norte de Coahuila con el uso de Rodillo aireador. En: VI Simposio Internacional de Pastizales. Universidad Autónoma de Nuevo León-Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, N.L.
- Biderbost, E., Pérez, H., Taleisnik, E., Griffa, S. M., Grunberg, K., Luna, C., Ribotta, A., Tomás, A., Berone, G., Pisani, M., Cuatrin, A., Borrajo, C., Andrés, A., Prina, A. y Díaz, D. (2008). Avances en el mejoramiento genético de especies forrajeras megatérmicas. En Planteos ganaderos en siembra directa. *Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores. Siembra Directa*, 45-48.
- Bisset, A., Richardson, A., Baker, G., Kirkegaard, J., & Thrall, P. (2013). Bacterial community response to tillage and nutrient additions in a long-term wheat cropping experiment. *Soil, Biology & Biochemistry*, 58, 281-292.
- Biurrun, F. (1996). La región de los llanos. En: PROSA. *El deterioro del ambiente en la Argentina*, pp. 118-119. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Blanco, L., Ferrando, C., Biurrun, F., Oriente, E. y Namur, P. (2005). Vegetation responses to roller chopping and buffelgrass seeding in Argentina. *Rangeland ecology & management*, 58(3), 219-224.
- Blanco, L., Namur, P., Ferrando, C., Rettore, A., Namur, P., Avila, R., Molina, J. y Oriente, E. (2013). Evolución de la vegetación después del rolo y siembra de pastos nativos en La Rioja. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam.*, 22, 17-22.
- Bongiovanni, M., Mattalia, M., Marzari, R., Cabrera, S. y Cholaky, C. (2020). Condición Física de un Hapludol Típico: Efecto de Labranzas de Descompactación y Cultivo De Cobertura. En Actas XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo / coordinación general de Humberto Carlos Dalurzo. Compiladores: Diana Marcela Toledo, Ruth Perucca, Sandra Perucca. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo -AACS.
- Callela, H. y Corzo, R. (Eds.). (2006). *El Chaco árido de La Rioja. Vegetación y suelos*. Pastizales naturales. INTA.
- Carfagno, P., Eiza, M., Sainz, D., Becerra, J., Mortola, N. y Butti, M. (2020). Aplicación al Suelo de Guano de Ave y su Digerido: Cambios de Corto Plazo en Porosidad y Resistencia a la Penetración. En Actas XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo / coordinación general de H. C. Dalurzo. Compiladores: D. M. Toledo, R. Perucca, S. Perucca. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo -AACS.
- Castellanos, A., Yanes, G. & Valdez Zamudio, D. (2002). *Drought - Tolerant exotic buffel - grass and desertification*, (pp. 99-112). In: B. Tellman (ed.). *Weeds across borders*. Proceedings of a North American Conferencen, Arizona-Sonora Desert Museum. Tucson, Az, USA.
- Celaya Michel, H., García Oliva, F., Rodríguez, J. C. y Castellanos Villegas, A. (2015). Cambios en el almacenamiento de nitrógeno y agua en el suelo de un matorral desértico transformado a sabana de buffel (*Pennisetum ciliare* (L.) Link). *Terra Latinoamericana*, 33(1), 79-93.
- Chagas, C., Kraemer, F., Utin, S., Iruetia, C. y Santanatoglia, O. (2011). influencia de las propiedades edáficas y la posición en el paisaje sobre la respuesta hidrológica de suelos pertenecientes a una cuenca de la pampa ondulada. *Cuadernos del CURIHAM* 17, 15-24.
- Chagas, C., Iruetia, C., Thisted, J., Santanatoglia, O., Massobrio, M., Castiglioni, M. y Buján, A. (2004). Movimiento horizontal y vertical de agua y partículas en un Argiudol bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo*, 22(2), 114-119.

Ayan, H., Castro Ibarra, J., Alvarado, I y Collante Bustos, J.

- Chandler, K., Stevens, C., Binley, A., & Keith, A. (2018). Influence of tree species and forest land use on soil hydraulic conductivity and implications for surface runoff generation. *Geoderma*, 310, 120-127.
- Chiossone, G. (2006). Sistemas de producción ganaderos del noreste argentino, Situación actual propuestas tecnológicas para mejorar la productividad. X Seminario de Pastos y Forrajes, pp. 120-137.
- CIPEJ (Centro de Investigaciones Pecuarías del Estado de Jalisco). (1990). Marco de referencia sobre la ganadería de carne en el Sur de Jalisco. [http://www.ugri.org.mx/index.php?option=com\\_content&task=blogsection&id=9&Item](http://www.ugri.org.mx/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=9&Item)
- Colareda, G. (2013). Persistencia de la descompactación en sistema de Siembra Directa [Tesis de grado]. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad nacional de La Plata. La Plata, Argentina.
- Cotler, H., López, C. y Martínez Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación Ambiental*, 3(2), 31-43.
- Dalal, R., Harms, B., Krull, E., & Wang, W. J. (2005). Total soil organic matter and its labile pools following mulga (*Acacia aneura*) clearing for pasture development and cropping 1. Total and labile carbon. *Soil Research*, 43, 13-20.
- De León, M. (2004). Las pasturas subtropicales en la región semiárida central del país. I.T. N°1. Ampliando la frontera ganadera. INTA Manfredi. SAGPyA.
- De León, M. (2010). Como mejorar la ganadería subtropical con pasturas megatérmicas. Producción y utilización de especies megatérmicas. Revista Agromercado. *Cuadernillo Clásico Forrajeras*, N° 143, 2-9.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2018). Grupo InfoStat, FCA, U N de C, Argentina, URL <http://www.infostat.com.ar>
- Elizalde, A. y Riffel, S. (2014). Hacia una ganadería competitiva y sustentable. Una visión desde la cría y la cría como motor del sistema.
- Frank, F. (2014). Flujos de agua y energía en los últimos cuarenta y dos años de agricultura en Argentina [Tesis Doctoral]. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.
- Frasinelli, C. y Veneciano, J.H. (2014). *Sistemas bovinos sobre gramíneas megatérmicas perennes en San Luis*. En: M. E. Centeno (Ed.). 1a ed. Ediciones INTA.
- Fullbright, T. y Ortega, J. (2007). *Ecología y Manejo de Venado Cola Blanca*. Texas & AM University-Kingsville.
- Gaitán, J., Navarro, M., Tenti Vuegen, L., Pizarro, M., Carfagno, P. y Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. En J. Gaitán, M. F. Navarro, P. Carfagno, L. Tenti Vuegen (Eds). 1ª. ed. Ediciones INTA.
- Giraud, M. (2003). Buffel grass, el pasto. *Marca Líquida Agropecuaria*, 13(121), 17-21.
- Gómez, J., Reynoso, A., Ricarte, R., Aguirre, E. y Romero, A. 1998. Efectos del Desmonte Mecánico y del Pastoreo Sobre las Condiciones de la Vegetación y el Suelo en un Ecosistema de Pastizal Natural. Estudios Sobre Pastizales Naturales y el Cultivo de La Tuna. Instituto de Zonas Áridas. Universidad Nacional de La Rioja. Argentina.
- Granados, E. (2009). Rodillo Aireador. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. México, D.F. 1-8 p.
- Griffa, S., Ribotta, A., Luna, C., Bollati, G., López Colombia, E., Tommasino, E., Carloni, E., Quiroga, M. y Grunberg, K. (2011). Evaluación morfológica del cultivar de buffel grass "Lucero INTA-PEMAN" en condiciones de sequía. *RIA*, 37,86-91.
- Grosso, J., Ressler, J., Bongiorno, C., Mendivil, G., de Pablo, M. y Balbuena, R. (2014). Eficiencia energética de la descompactación de un suelo bajo siembra directa. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo.
- Guevara, J., Grunwaldt, E., Estevez, O., Bisigato, A., Blanco, L., Biurrun, F., Ferrando, C., Chirino, C., Morici, E., Fernández, B., Allegretti, L. & Passera, C. B. (2009). Range and livestock production in the Monte Desert, Argentina. *Journal of Arid Environments*, 73, 228-237.
- Hamza, M., & Anderson, W. (2005). Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82(2), 121-145.
- Hilbert, J. y Pincú, M. (2000). Demanda energética de subsoladores Paratill. VI Congreso Argentino de Ingeniería Rural, II Congreso Americano de Educación en Ingeniería Agrícola. Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra. Universidad de la Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Argentina.
- Ibarra Flores, F., Rivera, M. y Ramírez, F. (2004). El subsolado como práctica de rehabilitación de praderas de zacate buffel en condición regular en la región central de Sonora, México. *Técnica Pecuaria en México* 42, 1-16.
- Imvinkelried, H.; Pietrobón, M.; Dellaferrera, I. e Imhoff, S. 2018. Cambios en las Propiedades Físicas del Suelo Ante Variaciones en la Compactación. En: Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo; compilado por Gerardo Agustín Sanzano ... (et al.), pp 151-156.- 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo -AACS, 2018.

- Karlin, M. (2013). *Cambio climático en zonas semiáridas: El caso Chaco Árido*. Editorial Académica Española.
- Kraemer, F. (2015). Influencia de la granulometría y la mineralogía en el comportamiento hidro-físico y estructural en suelos con distinta intensidad y secuencia de cultivos bajo siembra directa. [Tesis Doctoral]. Escuela para Graduados Alberto Soriano. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Kraemer, F., Soria, M., Castiglioni, M., Duval, M., Galantini, J. and Morrás, H. (2017). Morphostructural evaluation of various soils subjected to different use intensity under no-tillage. *Soil and Tillage Research*, 169, 124-137.
- Kunst, C., Ledesma, R., Tomsic, P., y Godoy, J. (2013). Rolados e infiltración de agua en el suelo en la región chaqueña occidental. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 22 (Supl. 2.), 43-49. <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/semiárida/article/view/4506>
- Kunst, C., Ledesma, R., Bravo, S., Albanesi, A., Anriquez, A. y Godoy, J. (2012). Disrupting Woody steady states in the Chaco region (Argentina): responses to combined disturbance treatments. *Ecological Engineering*, 42, 42-53.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12, 519-539.
- Ledesma, R., Elías, A., Kunst, C., Navarrete, V., y Godoy, J. (2018). Efecto del rolado de baja intensidad (RBI) sobre la distribución radical de pastos y arbustos en un bosque del Chaco occidental. *RIA*, 44(2), 121-128.
- Martin, J., Adema, E., Aimar, S. y Babinec, F. (2008). Efecto del rolado sobre propiedades fisicoquímicas del suelo en el ecotono Caldenal-Monte Occidental.
- Mattalia, M., Cholaky, C. y Bongiovanni, M. (2020). Influencia de una Labranza Vertical Sobre Propiedades Edáficas de Un Haplustol Típico del Sur de Córdoba. En Actas XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo / coordinación general de Humberto Carlos Dalurzo. Compiladores: D. M. Toledo, R. Perucca, S. Perucca. - 1a ed. - CABA.
- Moldes, A., Cendón, Y., & Barral, M. (2007). Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. *Bioresour Technology*, 98(16), 3069-3075. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2006.10.021>
- Mora, S. y Rosales Mercado, I. (2014). *El rolado en Mendoza*. Ediciones INTA.
- Morello, J., Protomastro, C., Sancholuz, L. y Blanco, C. (1985). Estudio macroecológico de Los Llanos de La Rioja. Serie del Cincuentenario de la Administración de Parques Nacionales 5, 1-53.
- Newman, B., Wilcox, B., Archer, S., Breshears, D., Dahm, C., Duffy, C., McDowell, N., Phillips, F., Scanlon, B. and Vivoni, E. (2006). Ecohydrology of water-limited environments: A scientific vision. *Water Resources Research* 42, W06302, <http://dx.doi.org/10.1029/2005WR004141>
- Pabin, J., Lipiec, J., Wlodek, S., Biskupsky, A., y Kaus, A. (1998). Critical soil bulk density and strength for pea root growth as related to other soil factors. *Soil and Tillage Research*, 43, 206-208.
- Padilla, C., Crespo, G. y Sardiñas, Y. (2009). Degradación y recuperación de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(4), 351-354.
- PATROCIPES (Patronato del centro de Investigaciones Pecuarias del Estado de Sonora, A.C.). (1995). *Guía Práctica para el establecimiento, manejo y utilización del zacate Buffel*. Gob. Edo. Sonora - UGRS - SAGAR. Hermosillo, Sonora, México.
- Quiroga, A., Adema, E., Fernández, R., Butti, L. y Rucci, T. (2008). Propiedades del suelo en un pastizal rolado del ecotono cardenal-monte occidental. En Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, organizado por la AACs. 13 al 16 de mayo de 2008, San Luis.
- Quiroga, A., Fernández, R., Álvarez, C., Anguil, E. E. A., Covas, A. G., & La Pampa-San Luis, C. R. (2018). Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos. INTA, Argentina.
- Ranglack, D., & du Toit, J. (2015). Habitat Selection by Free-Ranging Bison in a Mixed Grazing System on Public Land. *Rangeland Ecology & Management*, 68(4), 349-353.
- Reartes, D. (2004). Situación de la ganadería argentina. En INTA expone 2004 en la pampa húmeda.
- Reartes, D. (2007). Situación de la ganadería argentina en el contexto mundial. Ed. INTA.
- Rojas, J., Prause, J., Sanzano, G., Arce, O. and Sanchez, M. (2016). Soil quality indicators selection by mixed models and multivariate techniques in deforested areas for agricultural use in NW of Chaco, Argentina. *Soil & Tillage Research*, 155, 250-262.
- Schlesinger, W., & Jasechko, S. (2014). Transpiration in the global water cycle. *Agricultural And Forest Meteorology*, 189-190, 115-117.
- Shiralipour, A., Mcconnell, D., & Smith, W. (1992). Physical and chemical properties of soil as affected by municipal solid waste compost application, Biomass and Bioenergy. *Biomass & Bioenergy*, 3(3-4), 261-266, [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(92\)90030-T](https://doi.org/10.1016/0961-9534(92)90030-T)
- Silberman, J. (2016). Diversidad microbiana y materia orgánica del suelo en sistemas silvopastoriles de la Región Chaqueña [Tesis Doctoral]. Facultad de Ciencias Agrarias y forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Ayan, H., Castro Ibarra, J., Alvarado, I y Collante Bustos, J.

Soil Survey Staff. 2022. Kellogg soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigations report n°. 42, version 6.0. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Stocking, M., & Albaladejo, J. (1994). Refuse isn't rubbish!. *Ambio*, 23, 229-232.

Tessi, N., Ávila, J. M., Edith, R., Armando, R. H. y Ferrando, C. A. (2014). Buffel grass Generalidades, implantación y manejo para recuperación de áreas degradadas. (ed) INTA, Chamical, La Rioja.

Velásquez Valle, M., Sánchez Cohen, I., Gutiérrez Luna, R., Muñoz Villalobos, J. y Macías Rodríguez, H. (2014). Impacto hidrológico del cambio de uso del suelo de un pastizal nativo a praderas de zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 13(2), 47-58.

Yimer, F., Messing, I., Ledin, S., & Abdelkadir, A. (2008). Effects of different land use types on infiltration capacity in a catchment in the highlands of Ethiopia. *Soil Use Manage*, 24, 344-349.