

# ESCARABAJOS ESTERCOLEROS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS CON GANADERIA: EFECTOS SOBRE LA BIOMASA SECA DE LAS PASTURAS Y LOS NUTRIENTES EN EL SUELO

DUNG BEETLES IN LIVESTOCK PRODUCTION SYSTEMS: EFFECTS ON PASTURE DRY BIOMASS AND SOIL NUTRIENTS.

Fecha de recepción: 20/01/2023 // Fecha de aceptación: 28/08/2023

## Belén Aquino

Estudiante de ingeniería agronómica, Facultad de Ciencias Forestales, UNaM. Dirección: Bertoni 124, N3380, Eldorado, Misiones, Argentina, roxanabelenaquino@gmail.com

## Andrés Gómez-Cifuentes

Dr. en Ciencias Biológicas, Investigador posdoctoral, Instituto de Biología Subtropical (IBS), UNaM-CONICET. Dirección Av. Felix de Azara 1552, N3300, Posadas, Misiones, Argentina, Autor para correspondencia: agomezcifuentes@conicet.gov.ar

## Gustavo Zurita

Dr. en Ciencias Biológicas, Investigador independiente, Instituto de Biología Subtropical (IBS), UNaM-CONICET. Dirección: Av. Tres Fronteras 183, N3370, Puerto Iguazú, Misiones, Argentina. Profesor adjunto regular, Facultad de Ciencias Forestales, UNaM. Dirección: Bertoni 124, N3380, Eldorado, Misiones, Argentina, gazurita@conicet.gov.ar

## RESUMEN

Los sistemas productivos con ganadería juegan un papel fundamental en la pérdida de bosques nativos, ya que, en el manejo bajo un sistema convencional a cielo abierto, se reemplaza la cobertura arbórea por pastos exóticos, afectando la biodiversidad y los nutrientes del suelo. Por otro lado, otro sistema de producción es el denominado silvopastoral donde se incluyen árboles nativos o exóticos, reduciendo algunos de esos efectos adversos del manejo convencional. En ambos casos, los escarabajos estercoleros son esenciales ya que se alimentan del estiércol vacuno manipulándolo y enterrándolo, promoviendo diferentes funciones ecológicas que incrementan la calidad del suelo. El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de dos sistemas de producción con ganadería (a cielo abierto: CA y silvopastoral: SSP) y la actividad de los escarabajos estercoleros sobre la biomasa seca de pasturas y sobre el ciclaje de los nutrientes del suelo en el norte de Misiones. Se realizó un experimento en diversos campos, comparando dos tratamientos: con y sin escarabajos estercoleros. Se cuantificó la biomasa seca de pasturas de la especie *Brachiaria bizantha* y se analizó la dotación de nutrientes del suelo. La biomasa seca de pasturas y el contenido de fósforo fue mayor en los sistemas productivos ganaderos con un manejo a

## SUMMARY

Livestock production systems play a fundamental role in the loss of native forests since the conventional open pasture management systems replaced tree cover with exotic grasses, affecting biodiversity and soil nutrients. On the other hand, another production system called silvopastoral, in which native or exotic trees are included, reduced some of the adverse effects of conventional management. In both cases, dung beetles are essential since they feed on cow dung by handling and burying it, promoting different ecological functions that increase soil quality. The aim of this study was to determine the influence of two livestock production systems (open pasture: OP and silvopastoral: SP) and the activity of dung beetles on pasture dry biomass and soil nutrient cycling in northern Misiones. An experiment was conducted in several fields comparing two treatments: with and without dung beetles. The dry biomass of pastures (*Brachiaria bizantha*) and soil nutrients were analyzed. Dry pasture biomass and phosphorus content were higher in cattle production systems with open pasture range management compared to silvopastoral systems, respectively. The presence of trees negatively affected pasture production and soil nutrient content, probably due to excessive shading. On the other hand, no effect associated with dung beetle

cielo abierto, en comparación con silvopastoriles, respectivamente. La presencia de árboles afectó negativamente la producción de pasturas y el contenido de nutrientes en el suelo, probablemente por un exceso de sombreado.

Por otro lado, no se observó ningún efecto asociado con la actividad de los escarabajos estercoleros.

**Palabras clave:** silvopastoril, productividad, funciones ecosistémicas, ingenieros ecosistémicos, enterramiento, experimentos funcionales.

activity was observed.

**Key words:** silvopastoral, productivity, ecosystem functions, ecosystem engineers, burial activity, functional experiment.

## INTRODUCCIÓN

En la última década más de 7 millones de hectáreas de bosques tropicales y subtropicales fueron reemplazados por áreas agrícolas, el 80% de esas áreas agrícolas fueron destinadas para la producción ganadera (FAO 2016). En Misiones, la actividad ganadera concentra un total aproximado de 370.000 cabezas que representan el 4,15% del stock ganadero de la región noreste de Argentina (9 millones aprox.) y el 0,68% de todo el país (55 millones aprox.) (MAGYP 2022). La actividad ganadera con un manejo a cielo abierto puede conducir a la degradación de los suelos, reducir la diversidad biológica y la provisión de servicios ecosistémicos, afectando en última instancia la propia producción (HUERTA *et al.*, 2016). En ecosistemas de bosques tropicales y subtropicales, la ganadería a cielo abierto generalmente implica el reemplazo total de la cobertura arbórea por la implantación de pasturas exóticas, que se caracterizan por su alta demanda lumínica, la cual implica efectos negativos en la biodiversidad edáfica, estrés en los animales que pastorean y en el incremento de la erosión del suelo (MURGUEITIO *et al.*, 2011). En contraste, existen algunos sistemas de producción con ganadería que integran árboles, arbustos, pastos y animales que son conocidos de forma genérica como sistemas silvopastoriles (IZAGUIRRE-FLORES y MARTÍNEZ-TINAJERO, 2008). La inclusión de árboles y/o arbustos como cercas vivas en el área de pasturas reduce, en algunos casos, algunos efectos adversos de la deforestación, favoreciendo a través del tiempo al mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo, la prevención de la erosión, la conservación del agua y de la diversidad biológica (NAHED *et al.*, 2014; VILLANUEVA-LÓPEZ *et al.*, 2014).

Los escarabajos estercoleros (Coleoptera: Scarabaeinae) pertenecen al grupo de artrópodos de suelo más estudiados por sus altos valores de diversidad y su rol ecológico en el funcionamiento de los ecosistemas (NICHOLS *et al.*, 2008). En los sistemas productivos que incluyan la ganadería, los escarabajos

estercoleros se alimentan del estiércol vacuno el cual manipulan y en algunos casos entierran (SIMMONS and RIDSDILL-SMITH, 2011). Durante esta manipulación y posterior entierro, promueven diferentes funciones ecológicas tales como el ciclaje de nutrientes y materia orgánica, la aireación del suelo, la dispersión secundaria de semillas y la supresión indirecta de parásitos (NICHOLS *et al.*, 2008; BARDGETT and WARDLE, 2010). Estas funciones ecológicas se traducen en valiosos servicios ecosistémicos como la incorporación de nutrientes al suelo, el control de parásitos perjudiciales al ganado, mayor producción de pasturas y el almacenamiento de carbono en suelo (AARONS *et al.*, 2004; DE DEYN and VAN DER PUTTEN, 2005).

Estudios previos en Latinoamérica han demostrado que las comunidades de escarabajos estercoleros disminuyen su riqueza y biomasa como consecuencia de cambios en el uso del suelo (ALMEIDA *et al.*, 2011; AUDINO *et al.*, 2014); particularmente por la pérdida del dosel arbóreo que modifica las propiedades microclimáticas del suelo (BARRAGÁN *et al.*, 2011; ARELLANO *et al.*, 2013; GÓMEZ-CIFUENTES *et al.*, 2020). En el norte-centro de la provincia de Misiones se han desarrollado diferentes estudios en bosques primarios y secundarios, así como en diferentes sistemas productivos que incluyen la ganadería, con el objetivo de analizar los efectos sobre la diversidad taxonómica y funcional y las respuestas fisiológicas de los escarabajos ante estos cambios en el ambiente (GÓMEZ-CIFUENTES *et al.*, 2019; GUERRA-ALONSO *et al.*, 2020, 2022). Sin embargo, no existen trabajos previos que evalúen el rol de los estercoleros en la producción de pasturas. En base a lo anterior, el objetivo de este trabajo es determinar la influencia de dos sistemas productivos con ganadería (a cielo abierto y silvopastoril) y de la actividad de los escarabajos estercoleros sobre la biomasa seca de pasturas y el ciclaje de nutrientes del suelo en el norte de Misiones. Además, se espera que la mayor actividad de estercoleros en sistemas silvopastoriles resulte en un incremento en la dotación

de nutrientes del suelo y la productividad de pasturas en relación con los sistemas a cielo abierto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Este proyecto se llevó a cabo en dos propiedades rurales ubicadas en la Colonia Esperanza Centro, al norte de la provincia de Misiones (26°01'26.3" S, 54°34'14.6" O y 26°00'31.7" S, 54°28'44.8" O). En general, la región presenta un clima cálido con temperaturas promedio superiores a 20 °C y un promedio anual de precipitaciones de 2000 mm (OLIVEIRA-FILHO and FONTES, 2000). Además, hay una gran heterogeneidad en los usos del suelo, dentro de los cuales se destacan las plantaciones forestales a pequeña escala (*Pinus taeda*), los cultivos anuales (maíz y tabaco), sistemas de producción con ganadería y cultivos perennes (plantaciones de yerba mate, *Ilex paraguariensis*) (IZQUIERDO *et al.*, 2008). En este proyecto se estudiaron los dos sistemas productivos con ganadería más representativos de la región: (i) a cielo abierto con baja o nula cobertura de árboles y una alta dominancia de pastos exóticos implantados y (ii) silvopastoriles con árboles de pino (*Pinus elliottii* Var. *elliottii* Engelm x *Pinus caribaea* Var. *hondurensis* Morelet) de entre 10 a 15 años de plantados asociados con pasturas implantadas. En ambos sistemas se seleccionaron áreas de pastoreo con presencia de la especie forrajera *Brachiaria brizantha* y en lo que respecta al ganado vacuno se seleccionaron sitios donde se realiza un manejo rotativo del pastoreo. Se eligieron dos sitios (réplicas) por cada sistema de producción ganadero separados por al menos 1 km entre ellos; por otro lado, las propiedades rurales seleccionadas estuvieron separadas entre sí por 17 km aproximadamente.

### Diseño experimental

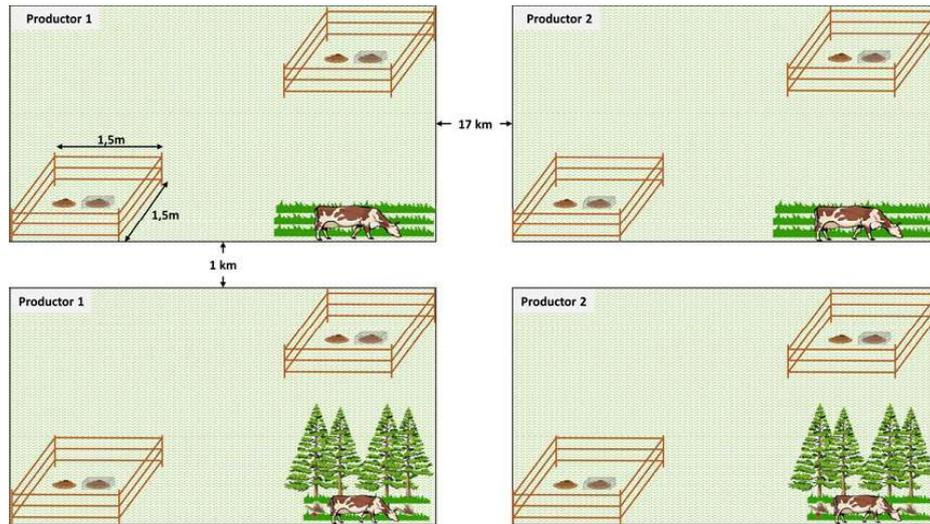
Se realizaron los relevamientos desde diciembre 2019 a julio 2020 (2 sitios de estudio x 2 sistemas productivos con ganadería x 2 corrales de madera x 2 tratamientos experimentales = 16 experimentos) (Figura 1). El diseño experimental se realizó en tres fases: (i) manipulación y degradación de la materia orgánica, (ii) crecimiento de las pasturas y ciclaje de nutrientes en el suelo y (iii) evaluación de la productividad.

En la primera fase (diciembre 2019), se instalaron dos corrales de madera de 1,5x1,5 m en cada sitio de estudio para evitar el acceso de las vacas a los experimentos, los cuales estuvieron separados entre sí por al menos 200 m; luego, dentro de cada corral se establecieron dos parcelas de 1x1 m y en cada una se colocaron tres porciones de 500 g de excremento fresco

de vaca una única vez, tratando de simular lo mejor posible la distribución de deyecciones en condiciones naturales (Figura 1). El excremento de vaca se obtuvo a partir de deposiciones de distintos animales ubicadas en una de las localidades de estudio. En cada parcela fueron asignados al azar alguno de los siguientes tratamientos: (i) con una malla mosquitera fina y metalizada, sostenida por una jaula de metal de 80x80 cm, enterrada unos 3 cm en el suelo para evitar la entrada de escarabajos estercoleros (CON EXCLUSIÓN-CE), y (ii) sin malla mosquitera, ni jaula de metal para permitir que los escarabajos estercoleros manipulen el excremento (SIN EXCLUSIÓN-SE) (Figura 1).

En la segunda fase (marzo 2020), se quitaron las exclusiones, se removieron los remanentes de excremento y se cortó la pastura presente para homogeneizar las condiciones entre tratamientos. El corte de las pasturas se realizó en este momento del año porque las condiciones climáticas y las precipitaciones son las ideales para promover su crecimiento (INTA 2014); además, las pasturas cortadas quedaron a una altura aproximada de 15-20 cm para simular el corte final deseado una vez que pastorean los animales (UNDERSANDER *et al.*, 2002). Vale la pena aclarar que inicialmente se pretendía calcular el crecimiento de la pastura mes a mes en cada tratamiento, desafortunadamente no fue posible realizar esta actividad por la crisis sanitaria del COVID 19.

En la tercera fase (julio 2020), se evaluó la productividad entre sistemas de producción ganaderos y tratamientos. Por un lado, se cosechó la pastura en los dos tratamientos; luego, la pastura cosechada se llevó a peso seco en estufa a 60°C durante 48 horas y se cuantificó la biomasa seca de las pasturas (en gramos) en una balanza digital (Sartorius: modelo LC620D) con una resolución de 0.001 mg. Por otro lado, se tomaron muestras de suelo en cada tratamiento (CE y SE), más una muestra testigo sin excremento ni escarabajos (TESTIGO-T). En total se extrajeron 24 muestras (3 tratamientos x 4 réplicas x 2 sistemas de manejo ganadero = 24 muestras en total) por medio de un barrenado de suelos (5 cm de diámetro) introducido hasta los 10 cm de profundidad. En cada muestra se determinó: C (%), N (%), Relación C/N, P (ppm), K (meq/100g), Ca (meq/100g), Mg (meq/100g), Na (meq/100g), y pH del Agua (1:2.5). Las muestras de pasturas fueron procesadas en el Instituto de Biología Subtropical (IBS, UNaM-CONICET) en Puerto Iguazú, Misiones; mientras que las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Cerro Azul, Misiones.



**Figura 1. Diseño experimental para evaluar la influencia de dos sistemas productivos con ganadería (a cielo abierto y silvopastoral) y de la actividad de los escarabajos estercoleros sobre la biomasa seca de pasturas y el ciclaje de nutrientes del suelo en el norte de Misiones. El excremento con el recuadro gris es el tratamiento con exclusión-CE, mientras que el excremento sin el recuadro gris es el tratamiento sin exclusión-SE.**  
**Figure 1. Experimental design to evaluate the influence of two livestock production systems (open and silvopastoral) and dung beetle activity on pasture dry biomass and soil nutrient cycling in northern Misiones. The dung with the gray box is the treatment with exclusion-CE, while the dung without the gray box is the treatment without exclusion-SE.**

**Análisis de datos**

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software libre R (R Core Team 2022). En todos los casos se pusieron a prueba los supuestos de normalidad y de homocedasticidad utilizando las funciones shapiro.test y bartlett.test del paquete stats (R Core Team 2022). Para comparar los cambios en la producción de biomasa de las pasturas y en las propiedades químicas del suelo entre sistemas productivos ganaderos (a cielo abierto y silvopastoral) y los tratamientos de exclusión de estercoleros (CE y SE; y T solo para el análisis de las propiedades químicas del suelo), se realizaron modelos lineales mixtos ajustados por la máxima verosimilitud restringida (LMER) y modelos lineales mixtos generalizados ajustados por la máxima verosimilitud (GLMER), utilizando las funciones lmer y glmer del paquete lme4 (BATES *et al.*, 2015). En cada modelo se definieron dos efectos fijos (sistema ganadero y tratamiento experimental) y un efecto aleatorio (sitios por tratamiento, llamado Bloque). En relación con los GLMER, en todos los casos se utilizó la distribución Gamma (link = "identity" y "log"). Además, se realizaron análisis factoriales tipo "III" mediante la prueba de Chi cuadrado utilizando la función ANOVA del paquete car (FOX and WEISBERG, 2019) y comparaciones posthoc mediante la prueba de Tukey utilizando la función glht del paquete multcomp (HOTHORN *et al.*, 2008).

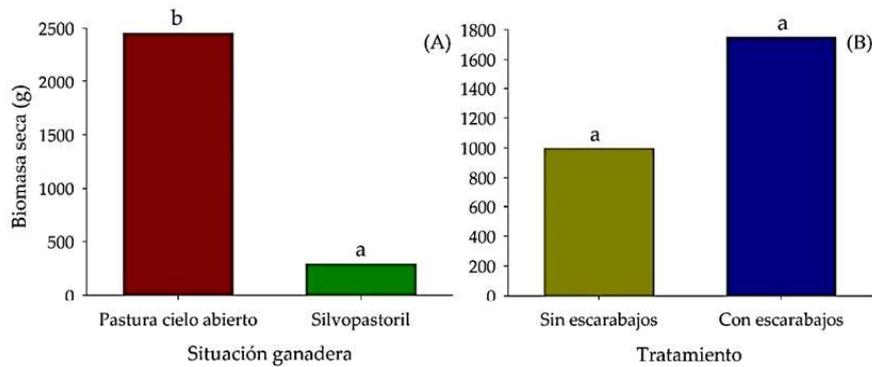
**RESULTADOS**

**Producción de biomasa**

Se observó que el sistema ganadero (a cielo abierto y silvopastoral) tuvo una marcada influencia sobre la producción de biomasa de las pasturas ( $x^2=5.93$ ;  $p=0.01$ ), mientras que la exclusión de estercoleros no la tuvo ( $x^2=0.83$ ;  $p=0.36$ ). La producción de materia seca fue mayor en las pasturas a cielo abierto en comparación con los sistemas silvopastoriles ( $Z=-2.43$ ;  $p=0.02$ ) (Figura 2A).

**Evaluación de los nutrientes del suelo**

Se observó mayores contenidos de fósforo (P) y, marginalmente de carbono (C), en los sistemas a cielo abierto en comparación con los sistemas silvopastoriles ( $Z=-3.76$ ;  $p<0.01$ ) (Tabla 1). En relación con el magnesio (Mg), se observaron mayores contenidos en T y menores en SE, siendo CE una situación intermedia (Tabla 2). Por otro lado, se observaron diferencias marginales que sugieren mayores contenidos de potasio (K) en T y CE en comparación con SE ( $Z=-2.43$ ;  $p=0.04$ ) (Tabla 2); además, también sugieren mayores contenidos de sodio (Na) en SE en relación con CE y T (Tabla 2)



**Figura 2. Biomasa seca de pastos cosechados entre diferentes sistemas productivos con ganadería (A) y los tratamientos con y sin exclusión de estercoleros (B). ANOVA Tipo III (prueba de Wald chisquare). Letras distintas indican diferencias significativas (prueba de Tukey).**

**Figure 2. Dry biomass of harvested grasses between different livestock management systems (A) and treatments with and without exclusion of dung beetles (B). ANOVA Type III (Wald chisquare test). Different letters indicate significant differences (Tukey's test).**

**Tabla 1. Cambios en los nutrientes del suelo para cada sistema de producción ganadero. Letras distintas implican diferencias significativas en las comparaciones posthoc (prueba de Tukey). Table 1. Changes in soil nutrients for each livestock management. Different letters imply significant differences in post-hoc comparisons (Tukey's test).**

| Nutriente                  | Testigo | Sin escarabajos | Con escarabajos |
|----------------------------|---------|-----------------|-----------------|
| C (%) LMER                 | 1.92 a  | 1.87 a          | 1.82 a          |
| N (%) GLMER                | 0.22 a  | 0.24 a          | 0.21 a          |
| Relación C/N LMER          | 11.47 a | 10.90 a         | 11.78 a         |
| P (ppm) LMER               | 2.99 a  | 2.85 a          | 2.53 a          |
| K interc. (meq/100g) GLMER | 1.03 a! | 0.98 a!         | 0.71 a!         |
| Ca interc. (meq/100g) LMER | 6.09 a  | 6.16 a          | 6.16 a          |
| Mg interc. (meq/100g) LMER | 2.22 b  | 2.00 a,b        | 1.57 a          |
| Na interc. (meq/100g) LMER | 0.04 a! | 0.03 a!         | 0.06 a!         |
| pH H2O (1:2.5) LMER        | 5.29 a  | 5.24 a          | 5.24 a          |

LMER = Modelo lineal de efectos mixtos ajustado por la máxima verosimilitud  
 GLMER = Modelo lineal generalizado de efectos mixtos ajustado por la máxima verosimilitud  
 Diferencias marginales (p=0.07)

**Tabla 2. Cambios en los nutrientes del suelo para cada tratamiento experimental. Letras distintas implican diferencias significativas en las comparaciones posthoc (prueba de Tukey). Table 2. Changes in soil nutrients for each experimental treatment. Different letters imply significant differences in post-hoc comparisons (Tukey's test).**

| Nutriente         | Testigo | Sin escarabajos | Con escarabajos |
|-------------------|---------|-----------------|-----------------|
| C (%) LMER        | 1.92 a  | 1.87 a          | 1.82 a          |
| N (%) GLMER       | 0.22 a  | 0.24 a          | 0.21 a          |
| Relación C/N LMER | 11.47 a | 10.90 a         | 11.78 a         |
| P (ppm) LMER      | 2.99 a  | 2.85 a          | 2.53 a          |

Continuación tabla 2

| Nutriente                        | Testigo | Sin escarabajos | Con escarabajos |
|----------------------------------|---------|-----------------|-----------------|
| K interc. (meq/100g) GLMER       | 1.03 a! | 0.98 a!         | 0.71 a!         |
| Ca interc. (meq/100g) LMER       | 6.09 a  | 6.16 a          | 6.16 a          |
| Mg interc. (meq/100g) LMER       | 2.22 b  | 2.00 a,b        | 1.57 a          |
| Na interc. (meq/100g) LMER       | 0.04 a! | 0.03 a!         | 0.06 a!         |
| pH H <sub>2</sub> O (1:2.5) LMER | 5.29 a  | 5.24 a          | 5.24 a          |

LMER = Modelo lineal de efectos mixtos ajustado por la máxima verosimilitud

GLMER = Modelo lineal generalizado de efectos mixtos ajustado por la máxima verosimilitud

! Diferencias marginales (p=0.07)

## DISCUSIÓN

### El rol del sistema productivo

En las condiciones de este experimento, el crecimiento de las pasturas fue mayor en el sistema a cielo abierto al compararlos con el sistema silvopastoril. Estos resultados son opuestos a la esperado y a lo encontrado en ensayos a campo donde la oferta de *B. brizantha* ha demostrado ser una especie tolerante a la sombra (ZELADA and IBRAHIM, 1997). Una posible explicación de los resultados es que la cobertura arbórea en los sistemas silvopastoriles estudiados haya superado un valor umbral de cobertura, reduciendo la llegada de luz al suelo y consecuentemente el crecimiento de la pastura; DIAZ (2003) observó algo similar en el Chaco árido argentino, en donde la producción media de forraje dejó de aumentar con valores de cobertura arbórea iguales o mayores al 40%. La sombra de los árboles regula algunas condiciones microclimáticas a nivel del suelo como la radiación solar, intensidad lumínica, temperatura, humedad relativa, entre otras, que pudieron afectar el crecimiento de *B. brizantha* en estos sistemas productivos con ganadería (NAHED *et al.*, 2014; ENGLAND *et al.*, 2020). Si bien en este estudio no se estimó el porcentaje de llegada de luz al suelo, las observaciones a campo indican que los rodales de estudio fueron en general maduros y con una densidad intermedia.

En relación con los nutrientes del suelo, se observó que el contenido de fósforo (P) en el sistema a cielo abierto fue mayor al compararlo con el silvopastoril; este resultado también podría estar asociado con el porcentaje de sombra que generan los árboles, ya que estudios previos han reportado menor conductividad eléctrica, bases intercambiables (Na y Mg) y nitrógeno (N) en sistemas con retención total o parcial de árboles al compararlos con pasturas abiertas (HANG *et al.*, 1995). Además, estos cambios podrían estar asociados con la diversidad y composición de las especies vegetales utilizadas en el sistema silvopastoril (LIAO *et al.*, 2012). Según un

estudio reciente de GÓMEZ-CIFUENTES *et al.*, (2020) en el norte de Misiones, en sistemas productivos ganaderos con árboles nativos se han observado mayores contenidos de nutrientes y carbono en suelo al compararlos con sistemas silvopastoriles con árboles de pino; debido al incremento de la hojarasca, raíces y tallos en el suelo. Además, ZANINOVICH *et al.*, (2016) demostraron que la descomposición de la materia orgánica del pino es muy lenta en relación con los detritos de especies nativas, produciendo una acumulación de las acículas del pino. Es decir, que la incorporación de árboles nativos en los sistemas silvopastoriles con pino podría mejorar los niveles de nutrientes en el suelo y la productividad forrajera.

### El rol de los escarabajos estercoleros

Si bien las diferencias observadas entre tratamientos no fueron significativas, se observó una tendencia que muestra una mayor producción de pasturas en el tratamiento donde se permitió el acceso de los estercoleros. Tampoco se observó una mejora asociada a la actividad de los estercoleros en los nutrientes del suelo evaluados, contrario a lo observado en otros estudios (NICHOLS *et al.*, 2008; MALDONADO *et al.*, 2019). Esto podría deberse a que, al final del experimento (180 días), todos los nutrientes extras incorporados por los escarabajos quizás fueron utilizados por las pasturas (BANG *et al.*, 2005; BADENHORST *et al.*, 2018). Además, es probable que el efecto en el suelo se haya diluido en este tiempo, ya que solo colocamos un volumen fijo de heces al inicio del experimento (SLADE *et al.*, 2007).

## CONCLUSIONES

La biomasa seca de pasturas y el contenido de fósforo fue mayor en los sistemas productivos ganaderos con un manejo a cielo abierto, en comparación con los sistemas silvopastoriles. Por otro lado, si bien se observó una tendencia a una mayor producción de pasturas por la actividad de los escarabajos estercoleros, no pudo ser estadísticamente

comprobada; por lo tanto, serán necesarios nuevos estudios que consideren otros plazos de tiempo y la incorporación sucesiva de heces de ganado, para poder cuantificar el rol de estos organismos en el ciclado de nutrientes y la productividad de pasturas. Así mismo, otros estudios comparando estos dos sistemas productivos ganaderos serán necesarios para determinar las ventajas y desventajas de los sistemas a cielo abierto y los silvopastoriles con árboles de pinos, teniendo en cuenta la potencialidad de las posibles prácticas de manejo que permitan mejorar la sustentabilidad ganadera.

## AGRADECIMIENTOS

A los productores por permiternos desarrollar nuestras actividades de campo en sus predios. A todos quienes colaboraron en las tareas de campo. Al CONICET por financiar este proyecto y a la Beca de Estímulo a la Vocación Científica del Consejo Interuniversitario Nacional por incentivar a la tarea de investigación en el ámbito universitario.

## BIBLIOGRAFÍA

- AARONS, S.; O'Connor, C.; Gourley, C. (2004). Dung decomposition in temperate dairy pastures I. Changes in soil chemical properties. *Aust J Soil Res* 42:107–114. <https://doi.org/10.1071/SR03008>.
- ALMEIDA, S.; Louzada, J.; Sperber, C.; Barlow, J. (2011). Subtle land-use change and tropical biodiversity: dung beetle communities in Cerrado grasslands and exotic pastures. *Biotropica* 43:704–710. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00751.x>.
- ARELLANO, L.; León-Cortés, J.; Halffter, G.; Montero, J. (2013). Acacia woodlots, cattle and dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a Mexican silvopastoral landscape. *Rev Mex Biodiver*. 84: 650–660. <https://doi.org/10.7550/rmb.32911>.
- AUDINO, L.; Louzada, J.; Comita, L. (2014). Dung beetles as indicators of tropical forest restoration success: is it possible to recover species and functional diversity? *Biol Conserv* 169:248–257. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.11.023>.
- BARDGETT, R.; Wardle, D. (2010). Aboveground-belowground linkages: biotic interactions, ecosystem processes, and global change. Oxford series in ecology and evolution. Oxford university press. Oxford, UK. ISBN: 9780199546886.
- BARRAGÁN, F.; Moreno, C.; Escobar, F.; Halffter, G.; Navarrete, D. (2011). Negative impacts of human land use on dung beetle functional diversity. *PLoS One* 6:e17976. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017976>.
- BATES, D.; Mächler, M.; Bolker, B.; Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models Using lme4. *J Stat Softw* 67. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>.
- DE DEYN, G.; Van der Putten, W. H. (2005). Linking aboveground and belowground diversity. *Trends Ecol Evol* 20:625–633. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.08.009>.
- DÍAZ, R. (2003). Efectos de diferentes niveles de cobertura arbórea sobre la producción acumulada, digestibilidad y composición botánica del pastizal natural del Chaco Árido (Argentina). *Agriscientia* 20:61–68. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/2832/2714>.
- ENGLAND, J.; O'Grady, A.; Fleming, A.; Marais, Z.; Mendham, D. (2020). Trees on farms to support natural capital: an evidence-based review for grazed dairy systems. *Sci Total Environ* 704:135345. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135345>.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma, Italia. ISBN: 9789253092086.
- FOX, J.; Weisberg, S. (2019). An R Companion to Applied Regression, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>.
- GÓMEZ-CIFUENTES, A.; Vespa, N.; Semmartín, M.; Zurita, G. (2020). Canopy cover is a key factor to preserve the ecological functions of dung beetles in the southern Atlantic Forest. *Appl Soil Ecol* 154:103652. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103652>.
- GÓMEZ-CIFUENTES, A.; Giménez V.; Moreno, C.; Zurita, G. (2019). Tree retention in cattle ranching systems partially preserves dung beetle diversity and functional groups in the semideciduous Atlantic forest: The role of microclimate and soil conditions. *Appl Ecol* 34:64–74. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.10.002>.
- GUERRA-ALONSO, C.; Zurita, G.; Bellocq, M. (2022). Livestock grazing impact differently on the functional diversity of dung beetles depending on the

regional context in subtropical forests. *Sci rep* 12:1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05616-x>.

GUERRA-ALONSO, C.; Zurita, G.; Bellocq, M. (2020). Dung beetles response to livestock management in three different regional contexts. *Sci rep* 10:1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60575-5>.

HANG, S.; Mazzarino, M.; Núñez, G.; Oliva, L. (1995). Influencia del desmonte selectivo sobre la disponibilidad de nitrógeno en años húmedos y secos en sistemas silvopastoriles en el Chaco Árido Argentino. *Agroforestería en las Américas* 2:9-14. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6405>.

HOTHORN, T.; Bretz, F.; Westfall, P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biom J* 50:346–363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>.

HUERTA, C.; Cruz, R.; Escobar, F.; Arellano, L. (2016). ¿Qué se entiende por Ganadería Sustentable? Pp. 21-29 en Huerta C. and R. Cruz (Comp.) 2016. *Hacia una ganadería sustentable y amigable con la biodiversidad. Estudio de caso: Xico, Veracruz. Instituto de Ecología, AC. Xalapa, Veracruz, México. ISBN: 9786077579595*.

IZAGUIRRE-FLORES, F.; Martínez-Tinajero, J. (2008). El uso de árboles multipropósito como alternativa para la producción animal sostenible. *Revista Tecnología En Marcha* 21:28–40.

IZQUIERDO, A.; De Angelo, C.; Aide, T. (2008). Thirty Years of Human Demography and Land-Use Change in the Atlantic Forest of Misiones, Argentina: an Evaluation of the Forest Transition Model. *Ecol* 13. <https://doi.org/10.5751/ES-02377-130203>.

LIAO, C.; Luo, Y.; Fang, C.; Chen, J.; Li, B. (2012). The effects of plantation practice on soil properties based on the comparison between natural and planted forests: a meta-analysis. *Glob Ecol Biogeogr* 21:318-327. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00690.x>.

MALDONADO, M.; Aranibar, J.; Serrano, A.; Chacoff, N.; Vázquez, D. (2019). Dung beetles and nutrient cycling in a dryland environment. *CATENA* 179:66-73. <https://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.035>.

MAGYP - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2022). Última consulta: 24/06/2023. [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion\\_interes/informes/index.php](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion_interes/informes/index.php).

MURGUEITIO, E.; Calle, Z.; Uribe, F.; Calle, A.; Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *For Ecol Manag* 261:1654-1663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>.

NAHED, J.; Palma, J.; González, E. (2014). La adaptación como atributo esencial en el fomento de sistemas agropecuarios resilientes ante las perturbaciones. *Av Investig Agropecu* 18:7-34. <http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2014/sept/1.pdf>.

NICHOLS, E.; Spector, S.; Louzada, J.; Larsen, T.; Amezcuita, S.; et al. (2008). Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol* 141:1461–1474. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.011>.

OLIVEIRA-FILHO, A.; Fontes, M. (2000). Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate. *Biotropica* 32:793-810. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x>.

R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>.

SIMMONS, L.; Ridsdill-Smith, T. (2011). Reproductive competition and its impact on the evolution and ecology of dung beetles. Pp. 1-20 in Simmons, L. W., and T. J. Ridsdill-Smith (Eds.). 2011. *Ecology and evolution of dung beetles*. John Wiley & Sons Oxford, UK. <https://doi.org/10.1002/9781444342000>.

UNDERSANDER, D.; Albert, B.; Cosgrove, D.; Johnson, D.; Peterson, P. (2002). *Pastures for profit: A guide to rotational grazing*. Madison, WI, USA: Cooperative Extension Publications, University of Wisconsin-Extension.

ZANINOVICH, S.; Fontana, J.; Gatti, M. (2016). Atlantic Forest replacement by non-native tree plantations: Comparing aboveground necromass between native forest and pine plantation ecosystems. *For Ecol Manag* 363:39-46. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.12.022>.

ZELADA, E.; Ibrahim, M. (1997). PF 15. Shade tolerance of herbaceous forage species in humid tropic of Costa Rica. *Latin American Archives of Animal Production*, 5:42-4