



Ganadería
sostenible
con arraigo
e innovación

XI Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles

I Congreso de la Red Global de Sistemas Silvopastoriles

México, 3 a 5 de noviembre de 2021



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



Sistemas Silvopastoriles:

Ganadería sostenible con arraigo e innovación



XI Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles
I Congreso de la Red Global de Sistemas Silvopastoriles

México, 3 a 5 de noviembre de 2021

CIPAV
Red Global de Sistemas Silvopastoriles

Sistemas silvopastoriles:

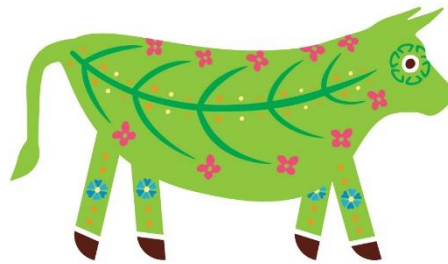
Ganadería sostenible con arraigo e innovación

Editores

Julián E. Rivera
Luis Colcombet
Rocío Santos-Gally
Enrique Murgueitio
Maura Díaz
Rogerio Martins Mauricio
Pablo Peri
Julián Chará

ISBN: 978-958-9386-99-6

Cali – Colombia
Noviembre de 2021
Editorial CIPAV



*Ganadería
sostenible
con arraigo
e innovación*

XI Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles

I Congreso de la Red Global de Sistemas Silvopastoriles

México, 3 a 5 de noviembre de 2021

INICIO
CRÉDITOS
COMITÉS
CONTENIDO
SECCIÓN I
SECCIÓN II
SECCIÓN III
SECCIÓN IV



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



La publicación de este material se llevó gracias al apoyo del Fondo Autónomo para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas y de Minciencias a CIPAV a través del Contrato 80740-006-2020.



El conocimiento
es de todos

Minciencias



INICIO
CRÉDITOS
COMITÉS
CONTENIDO
SECCIÓN I
SECCIÓN II
SECCIÓN III
SECCIÓN IV

TÍTULO

Sistemas Silvopastoriles: Ganadería Sostenible con Arraigo e Innovación

EDITORES

Julián E. Rivera
Luis Colcombet
Rocío Santos-Gally
Enrique Murgueitio
Maura Díaz
Rogerio Martins Mauricio
Pablo Peri
Julián Chará

FOTOGRAFÍA PORTADA

Adolfo Galindo

Sistemas silvopastoriles intensivos en la Amazonía plana del departamento del Guaviare, Colombia. Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible.

DISEÑO GRÁFICO

José Antonio Riascos

ISBN

978-958-9386-99-6

Para citar este documento:

Rivera J., Colcombet L., Santos-Gally R., Murgueitio E., Díaz M., Mauricio R., Peri P., Chará J. 2021. Sistemas Silvopastoriles: Ganadería Sostenible con Arraigo e Innovación. CIPAV. Cali, Colombia.

ISBN: 978-958-9386-99-6

© 2021. CIPAV

Sistemas silvopastoriles: ganadería sostenible con arraigo e innovación / Rivera, Julian Esteban; Colcombet, Luis; Santos-Gally, Rocío; Murgueitio, Enrique; Díaz, Maura; Martins Rogerio; Peri, Pablo; Chará, Julian. -- Cali, CIPAV, 2021

Digital, formato PDF, 56.5mb, ilustrado

ISBN 978-958-9386-99-6

1. Ganadería sostenible -- 2. Sistemas silvopastoriles. -- 3. Cambio climático. -- 4. Sostenibilidad. -- 5. Pastizales. -- 6. Sistemas forrajeros -- América Latina -- 7. Productividad. -- 8. Agricultura. -- 9. Tecnología relacionada. -- I. Julián Rivera, Luis Colcombet, Rocío Santos-Gally, Enrique Murgueitio, Rogerio Martins, Maura Díaz, Pablo Peri, Julián Chará, Editores; José Antonio Riascos de la Peña, Diseñador gráfico. - - II. Título

632.96 CD 21

Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria CIPAV.



INICIO
CRÉDITOS
COMITÉS
CONTENIDO
SECCIÓN I
SECCIÓN II
SECCIÓN III
SECCIÓN IV

COMITÉ ORGANIZADOR NACIONAL

Martha Xóchilt Flores – Fundación Produce Michoacán
Rocío Santos-Gally – Instituto de Ecología, UNAM
Ramón Del Val – Fundación Produce Michoacán
Arturo Di Costanzo – Red Nacional de Innovadores Silvopastoriles
Teresa Magaña – Red Nacional de Innovadores Silvopastoriles
Carlos S. Brito – Fundación Produce Michoacán
Héctor Mario Jiménez – Red Nacional de Innovadores Silvopastoriles

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL

Rocío Santos-Gally – Instituto de Ecología, UNAM, México
Enrique Murgueitio – Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV, Colombia
Luis Colcombet – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA – Montecarlo. Misiones, Argentina.
Julián E. Rivera – Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV, Colombia
Pablo Luis Peri: INTA – Santa Cruz. Santa Cruz, Argentina.
Julián Chará – CIPAV. Cali, Colombia.
Rogério Martins Mauricio – Universidade Federal de São João del-Rei. Minas Gerais, Brasil.
Maura Díaz – Universidad Nacional de Asunción, Paraguay.
Adolfo Cardozo – CENDI Granja, Universidad Nacional de los Llanos Ezequiel Zamora, Venezuela
Alicia Calle – The Nature Conservancy, Colombia.
Antonio Solarte – CIPAV, Colombia
Belén Rossner – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA – Montecarlo. Misiones, Argentina
Carlos Sánchez Britto – Fundación Produce Michoacán, México.
Gonzalo Villegas – CIPAV, Colombia
Hugo Fassola – INTA Montecarlo. Misiones, Argentina.
Jatnell Alonso – Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba.
Javier Lara - INTA Leales. Tucumán, Argentina
Jhon Jairo Lopera - CIPAV, Colombia
Jorge Esquivel – CREA Tierra Colorada, Misiones – Argentina.
Julio Perrachón – Plan Agropecuario, Uruguay
Karen Castaño - CIPAV, Colombia
Laura Serna - CIPAV, Colombia
Lina Paola Giraldo – CIPAV, Colombia
Marcelo Navall – INTA, Santiago del Estero, Argentina
Natalia Banegas – INTA Leales. Tucumán, Argentina
Patricia Keller – Universidad de Misiones, Argentina
Rolando Barahona – Universidad Nacional, sede Medellín, Colombia.
Rosana Maneschy – Universidade Federal do Pará, Brasil
Simón Pérez – Universidade Federal do Minas Gerais, Brasil
Stella Maris Huertas – Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
Tomás Ruiz – Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba.
Walter Galindo – CIPAV, Colombia
Zoraida Calle – CIPAV, Colombia



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

¿Podrán los sistemas silvopastoriles mejorar los balances de carbono en Argentina?

¿Can silvopastoral systems improve carbon balances in Argentina?

¹Gándara L.; ²³Faverin C.; ²Cambareri G.S.; ⁴Tieri, M. P.; ⁵Cosentino, V.R.N.;
⁶Recavarren P.M.; ⁵Beltran M.J.; ⁷Yogi D.R.; ⁷Perrens G.A.; ⁸Colcombet, L.;
⁹Peri P.L.

¹E.E.A. INTA Corrientes, ²E.E.A. INTA Balcarce, ³Universidad Nacional de Mar del Plata, ⁴EEA INTA Rafaela.-UTN Rafaela ⁵Instituto de Suelos. INTA Castelar, ⁶A.E.R. INTA Olavarría, ⁷Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE. ⁸E.E. A INTA Montecarlo, ⁹E.E.A. INTA Santa Cruz.

Resumen

El objetivo fue evaluar el balance neto y la huella de carbono de la producción vacuna en un sistema ganadero pastoril con la inclusión del árbol bajo sistema silvopastoril. El ensayo se realizó en un establecimiento ubicado en el Departamento de Concepción, Corrientes, Argentina. Se calcularon y modelaron los valores de balance de carbono para el año 2010 (línea de base), 2021 (situación actual) y la proyección al 2030, considerando datos relevados del suelo, pastizal, árboles y animales. Se evaluó el stock, secuestro y emisión de carbono del suelo (0-30 cm), raíces del árbol y del pastizal, biomasa aérea del pastizal y del árbol, y del componente animal. El balance de carbono del sistema ganadero mejoró significativamente con la inclusión del árbol (25% de la superficie total del predio), con lo que se logró disminuir el balance de 21,85 a -7,8 kg de CO₂ kg PV⁻¹.

Palabras claves: *Sistemas integrados de producción animal, huella de carbono, secuestro, emisión.*

Abstract

The work objective was to evaluate the net carbon balance and cattle carbon footprint at a farm level that includes trees under silvopastoral systems in Concepción, Corrientes, Argentina. The carbon balance has been calculated and modeled in 2010 (base line), 2021 (actual situation) and the future trend in 2030, by considering the data from soil, grass, tree and animal. The carbon stock, sequestration and emissions were estimated from soil (0-30 cm), trees and grasses roots, above ground biomass of trees and grasses, and cattle. The carbon balance improved from 21.85 to -7.80 kg CO₂ kg meat⁻¹ produced, by including trees on 25% of farms surface under silvopastoral use.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

Keywords: *Integrated livestock systems*, carbon footprint, sequestration, emission.

Introducción

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una variante de la agroforestería y consisten en la combinación de la producción forestal y la ganadera, diseñada para capturar los beneficios resultantes de las interacciones ecológicas y económicas entre ambas producciones (Gomez, 2019). A nivel mundial existen cerca de 1.000 millones de hectáreas bajo agroforestería, de las cuales una parte importante está dedicada a SSP (Kumar *et al.*, 2014).

En Argentina, existe una amplia gama de SSP que se han establecido para una variedad de propósitos, utilizando variadas especies en diferentes configuraciones espaciales y temporales (Peri *et al.*, 2018). Particularmente en la región Mesopotamia (Provincias de Corrientes y Misiones) han sido adoptados sistemas integrados con pinos y gramíneas que junto con la ganadería ofrecen una alternativa a la producción de diversidad y con posibilidades para aumentar la rentabilidad en comparación con los sistemas agrícolas tradicionales (Peri *et al.*, 2018). Corrientes, es considerada la provincia Argentina con mayor superficie de plantaciones forestales y cuenta con más de 516 mil ha forestadas (Argentina Forestal, 2019). La plantación forestal puede generar rollizos para tres diferentes tipos de industrias: La industria del aserrado (tablas para fábrica de pisos, construcción, pallets, decks), tableros (aglomerados, laminados y contrachapados) y aquellos que consumen chips (pasta celulósica, energía). En lo que respecta a ganadería, esta provincia contribuye con el 8,5 % (4,7 millones de cabezas) al stock (total de cabezas) nacional, que ronda los 54,8 millones de vacunos (SENASA, 2018).

La actividad ganadera más difundida en el Noreste Argentino (NEA) es la cría bovina, desarrollada exclusivamente sobre pastizales (Rearte, 2007), que en las últimas décadas ha evolucionado hacia sistemas integrados de cría - recría o invernada (Sampedro, 2018). Si bien los pastizales son la base de la producción ganadera en la región del NEA, en los últimos años los sistemas SSP han ganado difusión como modelos de producción, particularmente en las provincias de Misiones y Corrientes (Esquivel *et al.*, 2004). Esto se debe a que la integración de la ganadería, la producción de forrajes y la forestación en el mismo predio tienen como propósito optimizar las producciones individuales. Por otra parte, los beneficios ambientales del silvopastoreo comparados a los sistemas de pastizales a cielo abierto son múltiples y van



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

desde mejorar el almacenamiento de carbono (C) hasta enriquecer la biodiversidad.

El cambio climático es una realidad y se prevé que la temperatura de la superficie global aumente sustancialmente en los próximos 80 años (IPCC, 2021). A esto se suma la necesidad de la producción de alimentos por parte del sector ganadero, al cual se lo vincula a problemas ambientales como son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) principales responsables del cambio climático (IPCC, 2021). Si bien las emisiones de GEI de Argentina representan menos del 1% a nivel mundial, al firmar el Acuerdo de París el país ha asumido un compromiso de adaptación y mitigación del cambio climático. Argentina, además ha asumido compromisos de reducción ante la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) (Moreira Muzzio, 2019).

El sector ganadero argentino contribuye con el 21,6% de las emisiones nacionales de GEI, a través de la emisión de metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y dióxido de carbono (CO_2) (Moreira Muzzio, 2019). En el caso de la ganadería, se considera que las emisiones de GEI podrían mitigarse por dos vías: reducción de emisiones antropogénicas, o creación y/o mejoramiento de los sumideros de C de la biosfera (Peri *et al.*, 2018). Por esto, un desafío nacional con respecto al cambio climático es el de promover sistemas de producción ganadera sostenible que puedan mantener o incrementar la producción de carne, su retorno económico y promuevan aspectos sociales, mientras se reduce el impacto ambiental.

En un contexto de cambio climático, el almacenamiento potencial de C de los SSP comparado con otros monocultivos toma predominancia. De acuerdo a Zomer *et al.* (2016), los SSP tienen un rol clave en el secuestro de C en la biomasa, con un aumento promedio del 6,95 % entre 2000 y 2010 en Sudamérica. En este sentido, conocer la capacidad de captura y almacenamiento de C en estos sistemas de producción es esencial para la adaptación y mitigación del cambio climático. En Argentina, hubo avances parciales en la cuantificación de stock de carbono en SSP de bosques nativos y con plantaciones forestales (Peri *et al.*, 2017). Sin embargo, no contábamos con antecedentes en el balance neto de C y de estimación de la huella de C en estos sistemas productivos.

Debido a la complejidad de los sistemas ganaderos, la elección de sistema de manejo que permitan reducir las emisiones de GEI dependerá de las condiciones locales. Para esto se requieren de abordajes específicos e



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

información precisa actualizada para evaluar las estrategias de mitigación más apropiadas (Crosson *et al.*, 2011). En los sistemas de cría y recría bovina en pastoreo, la productividad y la eficiencia reproductiva son consideradas como las principales determinantes de las emisiones de GEI (Becoña *et al.*, 2014; Faverin *et al.*, 2019). Un indicador utilizado para la evaluación de las emisiones de GEI es la huella de carbono (HC) (Wieldman and Minx 2008) que consiste en la cuantificación de la totalidad de los GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto (BSI, 2008), es considerado un indicador de eficiencia y que permite comparativamente identificar opciones de mejora. Este análisis es aún más relevante cuanto se consideran los niveles de producción y su implicancia en los balances de GEI. No obstante, el cálculo de la HC solo contempla las emisiones de GEI, y metodológicamente no tiene en cuenta la capacidad potencial que tienen los sistemas pastoriles y/o SSP para capturar y secuestrar C. Algunos estudios recientes incorporan en sus aproximaciones las estimaciones de secuestro de C y estiman el balance de C (O'Brien *et al.*, 2014; Batalla *et al.*, 2015).

Si bien muchas estimaciones de stock C en los sistemas son efectuadas a partir de experimentos de campo de corto o mediano plazo, muchas son realizadas con las ecuaciones empíricas del IPCC Tier 1 (2006). Es importante mencionar que, a nivel de variables biofísicas, la metodología del IPCC puede dar lugar a resultados que difieran entre diferentes regiones agroecológicas ya que fue diseñada para ambientes y situaciones promedio. Por ello, es necesaria la complementación en la estimación del balance de C con modelos mecanísticos que permitan capturar las características intrínsecas de los SSP. En ese sentido, la familia de modelos DNDC (Li *et al.*, 2004, Li *et al.*, 2012, Zhang and Niu, 2016) permite modelar la dinámica del C y los GEI en sitios específicos y para actividades particulares con un paso anual, aumentando la precisión de los resultados. Aunque estos modelos aún no se han validado en Argentina, ofrecen una oportunidad para complementar preliminarmente las estimaciones de las emisiones de GEI y, calcular consecuentemente el balance de C a corto, mediano y largo plazo. Esto es de especial importancia para estimar la contribución de los SSP a la luz de los compromisos del Acuerdo de París, cuyo horizonte temporal es el año 2030.

El objetivo de este trabajo fue estimar la huella y el balance neto de C en un sistema de cría-recría bovina en transición a silvopastoril en distintos momentos (de base, presente y futuro) en Corrientes, Argentina.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

Materiales y Métodos

Área de estudio y definición de sistemas de producción

El área de estudio se ubica en el NEA, específicamente en la subregión mesopotámica, con clima subtropical, húmedo y lluvioso durante el verano. En esta sub región las temperaturas anuales varían entre 15 °C en invierno a 27 °C en verano y las precipitaciones anuales oscilan entre 1.600 y 1.900 mm, siendo los meses de invierno de junio a agosto son los más secos. En particular, los pastizales de la región cubren entre 36 y 41% de la superficie y están compuestos por especies estivales, principalmente gramíneas C4. Estas crecen activamente desde la primavera hasta el otoño y presentan crecimientos muy bajos a nulos en invierno (Gándara *et al.*, 1990).

El trabajo fue desarrollado en la Estancia “Santa María de la Concepción” (Latitud 28°21'43.90" S y longitud 58° 4'32.52" O), localizada en el departamento Concepción, Corrientes. El paisaje es de planicies arenosas, a 63 metros sobre el nivel del mar y sobre suelos pertenecientes a la serie Chavarría (*Psammacuent típico*) (Escobar *et al.*, 1996; Navarro de Rau y Kurtz, 2019). El contenido de materia orgánica de estos suelos arenosos es menor al 2%, débilmente ácidos (ph 5-5,5) con excesos de humedad y sobresaturación por tiempos prolongados por las lluvias (Escobar *et al.*, 1996). El tapiz vegetal pastizal se caracteriza por pastos que crecen en forma de matas, donde la paja colorada (*Andropogon lateralis*) y *Rhynchospora tenuis* son las especies dominantes, mientras que en la intermata dominan especies como *Axonopus* sp. y *Paspalum notatum* (Carnevali, 1994).

Para este estudio se simuló un sistema ganadero con un rodeo de la raza Bradford dedicado a la cría bovina con re cría de las hembras que quedan para reposición. Los datos simulados corresponden a un rodeo, que se considera cerrado y constante en el tiempo, se compone de 400 vientres, 82 vaquillas, 82 vaquillonas y 16 toros. El servicio es natural con un 4 % de toros y estacionado en 3 meses (octubre, noviembre y diciembre). La edad de las vaquillas para iniciar su etapa reproductiva es a los 24 meses. El rodeo se suplementa durante todo el año con sales de Na, Ca y P. El destete se realiza a los 6-7 meses de edad (febrero-marzo) con un peso de 160 kg cab⁻¹ momento que coincide con las ventas o salidas de los terneros y las terneras que no son parte de la reposición (20 % de los vientres), como así también de los vientres improductivos que se descartan por edad o por problemas sanitarios. Los terneros de vaquillas se destetan precozmente y son alimentados en corral con alimento balanceado. Esta práctica además garantiza un buen porcentaje de preñez en el segundo servicio de las



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

vaquillas. La marcación es del 70%, la tasa de mortalidad general del rodeo es 1% y la producción de carne 79,2 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Sobre una superficie ganadera útil de 800 ha se implantaron 20 ha pino híbrido cada dos años (*Pinus elliottii* var *elliottii* x *P. caribaea* var *hondurensis*) de manera consecutiva a partir del año 2010 hasta el 2028. Con la implantación de los pinos, el área generó un cambio de uso del suelo de un sistema de pastizal puro a un sistema de pastizal con árboles “SSP”. La densidad de implantación de los sistemas silvopastoriles fue de 556 árboles ha⁻¹ bajo una distribución espacial de hileras doble apareadas con 12 metros (callejón ancho) entre hileras o filas (EF) dobles, 6 metros entre hileras (callejón angosto) y 2 metros entre plantas (EP).

El suelo fue preparado con 6 meses de anterioridad, y esta fue realizada solamente en las hileras donde se planta la especie forestal, de manera de mantener la condición del pastizal sin pérdidas o cambios en su composición botánica y productividad.

Los parámetros dasométricos y de crecimiento del dosel evaluados fueron los siguientes: superficie forestada, D (densidad de árboles), Ht (altura total), AB, (área basal), V Real (volumen real), Hp (altura de poda), LCV (longitud de copa verde), PA (peso del árbol), IMA (incremento medio anual) de la biomasa aérea.

Descripción de los escenarios y estimaciones

Horizontes temporales y características del sistema

Se plantearon 3 escenarios de evaluación: Línea de base (año 2010), Actual (año 2021) y Futuro (año 2030) sobre la superficie total de 800 ha. La base forrajera del sistema sostiene una carga animal de 0,89 animales/ha (0,5 vientres/ha) en servicio por hectárea. Los datos considerados en este trabajo fueron recolectados durante un período de diez años (de 2010 a 2020). Los insumos primarios incluyeron alimentos para animales (balanceado para destete precoz), electricidad y combustible para forrajes. No se plantearon diferencias entre los escenarios en cuanto al sistema de producción ganadero, ni en oferta y demanda forrajera, tampoco variación de la carga animal y resultados productivos. Se introdujo el pastoreo a estas superficies a los 18 meses de edad. Un detalle de los escenarios propuestos se presenta en la Tabla 1. En el año 2010 se inició el cambio del uso del suelo con las primeras 20 ha de tradicional a silvopastoril y durante el 2020 se realizó el



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

primer raleo comercial donde se cosechó el 50 % (278 árboles), en este momento como así también para todos los lotes que llegan a 10 años se cambia la configuración espacial de (12m x 6m x 2m) a (24m x 6m x 2m) metros de la distancia entre hileras dobles, entre hileras simples y entre árboles. Luego a los 15 años desde su implantación se realiza la tala rasa y se vuelve a plantar nuevamente con la misma configuración inicial. Este cronograma de manejo se modeló para todas las plantaciones para calcular el volumen de madera producida. En lo que respecta a carga animal media, se asumió como una constante.

Tabla 1. Características generales de los escenarios de simulación.

	BASE (2010)	ACTUAL (2020)	FUTURO (2030)
Superficie a cielo abierto (ha)	780	700	600
Superficie forestada (ha)	20	100	200
Superficie de implantación -sin acceso a ganadería (ha)	20	20	0
Carga animal (cabezas ha ⁻¹ ganadera)	0,78	0,89	1,01
Cantidad de árboles (superficie SSP)		55.600	94.520
Densidad de árboles-ha ⁻¹ - sobre el total (n)	0	70	118
Producción de madera total (tn MS fuste + ramas y hojas ha ⁻¹)	0	9.391,5*	17.427,9**
Producción de madera total (tn de MS fuste ha ⁻¹ forestadas)	0	7.826*	14.523,3**

* acumulación de la biomasa aérea de los árboles de la superficie forestada al 2020; ** acumulación de la biomasa aérea de los árboles de la superficie forestada al 2030.

Estimación de la Huella de Carbono

Para calcular la HC, se consideraron las emisiones de los GEI metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂) hasta la tranquera del establecimiento, siendo estimadas con un enfoque de análisis de ciclo de vida. Las emisiones totales de GEI se expresaron en unidades de CO₂ equivalente (CO₂ eq) teniendo en cuenta el potencial de calentamiento global (PCG) de cada gas (IPCC, 2014) y asumió un horizonte temporal de 100 años. Los PCG fueron 25, 298 y 1 para el CH₄, N₂O y CO₂, respectivamente. Luego de calcular las emisiones totales de GEI, se determinó la HC (kg CO₂eq por unidad de producto), siendo la unidad funcional el kg de peso vivo (PV) producido. Las emisiones de GEI fueron estimadas utilizando las ecuaciones del IPCC (2019) que representaron las distintas fuentes de emisión en el ciclo productivo, es decir aquellas emisiones pre-cadena, tales como las asociadas a la producción y transporte de alimento para consumo animal importados al establecimiento y aquellas propias del sistema de producción. Las fuentes de



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

emisión de GEI consideradas fueron las siguientes: emisiones de CH_4 de la fermentación entérica y de las heces depositadas en pasturas, emisiones directas e indirectas de N_2O provenientes de la orina y heces de animales en pastoreo, emisiones derivadas del uso de combustibles fósiles utilizados para las tareas agropecuarias. Con respecto a la última categoría, las emisiones provenientes del uso de combustibles y lubricantes utilizados en la producción de madera se estimaron en base a la cantidad, el tipo de combustible y los factores de emisión para cada caso. Se diferenció entre nafta y diésel, los factores de emisión se obtuvieron del informe Nacional de Inventario (INI) de la República Argentina a la CMNUCC (MAyDS, 2017). Se estimó además el consumo eléctrico del establecimiento en base a consumos promedio de la zona y las emisiones de GEI se estimaron en base al factor de emisión del mismo informe (MAyDS, 2017).

Stock y secuestro de C en suelo, biomasa aérea y raíces.

La estimación del stock de carbono orgánico del suelo (COS) y del C secuestrado en el suelo se realizó con dos modelos: DNDC v. 9.5 (Li, 2012) y Forest-DNDC (Li *et al.*, 2004), desde el año 2005 hasta el año 2030, utilizando los años 2005 a 2009 como corrida “spin up” con el objetivo de estabilizar parámetros de la materia orgánica del suelo. El primer modelo se utilizó para simular la dinámica del pastizal dominado por *Andropogon lateralis* tanto a cielo abierto como en el entorno del sistema SSP mientras que el segundo se utilizó para simular la dinámica de *Pinus eliotii* en la superficie destinada a SSP. Ambos modelos requieren el ingreso de datos meteorológicos, edáficos y de manejo, por lo que para el grupo de *inputs* meteorológicos se utilizaron los registros diarios de temperatura máxima, mínima y precipitaciones de las estaciones meteorológicas de Reconquista (convencional) y Goya (automática) ubicadas en un radio de 150 km desde el área de estudio. Para representar los años 2005 a 2020 se utilizaron los datos meteorológicos de esos años, mientras que la proyección entre 2021 y 2030 fue representada con los datos de los años meteorológicos 1995 a 2004, totalizando 26 años de simulación.

Los parámetros de suelo, del pastizal y de manejo utilizados como input se especifican en la Tabla 2. Los valores de suelo para densidad aparente, pH y COS surgieron de datos propios. En DNDC, los parámetros eco fisiológicos y fenológicos para *Andropogon lateralis* estuvieron basados en los trabajos de Casco *et al.* (2019). Para Forest-DNDC, en la simulación de crecimiento de *Pinus eliotii* se usaron parámetros default del modelo. En cuanto a manejo,



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

se consideró una tala de los árboles a los 10 años de su implantación con posterior replantación.

Tabla 2. Parámetros utilizados para los modelos DNDC y Forest-DNDC

Modelo	Módulo	Parámetro	Valor
DNDC	Suelo	pH	5,5
		Densidad aparente	1,3 g cm ⁻³
		Carbono Orgánico	0.35 %
	Pastizal	Inicio rebrote	Sept-15
		Madurez fisiológica	Ago-15
		Grados día a madurez	2000 °C día
		Temperatura óptima de crecimiento	30 °C
Forest-DNDC	Pino	Temperatura óptima de crecimiento	24 °C

Para la superficie que, año a año cambió de tradicional a SSP, se consideró que el COS aportado por el pastizal disminuye un 5 % por año debido al efecto de sombreo y competencia por recursos edáficos ejercido por *Pinus eliotii*.

El secuestro de C fue calculado para los años 2010 (inicio de los sistemas SSP), 2020 (tala del primer lote incorporado a SSP) y 2030. Este secuestro se estimó a nivel de los diferentes componentes del sistema (suelo, pastizal y forestación). El C secuestrado por la biomasa de raíces se consideró como parte del componente suelo. Además, se calculó la productividad primaria neta aérea del pastizal y de los pinos. Las salidas del modelo expresados en kg C ha⁻¹ se convirtieron a kg CO₂eq multiplicando por 3,67.

Balance de Carbono (C)

El balance de C fue calculado a partir de las entradas (secuestro) y salidas (emisiones incluidas en la HC) del sistema (eq. 1). No se incluyeron en el balance los reservorios o el secuestro de C en la biomasa aérea.

eq. 1: $\Delta C = HC - Csr$

donde, ΔC es el resultado del balance en kg CO₂eq kg PV⁻¹, HC es la huella de carbono, y Csr es el carbono secuestrado en el suelo y en las raíces.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

Resultados y Discusión

Datos observados y variables explicativas

Con el objeto de caracterizar la dinámica forrajera el sitio de estudio, se caracterizaron los pulsos de producción de forraje que oscilaron entre 40 y 65 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ durante los momentos de pico, y menos de 10 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ para los meses de menor producción.

Componente pastizal

La producción anual del pastizal 9 a 10 tn MS ha⁻¹ año⁻¹ se concentró en primavera, verano y otoño con tasas de acumulación promedio de 33,6; 44,36 y 30,20 kg de MS ha⁻¹ día⁻¹ respectivamente y 8,73 kg de MS ha día⁻¹ para el periodo de invierno. Los principales grupos funcionales que aportan a esta biomasa forrajera son en un 94 % las *poaceas*, 2,9 % *cyperaceas*, 2,9 % *fabaceas* y el resto por otras familias. Del total de la biomasa acumulada en las *poaceas* se destaca la participación de 53% *Andropogon lateralis*, 22 % *Paspalum ssp.* (*P. notatum* *P. nicorae* *P. ionanthum* *P. lividum*), 18% *Axonopus ssp.* (*A. compressus* y *A. fissifolius*) y el 7% restante por otras especies.

La productividad del pastizal fue similar en ambos sistemas de producción, esto concuerda con lo encontrado por Pang y col. (2019a) quienes no observaron diferencias significativas entre los tratamientos de sol pleno (100% de luz solar), sombreado moderado (45% de luz solar) y sombra densa (20% de luz solar) en rendimientos forrajeros de 43 especies. Para lograr mantener la composición botánica y producción de biomasa aérea del pastizal con árboles fue necesario monitorear con ceptómetro para medir y controlar la intercepción de luz y mantener este parámetro siempre por encima del 65% mediante podas y raleos programados.

Los valores de crecimiento del árbol fueron normales para la región y podrían haber sido mayores para el caso de plantaciones de eucaliptos que podría ser otra alternativa para estos ambientes. Como aporte de CO₂ por los árboles se consideró el incremento anual de la biomasa forestal, para el 2020 se le resto lo acumulado hasta el 2019 y para 2030 se descontó lo acumulado hasta el 2029 no se consideró la acumulación total durante un periodo de tiempo.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

Simulación de Huella y Balance de Carbono

Los valores de HC de la actividad ganadera del presente trabajo (Tabla 3) fueron similares a los obtenidos por Arrieta *et al.* (2020) para sistemas de cría de Argentina (23,2 - 23,4 vs. 22,2 kg CO₂eq ha año⁻¹) con baja intensificación tecnológica, sin incluir el suelo.

Tabla 3. Características generales de los escenarios de simulación.

FUENTES DE EMISIÓN	BASE (2010)	ACTUAL (2020)	FUTURO (2030)
Pre-cadena (kg CO ₂ eq ha año ⁻¹)	4,53	4,53	4,53
Ganadería (kg CO ₂ eq ha año ⁻¹)	1.837,40	1.828,00	1.816,00
Forestal (kg CO ₂ eq ha año ⁻¹)	0	6,67	27,94
Uso de energía fósil (kg CO ₂ eq ha año ⁻¹)	3,67	38,98	68,98
Total, GEI sistema (kg CO ₂ eq ha año ⁻¹)	1.845,90	1.878,10	1.917,55
Huella de carbono (kg CO₂eq kg PV⁻¹)	23,3	23,71	24,21
SECUESTRO DE CARBONO (Csr)			
Suelo + raíces (kg CO ₂ eq ha año ⁻¹)	113,49	1.361	2.951
Suelo + raíces (kg CO ₂ kg PV ⁻¹)	1,43	17,18	31,16
BALANCE de C, ΔC (kg CO₂eq kg PV⁻¹)	21,85	6,06	-7,80
CARBONO RETENIDO ADICIONAL			
Árboles (kg CO ₂ eq ha año ⁻¹)*	0	4.800,09	8.587,85
Pastizal (kg CO ₂ eq ha año ⁻¹)**	2.144,50	2.117,10	2.467,70

*Incremento medio anual de CO₂ por los árboles sobre la superficie total, ** Calculado usando DNDC (ver materiales y métodos)

En la Tabla 3 se presentó Δ C considerando el secuestro y las emisiones de C sólo con 25 % de cambio de uso del suelo de pastizal a SSP con pastizal. Con el 25% de la superficie útil transformada en silvopastoril, en 20 años se lograría mejorar el balance de 21,85 a -7,80 kg CO₂eq kg PV⁻¹. Este resultado representa pasar de 1.385,93 tn CO₂eq emitidas en el establecimiento para el año 2010 a -826,76 tn CO₂eq, resultando en un balance negativo que indica un secuestro neto de C para 2030. Por lo tanto, en base a los resultados obtenidos, queda demostrado que, en el caso de la ganadería, es importante incluir al suelo en el Δ C, dado que una gran parte del C emitido se secuestra en este sumidero, principalmente a través de las raíces que gradualmente van pasando a formar parte de la biomasa del suelo. La implementación de SSP es una forma de crear y mejorar dichos sumideros de C en la biósfera (Peri *et al.*, 2018). El resultado de la integración de sistemas como sistemas



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

silvopastoriles presentan en general menor emisión neta de C, o lo que es lo mismo son sistemas bajos en C (Torres, 2017).

Entre los componentes del sistema se establecen relaciones e interacciones que deben ser entendidas y consideradas al analizar el sistema en su conjunto. En estos sistemas se reconocen fundamentalmente un componente animal, un componente forestal y un componente herbáceo, debiendo ser consideradas las características productivas de cada uno de ellos y en forma especial las interacciones bióticas que se establecen a lo largo de los ciclos.

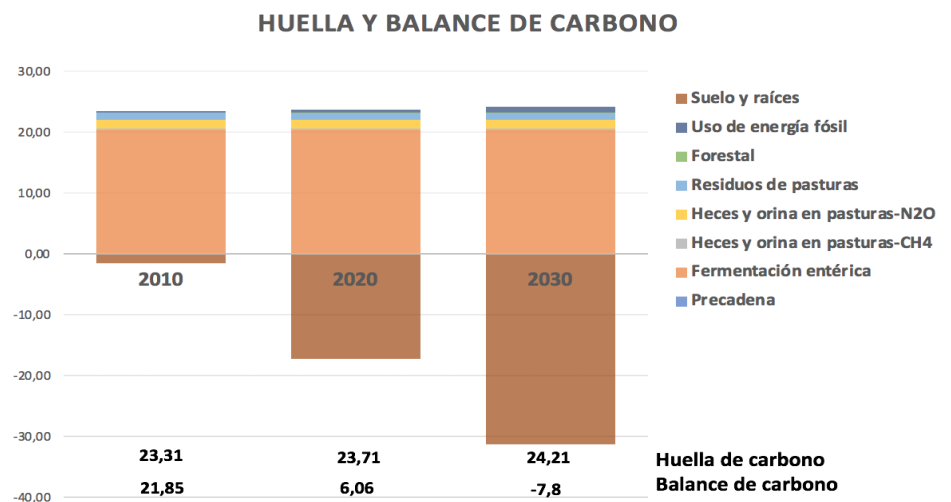


Figura 1. Huella de carbono y balance de carbono de un sistema pastoril en transición a SSP (base año 2010-presente año 2020 -futuro año 2030).

Tendencias del Balance de C

La transformación progresiva de un sistema de cría basado en pastizales como principal fuente de alimentación a sistema silvopastoril afectó de manera positiva el balance neto de C (Fig.1), mejorando este indicador global hacia el escenario de 2030 (Tabla 3). Esta mejora está explicada en primer lugar por el secuestro de C en el componente suelo, dónde el C se almacena tanto en las raíces del pastizal como en las raíces de los pinos, pasando gradualmente a formar parte del COS (Kumar *et al.*, 2006). Esto es consistente con las observaciones de Terrer *et al.* (2021), quienes sugieren que el COS tiene un rol fundamental como reservorio de C, principalmente el que resulta de las raíces de los pastizales, y que, además las proyecciones de COS deben ser revisadas tanto en el horizonte temporal como en la dimensión espacial.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

El secuestro de C en las raíces depende de las fluctuaciones de la biomasa aérea, la cual a su vez es enteramente dependiente de la dinámica interanual de radiación solar, precipitaciones y temperatura, la cual también afectará la tasa de degradación de raíces y materia orgánica orgánica Terrer *et al.* (2021). Los resultados de datos medidos de producción de forraje son consistentes con esta premisa, la cual fue capturada por el modelo DNDC para simular la variación interanual de producción de raíces y COS en el componente pastizal. En cuanto al componente bosque implantado, los datos de ramas y raíces por árbol de la Tabla 3 revelan una tendencia creciente esperable de la MS y por lo tanto del C en dichos órganos, tendencia que también se reflejó en los resultados de la simulación con Forest-DNDC (Tabla 3). Consecuentemente, el sistema SSP tiene un balance de C que compensa ampliamente las emisiones de la actividad ganadera antes de llegar a 2030.

Según Chen *et al.* (2020), la captura de CO₂ en suelos después de una plantación forestal varía con las zonas climáticas y el uso previo de la tierra, mientras que las especies forestales tienen un efecto menor. La edad de la plantación es otro factor que probablemente modifique las existencias de C en suelo, aunque los resultados reportados son contradictorios. Algunos estudios indican un aumento significativo en el contenido de COS con la edad de la plantación (Paul *et al.*, 2002; Peichl y Arain, 2006). Hooker y Compton (2003) encontraron un aumento en el contenido de C orgánico en la primera década después de la plantación, mientras que otros autores han detectado incrementos en los primeros años y una posterior disminución (García, 2010; Du *et al.*, 2015). Chen *et al.* (2020) afirman que durante los primeros 10 años o menos, estos ecosistemas son generalmente fuentes de C débiles o neutrales.

López-Santiago *et al.* (2019) compararon el almacenamiento de C de un sistema de pastoreo silvopastoril de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrus maximus* con los de un bosque tropical caducifolio y un monocultivo de pastos en México. Los autores estimaron la biomasa aérea y radicular con modelos alométricos y midieron el COS hasta 30 cm de profundidad. Según estos autores, los sitios de bosque y silvopastoreo registraron mayor biomasa aérea que la pradera y se estimó la mayor biomasa de raíces para el tratamiento de silvopastoreo. En comparación con los otros dos sistemas, el bosque tenía la fracción de COS más alta en todas las profundidades investigadas. En general, los autores concluyeron que el almacenamiento global de C fue el más bajo para el monocultivo de pastos y el más alto para el sistema silvopastoril. De manera similar a nuestro trabajo, Aryal *et al.* (2019) en México y Olaya-Montes (2020) en Colombia observaron un mayor



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

potencial de almacenamiento de carbono para el sistema silvopastoril en comparación con los pastos abiertos.

Conclusiones

El balance de C de un sistema de cría bovina en pastizales como principal fuente de alimentación, transformando apenas el 25% de la superficie a SSP mediante la incorporación de árboles, se logró mejorar hasta valores negativos. La incorporación de los árboles con un manejo adecuado bajo el concepto de sistemas silvopastoriles permite producir carne C cero e inclusive permitiría tener C a favor por el mayor secuestro generado. Los sistemas silvopastoriles son una alternativa de la forestación donde la integración de los sistemas podría generar un equilibrio de productos, buena producción de pasto, de carne y de madera con atención en los servicios ecosistémicos como el C, como así también en la situación financiera de los productores y empresas a fines de las actividades productivas, donde el impacto positivo es en lo social a través de la generación de mas fuentes de trabajo para la región.

Agradecimientos

Agradecemos al Señor la oportunidad de trabajar en equipo para construir conocimiento y a quiénes nos han motivado para iniciar el análisis. Este trabajo ha sido realizado en el marco del Programa Forestal del INTA y del Proyecto Especifico-E1-I015-001 Sistemas Silvopastoriles integrados hacia un manejo sustentable y Proyecto Disciplinario I058 del INTA Argentina “Emisiones (GEI) en los sistemas agropecuarios y forestales. Medidas de mitigación”.

Bibliografía

- Argentina forestal. 2019. Inventario de bosques cultivados: Corrientes incrementó a más de 516 mil hectáreas forestadas, dispone de más madera y mejor genética. <https://www.argentinaforestal.com/2019/04/30/inventario-de-bosques-cultivados%E2%80%88corrientes-incremento-a-mas-de-516-mil-hectareas-forestadas-dispone-de-mas-madera-y-mejor-genetica/>
- Arrieta, E., Cabrol, D., Cuchiattia, A., Gonzalez, A.D. 2020. Biomass consumption and environmental footprints of beef cattle production in Argentina. *Agricultural Systems* 185 102944. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102944>
- Aryal, D.R, Gómez-González RR, Hernández-Nuriasmú R, Morales-Ruiz DE (2019) Carbon stocks and tree diversity in scattered tree silvopastoral systems in Chiapas, Mexico. *Agrofor Syst.* <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0310-y>



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

- Arrieta, E., D. A. Cabrol, A. Cuchiatti, A. D. González. 2020. Biomass consumption and environmental footprints of beef cattle production in Argentina. *Agricultural Systems* 185. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102944>
- Batalla, I., Knudsen, M.T., Mogensen, L., del Hierro, Ó., Pinto, M., Hermansen, J.E., 2015. Carbon footprint of milk from sheep farming systems in northern Spain including soil carbon sequestration in grasslands. *J. Clean. Prod.* 104, 121–129.
- BSI. 2008. PAS 2050:2008. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. UK: British Standards Institution (BSI).
- Becoña, G.; Astigarraga, L.; Picasso, V.D. 2014. Greenhouse gas emissions of beef cow-calf grazing systems in Uruguay. *Sustain. Agri. Res.* 3(2), 89–105.
- Carnevali, R. 1994. Fitogeografía de la provincia de Corrientes. Corrientes, INTA – Gobierno de la provincia de Corrientes. 324 p.
- Casco J., Goldfarb M., Gándara F., Nuñez F. 2019. Características agronómicas de cuatro pastizales del centro norte de Corrientes-Argentina. 71 p. Ediciones INTA.
- Cederberg, C., Mattsson, B. 2000. Life cycle assessment of milk production—a comparison of conventional and organic farming. *J. Cleaner Prod.*, 8: 49-60
- Chen, Z., Yu, G., Wang, Q. 2020. Effects of climate and forest age on the ecosystem carbon exchange of afforestation. *J. Forestry Res.* 31, 365-374. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00946-5>
- Chen, Z., Yu, G., Wang, Q. 2020. Effects of climate and forest age on the ecosystem carbon exchange of afforestation. *J. Forestry Res.* 31, 365-374. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00946-5>
- Crosson, P.; Shalloo, L.; Ó'Brien, D.; Lanigan, G.J.; Foley, P.A.; Boland, T.M. (2011). A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166, 29-45.
- Du, H., Zeng, F., Peng, W., Wang, K., Zhang, H., Liu, L., Song, T. 2015. Carbon Storage in Eucalyptus Plantation Chronosequence in Southern China. *Forests* 6, 1763-1778. <https://doi.org/10.3390/f6061763>
- Escobar, E. H.; Melgar, R.; Ligier, D.; Matteio, H. y Vallejos, O. 1996. “Mapa de suelos de la Provincia de Corrientes. 1:500.00. Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales. EEA INTA Corrientes. 432p.
- Esquivel, J., H.E. Fassola, S.M. Lacorte, L. Colcombet, E. Crechi, N. Pachas and A. Keller. 2004. Sistemas silvopastoriles - Una sólida alternativa de sustentabilidad social, económica y ambiental. 11as Jornadas técnicas forestales y ambientales - FCF, UNaM - EEA Montecarlo, INTA, 2004.
- Faverin, C.; Machado, C.F. 2019. Modelación productiva, económica y de gases de efecto invernadero de sistemas típicos de cría bovina de la Pampa Deprimida. *Chilean J. Agric. Sci. and Animal Science* 35(1), 14-25.
- Gándara, F. R.; Casco, J. F.; Goldfarb, M. C. y Correa, M. 1990. “Evaluación Agronómica de pastizales en la Región Occidental de Corrientes (Argentina). II Sitio Chavarría. *Revista Argentina de Producción Animal.* Vol. 10, Supl. 1, p g. 21.
- García, MA. 2010 Fijación de carbono en la biomasa arbórea, la necromasa y el suelo de plantaciones de *Eucalyptus grandis* con diferentes manejos en vertisoles de la provincia de Entre Ríos. Magister Scientiae Thesis in Agricultural Sciences, National University of Córdoba, Argentina.
- Gómez J. 2019. Los sistemas agroforestales modernos: ¿qué son y cuál es su fundamento? Pp 3-5. En: Dossier Técnico N° 99. Los Sistemas Agroforestales. Departamento de Agricultura, Pesca Ganadería y Alimentación de Cataluña. <https://www.researchgate.net/publication/340538678>



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

- Hooker T.D., Compton J.E. 2003. Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment. *Ecol. Appl.* 13, 299–313.
- IPCC. 2006. *Climate change*, s.l.: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC. 2014. *Cambio climático: Informe de síntesis*. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al quinto. Informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 p.
- IPCC. 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S ed.). IPCC, Switzerland. Publications - IPCC-TFI (iges.or.jp)
- IPCC. 2021. *Cambio Climático: Bases Físicas*. Informer tecnico. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>
- Jose, S. (2009). “Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an over-view”. *Agrofor. Syst.* 76, 1–10.
- Li, C.S., Cui, J., Sun, G., Trettin, C., 2004. Modelling impacts of management on carbon sequestration and trace gas emissions in forested wetland ecosystems. *J. Environ. Manage.* 33, 176–186.
- Li, H., Qiu, J.J., Wang, L.G., Xu, M.Y., Liu, Z.Q., Wang, W. 2012. Estimates of N₂O emissions and mitigation potential from a spring maize field based on DNDC model. *J. Integr. Agric.* 11, 2067–2078.
- Lopez-Santiago JG, Casanova-Lugo F, Villanueva-López G, Díaz-Echeverría VF, Solorio-Sánchez FJ, Martínez-Zurimendi P, Aryal DR, Chay-Canul AJ (2019) Carbon storage in a silvopastoral system compared to that in a deciduous dry forest in Michoacán, Mexico. *Agrofor Syst.* <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0259-x>
- MAYDS. 2017. *Plan de Acción Nacional de Bosques y Cambio Climático*. República Argentina. Versión 1-2017. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación.
- Moreira Muzio, M. 2019. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero: Argentina-2019 / Macarena Moreira Muzio; Fabián Gaioli; Sebastián Galbusera*. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- Navarro de Rau, M.F. & Kurtz, D.B. 2019. Soils of Corrientes. In: Rubio G.; Lavado R. & Pereyra F. (eds) *The Soils of Argentina*. World Soils Book Series. Springer, Cham.
- O'Brien, D., Capper, J.L., Garnsworthy, P.C., Grainger, C., Shalloo, L., 2014. A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass- based dairy farms. *J. Dairy Sci.* 97 (3), 1835 e 1851.
- Olaya-Montes, A., Llanos-Cabrera, M.P., Cherubin, M.R., Herrera-Valencia, W., Fausto A. Ortiz-Morea, F.A., Silva-Olaya, A.M. 2020. Restoring soil carbon and chemical properties through silvopastoral adoption in the Colombian Amazon region. *Land degradation and development.* <https://doi.org/10.1002/ldr.3832>
- Pang K, Van Sambeek JW, Lin C-H, Jose S, Garrett HE (2019a). Responses of legumes and grasses to non-, moderate, and dense shade in Missouri, USA. I. Forage yield and its species-level plasticity. *Agrofor Syst.* <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0067-8>
- Pravesh Kumar, Singh R., Anil Kumar Singh and Vijai Kumar. 2014.
- Paul, K., Polglase, P., Nyakuengama, J., Khanna, P. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecol. Manag.* 168 (1–3), 241-257. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00740X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00740X).



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

- Peichl, M., Arain, M.A. 2006. Above and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agric. For. Meteorol.* 140 (1-4), 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.08.004>
- Peri P.L.; Banegas N.; Gasparri I.; Carranza C.; Rossner B.; Martínez Pastur G.; Cavallero L.; López D.R.; LotoD.; Fernández P.; Powel P.; LedesmaM.; Pedraza R.; Albanesi A.; Bahamonde H.; Eclesia R.P.; Piñeiro G. 2017. Carbon Sequestration in Temperate Silvopastoral Systems, Argentina. In: *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty* (F. Montagnini ed.), *Advances in Agroforestry* 12, Chapter 19, pp. 453-478. Springer International Publishing. ISSN 1875-1199.
- Peri P. L.; Rosas, Y. M., Ladd, B.; Toledo, S.; Lasagno R.S. y Martínez G. 2018. Modelling Soil Carbon Content in South Patagonia and Evaluating Changes According to Climate, Vegetation, Desertification and Grazing.
- Rearte, D. (2007). Distribución territorial de la ganadería vacuna. Programa Nacional de Carnes del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA. 12 p.
- Sampedro, D., Barbera, P., Bendersky, D., Calvi, M., Cetrá, B., Flores, A., Hug, M., Pellerano, L., Pizzio, R., Rosatti, G., y Sarmiento, N. (2018). *Cría Vacuna en el NEA*. Ediciones INTA, Libro Digital, ISBN 978-987-521-955-7.
- SENASA. 2018 Informes y estadísticas. Indicadores ganaderos. <http://www.senasa.gov.ar>
- Terrer, C., Phillips R.P., Hungate, B.A., Rosende, J., Pett-Ridge J., Craig, M.E., K. J. van Groenigen, K.J., Keenan, T.F., Sulman, B.N., Stocker, B.D., Reich, P.B., A. F. A. Pellegrini, A.F.A., Pendall, E., Zhang, H., Evans, R.D, Carrillo, Y., Fisher, J.B., Van Sundert, K., Vicca, S. and Jackson, R.B. 2021. A trade-off between plant and soil carbon storage under elevated CO₂. *Nature*, 591: 599-603. Doi: [10.1038/s41586-021-03306-8](https://doi.org/10.1038/s41586-021-03306-8)
- Torres, C.M.M.E., Jacovine, L.A.G., Nolasco de Olivera Neto, S. 2017. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. *Sci Rep* 7, 16738. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16821-4>
- Wiedmann, T. y Minx, J. 2008. A Definition of Carbon Footprint In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1*, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.
https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999
- Zhang, Y.J., P.M. Cristiano, Y.F. Zhang, P.I. Campanello, Z.H. Tan, Y.P. Zhang, K.F. Cao, G. Goldstein. 2016. Carbon Economy of Subtropical Forests. In: G. Goldstein, L. S. Santiago (Eds.). *Tropical Tree Physiology*, pp 337-355. https://doi10.1007/978-3-319-27422-5_16
- Zomer, R. J. 2016. Global Tree Cover and Biomass Carbon on Agricultural Land: e contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. *Sci. Rep.* 6, 29987