



ATN_RF-16926-RG. Intensificación sostenible de sistemas ganaderos con leguminosas: plataforma de cooperación Latinoamericana y del Caribe
Producto 8: DATABASE Carbono del suelo

Gabriela Perez (Bruno Alves, Alodia Gonzalez, Fernando Lattanzi, Romina Romaniuk, Francisco Salazar)

2024



Ministry for Primary Industries
Manatū Ahu Matua



PROCISUR



FONTAGRO



Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Gabriela Perez, investigadora del INTA Argentina, en colaboración con Bruno Alves, investigador de EMBRAPA Brasil, Alodia Gonzalez, investigadora del IPTA Paraguay, Fernando Lattanzi, investigador del INIA Uruguay, y Romina Romaniuk, investigadora del INTA Castelar.

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org



Tabla de Contenidos

| | |
|-----------------------------------|----|
| RESUMEN Y PALABRAS CALVE..... | 4 |
| ABSTRACT..... | 4 |
| INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| OBJETIVO | 5 |
| METODOLOGÍA | 6 |
| RESULTADOS | 8 |
| CONCLUSIONES..... | 12 |
| ANEXO 1 | 12 |
| INSTITUCIONES PARTICIPANTES | 12 |



RESUMEN

El carbono del suelo influye en la fertilidad, la estructura y los ciclos de nutrientes, además de ser clave en la mitigación del cambio climático. Las leguminosas forrajeras, que fijan nitrógeno atmosférico, han mostrado potencial para incrementar el almacenamiento de carbono, aunque su impacto a largo plazo no es concluyente.

Este estudio recopiló datos de almacenamiento de carbono y nitrógeno en pastizales con y sin leguminosas en Argentina, Brasil, Chile, Uruguay y Paraguay. Se realizaron experimentos con pastizales bajo pastoreo en suelos con condiciones edafoclimáticas similares.

Los resultados muestran una amplia variabilidad, con mayores stocks de carbono en praderas chilenas y alfalfa en Argentina, y menores en Paraguay. La densidad aparente fue menor en suelos volcánicos de Chile.

Palabras Clave: almacenaje de carbono, nitrógeno, densidad aparente

ABSTRACT

Soil carbon influences fertility, structure and nutrient cycles, and is key to mitigating climate change. Forage legumes, which fix atmospheric nitrogen, have shown potential to increase carbon storage, although their long-term impact is inconclusive.

This study collected carbon and nitrogen storage data in grasslands with and without legumes in Argentina, Brazil, Chile, Uruguay and Paraguay. Experiments were conducted with grazed grasslands on soils with similar soil and climate conditions.

The results show a wide variability, with higher carbon stocks in Chilean grasslands and alfalfa in Argentina, and lower in Paraguay. Bulk density was lower in volcanic soils in Chile.

Keywords: carbon storage, nitrogen, bulk density



INTRODUCCIÓN

El carbono del suelo es un componente primordial que influye no solo en la fertilidad, sino también en los ciclos biogeoquímicos de otros nutrientes, como el nitrógeno, el fósforo y el azufre. Además, el carbono en el suelo desempeña un papel crucial en la estructura del suelo, la retención de agua y la biodiversidad microbiana. Históricamente, el interés en incrementar el carbono del suelo se ha centrado principalmente en mejorar la productividad agrícola, sin embargo, en las últimas décadas, la creciente preocupación por el cambio climático ha impulsado la relevancia del almacenamiento de carbono como una herramienta para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero.

Diversos estudios han mostrado que la inclusión de leguminosas en los pastizales contribuye a incrementar el almacenamiento de carbono en el suelo. Estas plantas fijan nitrógeno atmosférico a través de su asociación con bacterias, mejorando la fertilidad del suelo y favoreciendo una mayor producción de biomasa. Este aumento de biomasa, tanto aérea como subterránea, se transforma en materia orgánica que se descompone y se almacena en el suelo, contribuyendo a la captura de carbono. Además, las raíces densas de las leguminosas favorecen la estabilidad estructural del suelo, reduciendo la erosión y promoviendo el almacenamiento de carbono en profundidades mayores. A pesar de la evidencia sobre los beneficios de las leguminosas, los resultados de estudios sobre su efecto en el incremento del carbono del suelo no han sido concluyentes. Aunque se ha documentado su capacidad para mejorar la fertilidad y la estructura del suelo, aún se dispone de poca información precisa sobre su impacto directo en el secuestro de carbono a largo plazo. La investigación en esta área es clave, ya que incrementar el carbono en el suelo no solo podría mejorar la calidad del suelo, sino también contribuir de manera significativa a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando así a enfrentar los desafíos del cambio climático.

OBJETIVO

El objetivo de este reporte fue compilar valores de almacenaje de carbono y algunas variables complementarias en el suelo determinados en pastizales dedicados a la ganadería con y sin inclusión de leguminosas de Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay.



METODOLOGÍA

Determinación de carbono orgánico total del suelo y cálculo de almacenaje.

Se llevaron a cabo experimentos que incluyeron al menos un tratamiento con pastizal de gramíneas y otro con asociación con leguminosas. Se estableció como esencial un mínimo de tres repeticiones para los sistemas bajo pastoreo. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con tiempos de permanencia que variaron desde 4 hasta más de 35 años, dependiendo de la ubicación. Estos experimentos se realizaron en Brasil, todos bajo pastoreo directo:

Uno de los sitios estuvo ubicado en el sur de Minas Gerais (Lavras), con un clima más frío, suelo arcilloso y 5 años de existencia, utilizando *Arachis pintoi* como leguminosa en la asociación. Otras dos áreas se encontraban en el sur de Bahia, al nordeste de Brasil. Una de ellas, con 8 años de implantación sobre suelo arenoso, también utilizaba *Arachis pintoi*, mientras que la otra, con 5 años, empleaba *Desmodium ovalifolium*. En todos los casos, el diseño fue en bloques completos al azar, con 3 repeticiones. Un tercer ensayo en Bagé, Río Grande do Sul, comparó un pastizal nativo mejorado con pasturas de ryegrass.

También se realizaron experimentos con pastizales que incluían o no leguminosas, ambos con el mismo historial, diferenciándose únicamente en el momento de introducción de la leguminosa. En las regiones subtropicales, los pastizales con gramíneas nativas fueron la referencia de la vegetación original, mientras que en las regiones tropicales las pasturas se establecieron tras la remoción de bosques. En aquellos lugares donde fue posible, se recomendó el muestreo del suelo en áreas próximas con la misma clase de suelo y relieve, pero bajo vegetación original remanente.

Las áreas de pasturas y bosques se ubicaron en suelos similares y adyacentes, minimizando diferencias edafoclimáticas. Se tomaron como referencia la secuencia y profundidad de los horizontes del suelo, textura, densidad aparente, y la posición de la capa freática, entre otros parámetros, para asegurar la similitud entre áreas.

Se llevaron a cabo muestreos en un sitio en Paraguay, con pasturas que tenían aproximadamente 5 años de antigüedad, comparando pasturas con leguminosas y sin leguminosas. Estas áreas tenían características similares a las áreas sabánicas de Brasil.

En la región pampeana, el proyecto incluyó sitios en Argentina, Uruguay y Brasil. En Argentina, los muestreos se realizaron en la Pampa Deprimida (Chascomús, Provincia de Buenos Aires), donde se compararon pastizales naturalizados con pastizales bajo promoción de *Lotus tenuis* (menos de 5 años de presencia y más de 10 años). Los suelos pertenecían a tres grandes grupos (Natracuol, Natracualf y Hapludoles thapto), y se buscaron situaciones análogas en sectores deprimidos de Castelli, Pila y General Belgrano.

En Uruguay, varios sitios en la Pampa incluyeron muestreos de campos naturales y



praderas con leguminosas y fertilización con P, con 5 y 10 años de existencia. En Chile, los muestreos se realizaron en praderas permanentes con o sin leguminosas, en suelos volcánicos y bajo clima mediterráneo. La antigüedad de los sitios varió entre 3 y 10 años, usando una situación prístina como referencia.

Evaluación del carbono acumulado en el suelo

En cada unidad de muestreo (bosque, pastizal y pastizal asociado con leguminosas, de cada edad, según correspondía) se abrieron 5 calicatas y se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-80 y 80-100 cm, o hasta encontrar la capa freática u otro impedimento). En tres paredes de cada calicata se extrajeron muestras de suelo deformadas y no alteradas en su volumen, utilizando anillos de Kopeck, para determinar la densidad aparente. Alrededor de cada calicata, se incluyeron otros cuatro puntos de muestreo a una profundidad de 0-30 cm.

Las muestras se secaron al aire, se desterraron y se tamizaron con un tamiz de malla de 2 mm. Se tomaron precauciones especiales para evitar la inclusión de raíces finas visibles en las muestras superficiales, ya que sus contenidos de C y N podrían sesgar los resultados. Se verificó si el área había recibido cal y se evaluó la presencia de carbonatos de calcio.

Se analizaron la textura del suelo, variables químicas locales, y los contenidos de C y N mediante el método de oxidación seca, utilizando equipos auto-analizadores. Las muestras se molieron finamente con un molino de rodillos para asegurar la homogeneidad.

Para asegurar comparaciones justas, los contenidos de C y N de los perfiles de suelo se calcularon ajustando las diferencias en densidades del suelo entre los sistemas agrícolas y el sistema de referencia, utilizando la siguiente ecuación:

Esta corrección fue calculada matemáticamente, a través de siguiente ecuación:

$$C_S = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[M_{Tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] C_{Tn}$$

Donde,

C_S es la acumulación (stock) de C ($Mg\ C\ ha^{-1}$) en el suelo en una profundidad donde la masa de suelo sea la misma de aquella observada en el perfil de suelo utilizado como referencia;

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$ es la suma del contenido de C total ($Mg\ ha^{-1}$) desde la capa 1 (superficie) hasta la capa 'n-1' (penúltima) en el perfil del suelo bajo el tratamiento;

$\sum_{i=1}^n M_{Si}$ es la suma de la masa de suelo ($Mg\ ha^{-1}$) desde la capa 1 (superficie) hasta la cama 'n' (última capa) en el perfil del suelo referencia;



$$\sum_{i=1}^n M_{Ti}$$

es la suma de la masa de suelo (Mg ha^{-1}) desde la capa 1 (superficie) a la capa 'n' (última capa) del perfil del tratamiento y M_{Tn} y CTn son respectivamente la masa de suelo y concentración de carbono en la última capa del perfil del suelo bajo el sistema en evaluación.

RESULTADOS

Se compilaron valores promedio de almacenaje de C y nitrógeno N en el suelo (Mg ha^{-1}) para pastizales con y sin inclusión de leguminosas forrajeras, distribuidos en distintos ecosistemas de Argentina, Brasil, Chile, Uruguay y Paraguay. Estos datos permiten evaluar cómo el manejo y la composición florística afectan el almacenamiento de C y N, dos indicadores clave de la salud del suelo y su capacidad para mitigar el cambio climático.

En la Figura 1, se observa un rango amplio en los stocks de carbono medidos, que varían entre $7,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en un bosque nativo de Paraguay y $131,27 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en praderas naturales de Chile. Este amplio rango pone de manifiesto las diferencias entre los sistemas de manejo y los tipos de suelo en cada país. En Argentina, los tratamientos con alfalfa destacaron por tener los mayores valores de stock de carbono, lo que sugiere que los sistemas basados en leguminosas forrajeras contribuyen significativamente al secuestro de carbono en el suelo. En Brasil, aunque los valores de stock de carbono fueron variados según las diferentes ubicaciones, se observó una notable variabilidad entre zonas de vegetación nativa y los tratamientos forrajeros. En Paraguay, tanto los valores de stock de carbono como de nitrógeno fueron menores que en el resto de los países participantes. En cuanto a los stocks de nitrógeno, los valores oscilaron entre $0,88 \text{ Mg N ha}^{-1}$ en un bosque nativo de Paraguay y $11,80 \text{ Mg N ha}^{-1}$ en un bosque arbustivo en Argentina. Este resultado subraya la importancia de la vegetación nativa y los sistemas forestales en el almacenamiento de nitrógeno en el suelo, aunque nuevamente se aprecia una considerable variabilidad entre las distintas regiones y sistemas de manejo.

Con respecto a la densidad aparente del suelo, se informaron valores que oscilan entre $1,19 \text{ g cm}^{-3}$ y $1,53 \text{ g cm}^{-3}$ en Argentina y Brasil. Estos valores indican un grado moderado de compactación, que puede afectar la porosidad y, por ende, la infiltración de agua y el movimiento de gases en el suelo. En Chile, por otro lado, se reportaron valores mucho menores de densidad aparente, entre $0,62$ y $0,9 \text{ g cm}^{-3}$, lo que es una característica distintiva de los suelos de origen volcánico.

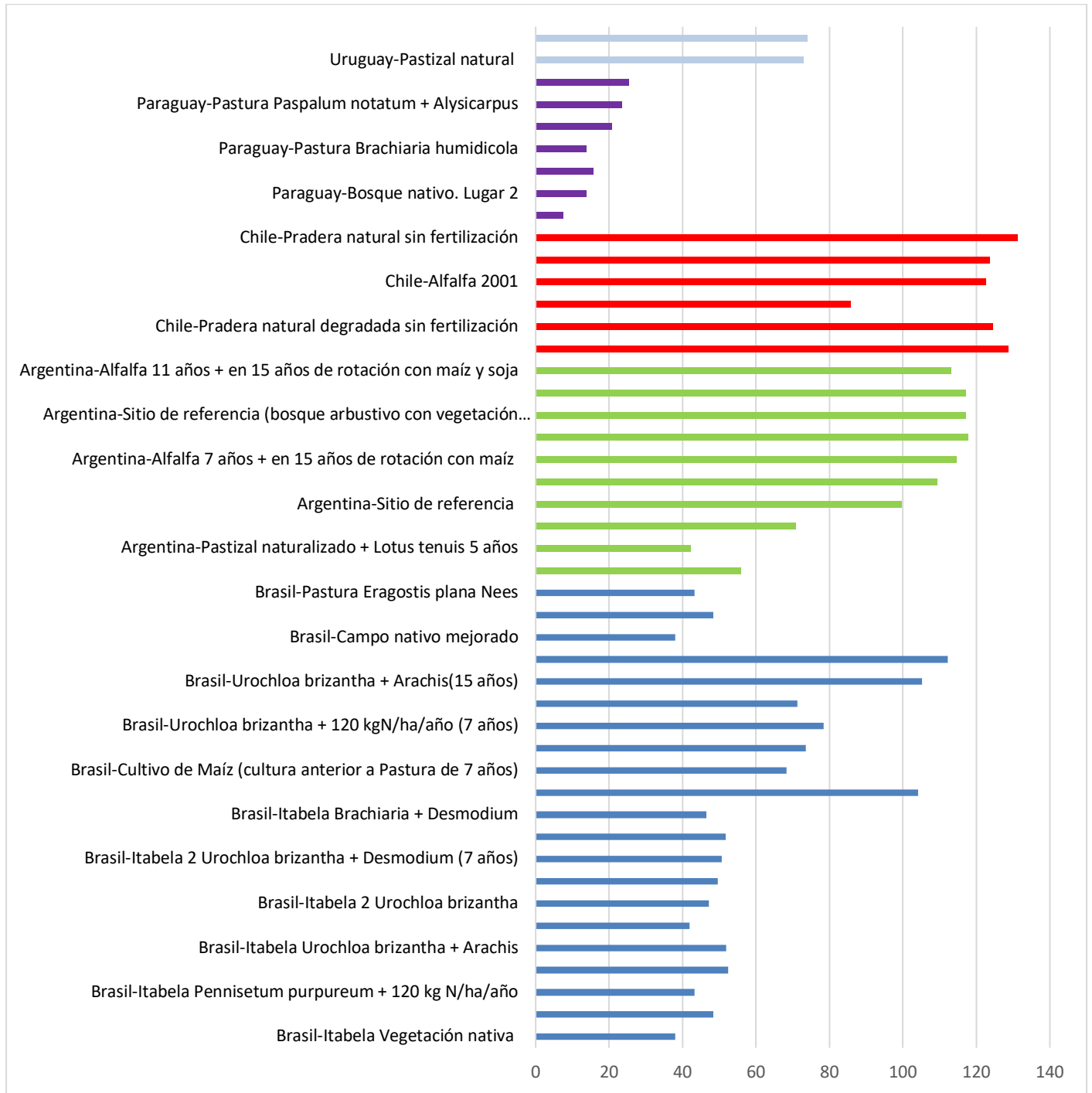


Figura 1. Stock de carbono al metro (Mg. ha⁻¹) para todos los tratamientos. En el eje “Y” se indica, el país, la localidad y los tratamientos.

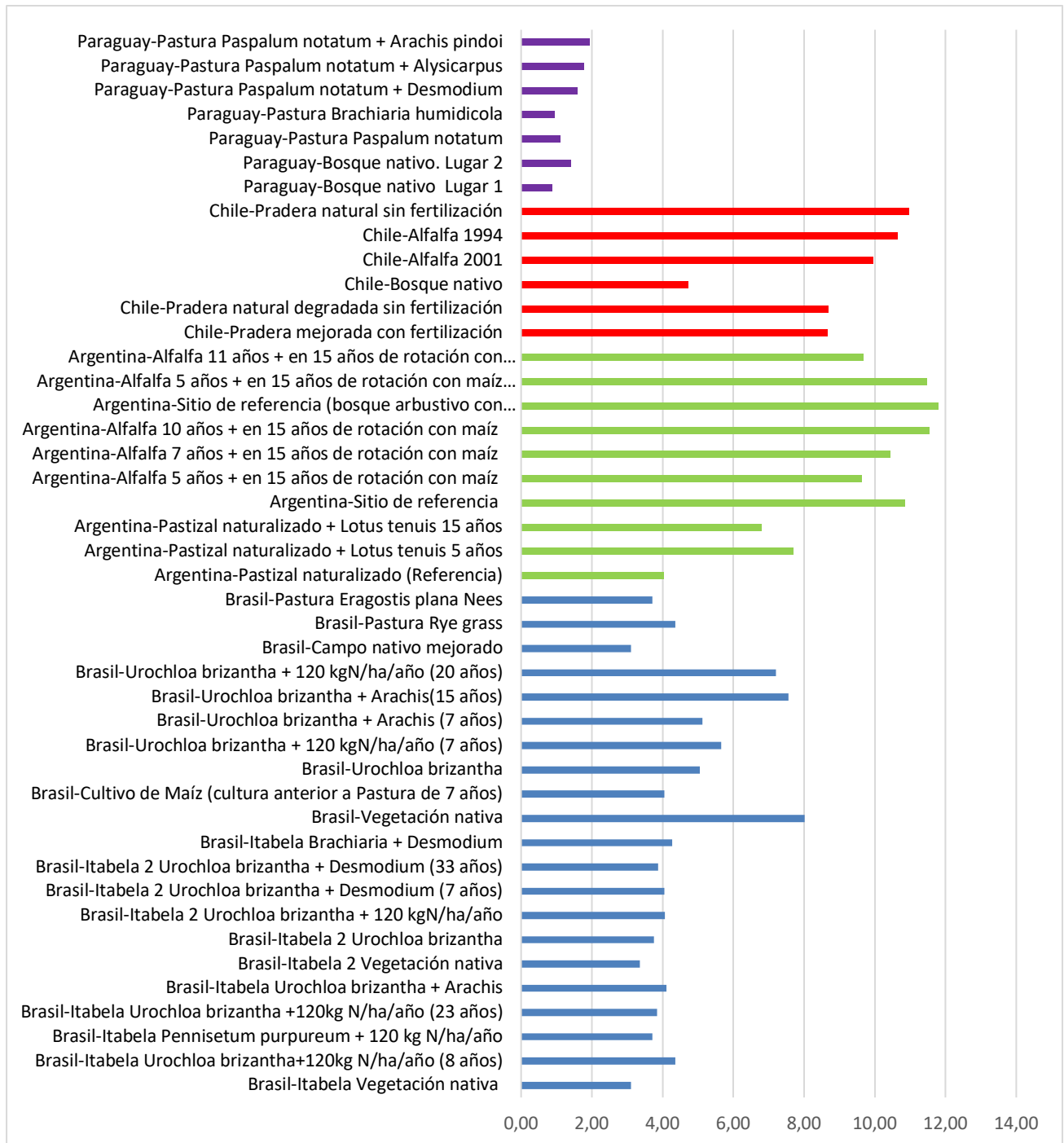


Figura 2. Stock de nitrógeno (Mg.ha⁻¹) para todos los tratamientos. En el eje “Y” se indica, el país, la localidad y los tratamientos.

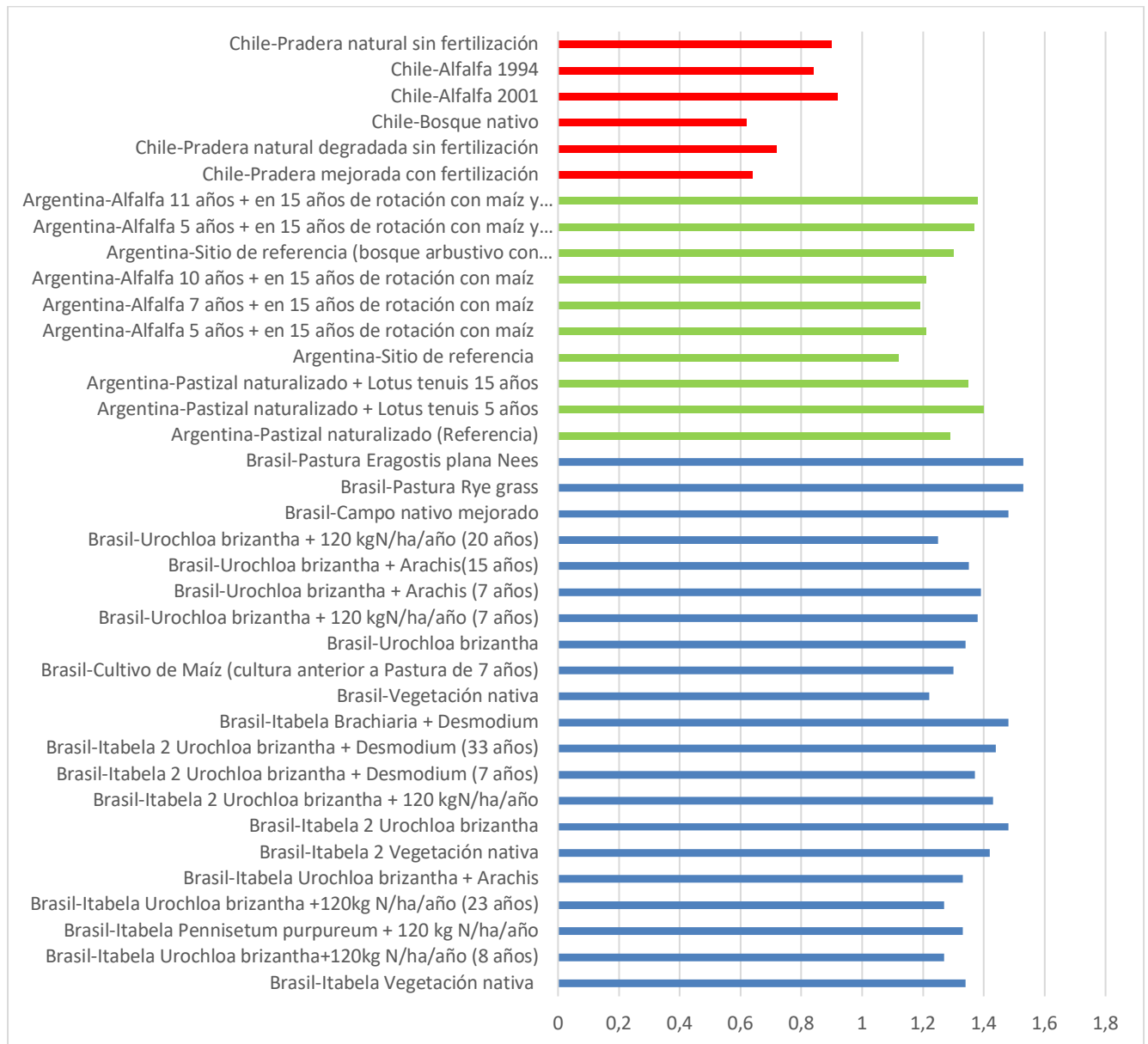


Figura 3. Densidad aparente (g.cm⁻³) para todos los tratamientos. En el eje “Y” se indica, el país, la localidad y los tratamientos.

CONCLUSIONES

El stock de C, N y densidad aparente en pastizales con y sin inclusión de leguminosas con distintos tiempos de implementación, tanto en ambientes templados como subtropicales y tropicales, y tanto en praderas sembradas como en pastizales naturales, fue comparable a valores de la literatura internacional. Estos resultados destacan cómo factores como el tipo de suelo, el manejo agrícola y la inclusión de leguminosas pueden influir significativamente en el almacenamiento de carbono y nitrógeno, así como en la densidad aparente del suelo.

ANEXO 1

Base de datos que compila valores promedio de stock de carbono, nitrógeno y densidad aparente discriminados por “País”, “Provincia”, “Estado”, “Localidad”, “Tratamiento”, “Arcilla”, “Tiempo de existencia”

INSTITUCIONES PARTICIPANTES



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org