



Foto: Juan Manuel Soares de Lima

Ganadería sobre campo natural en zonas bajas no forestadas.

EMISIONES Y CAPTURA DE CARBONO EN UN SISTEMA INTEGRADO GANADERO-FORESTAL: hacia la producción de carne carbono neutra en el Uruguay

Ing. Agr. PhD. Juan Manuel Soares de Lima¹,
Ing. Agr. PhD. Cecilia Rachid²,
BQ. PhD. Leonidas Carrasco-Letelier³,
Ing. Agr. PhD. Fabio Montossi⁴

¹Sistema Ganadero Extensivo, Unidad de Economía Aplicada

²Sistema Forestal

³Área de Recursos Naturales, Producción y Ambiente,
Sistema Forestal, Sistema Arroz - Ganadería

⁴Sistema Ganadero Extensivo

Aunque la contribución de Uruguay al calentamiento global es ínfima (0,08 %), el metano de origen entérico del ganado constituye la fuente de emisión de gases de efecto invernadero más importante del país. La implementación de sistemas integrados de producción forestal y ganadera puede compensar estas emisiones, contribuyendo a la producción de carne carbono neutra, generando beneficios ambientales y oportunidades comerciales.

INTRODUCCIÓN

Si bien la contribución del Uruguay al calentamiento global es extremadamente baja (0,08 %; Crippa *et al.*, 2023), el metano de origen entérico del ganado constituye la principal fuente de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del país. Los sistemas integrados de producción forestal y ganadera pueden

compensar las emisiones de GEI mediante la captura de CO₂ en la biomasa de los cultivos forestales.

Se presenta un estudio de caso de un establecimiento de la empresa Forestal Caja Bancaria (FCB), ubicado en las proximidades de "El Carmen" (Durazno) donde se combina la forestación comercial con ganadería semi-intensiva.

El objetivo del trabajo fue definir cuál es la relación requerida entre la ganadería y la forestación para alcanzar la “carbono neutralidad” de la producción de carne vacuna. Para ello, se estimó la huella de carbono (C) del establecimiento y la compensación potencial de las emisiones ganaderas por parte de las diferentes especies forestales presentes.

EL CASO DE ESTUDIO

El establecimiento “El Carmen” de la FCB ocupa una superficie de 5.802 ha. En el Cuadro 1 y Figura 1 se presentan el uso actual del suelo y las especies forestales establecidas.

Cuadro 1 - Usos del suelo del sistema de la FCB.

Uso de suelo	Superficie (ha)
Forestación	3.272
Infraestructura y monte nativo	75
Pasturas y cultivos	817
Campo natural	1.638
Total	5.802

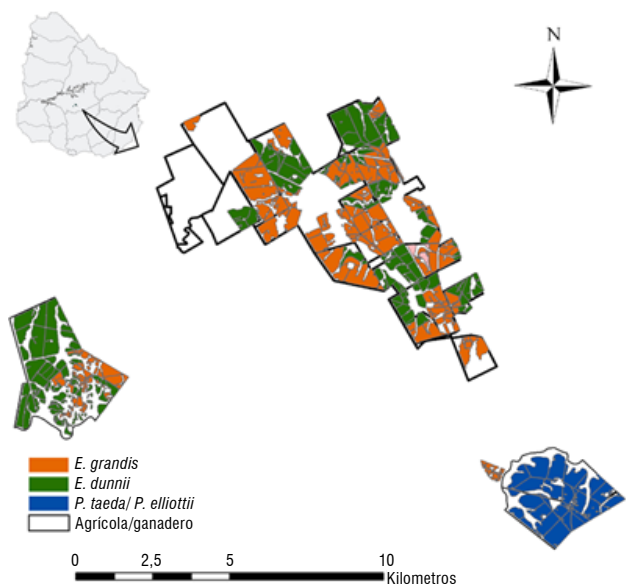


Figura 1 - Usos del suelo y detalle de las especies forestales existentes en “El Carmen”.

• Sub-Sistema ganadero

El sistema de producción es un ciclo completo abierto, en el que todos los terneros y las terneras excedentes son recriados y engordados, completando la utilización

de los recursos forrajeros con compras de terneros. La cría y terminación se realiza en un área de 817 ha (Figura 1), con agricultura forrajera (260 ha para cultivos agrícolas en rotación con praderas perennes y cultivos forrajeros anuales), que aporta granos para la suplementación de la cría y el engorde. Dependiendo de las relaciones de precios novillo/granos, en los últimos años se ha incorporado el engorde a corral de novillos y vaquillonas.

• Sub-Sistema Forestal

Las plantaciones forestales consisten en 1.474 ha de *Eucalyptus dunnii* y 1.254 ha de *Eucalyptus grandis* de múltiples edades y orientados a la producción de pulpa de celulosa. Estos rodales tienen densidades de plantación mayores a 1.200 árboles/ha y turnos de corte promedio de 11 años. Existen, además, 544 ha de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* para la producción de madera aserrable, con menor densidad y turnos de corte de 25 años.

EMISIONES GANADERAS, CAPTURA FORESTAL Y STOCK DE CARBONO EN EL SUELO

Las emisiones ganaderas de GEI fueron estimadas utilizando un modelo de simulación (Soares de Lima, 2009), al cual se le carga la información del predio, stock de ganado, la base forrajera y los alimentos extra prediales, ajustando las tasas de ganancia de peso para coincidir con la edad de venta de los novillos, entore de vaquillonas, etc. El modelo estima el consumo de materia seca y el valor nutricional de la ingesta, y las emisiones de GEI asociadas a esta dieta se estiman mediante las ecuaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2023) que también aporta las ecuaciones de predicción de emisiones de metano y óxido nítrico en heces y orina.



Foto: Juan Manuel Soares de Lima

Figura 2 - Las plantaciones forestales aportan sombra y abrigo al ganado.

La fijación de C en la biomasa forestal se estimó en base a las proyecciones de crecimiento, biomasa y CO₂-equivalente hasta la edad de turno final, a partir de mediciones de todos los estratos forestales, realizadas por las empresas Forestal Oriental y FCB. Las proyecciones se realizaron utilizando modelos de simulación desarrollados por INIA (Rachid *et al.*, 2019; Rachid e Hirigoyen, 2015; Hirigoyen 2015; Methol, 2008, 2003).

Las emisiones de GEI por metro cúbico de madera comercial se estimaron para cada especie hasta edad de cosecha, considerando todos los insumos, fuentes de energía y proveedores relevantes. Los modelos y coeficientes utilizados correspondieron a OpenLCA, la base de datos Agibalyse, y los coeficientes de impacto de IPCC (1997). Las unidades funcionales consideradas fueron metros cúbicos de madera sólida de pinos de 25 años producidos por hectárea/año y metros cúbicos de madera de eucaliptos de 11 años para celulosa.

Los cambios en la concentración del carbono orgánico del suelo fueron medidos por muestreo y análisis químico para cada tipo de suelo y sus diferentes usos existentes en FCB (campo natural, agricultura, forestación).

COEFICIENTES UTILIZADOS PARA ESTANDARIZAR LA EMISIÓN DE GEI

Existen distintos coeficientes para expresar las emisiones de GEI en su equivalente CO₂, con diferente contribución relativa de estos GEI al calentamiento global.

Estos son: (1) el potencial de calentamiento global a 100 años (GWP100), que expresa cuánto calor puede ser retenido por la atmósfera por un GEI en comparación con el CO₂ y (2) el potencial de cambio de temperatura global en 100 años (GTP100) referido al cambio de la temperatura media global que induce un determinado GEI en la superficie, respecto al CO₂.

El objetivo del trabajo fue definir cuál es la relación requerida entre la ganadería y la forestación para alcanzar la “carbono neutralidad” de la producción de carne vacuna.

Ambos coeficientes son estándares internacionales y por ello son utilizados por el inventario nacional de GEI del Uruguay (MA, 2023).

Finalmente, una alternativa a los mencionados es el coeficiente GWP* que sería más adecuado para estandarizar gases de vida corta en la atmósfera como es el metano. Este tema se ha tratado previamente en esta revista por la Unidad de Economía de INIA¹.

RESULTADOS

Cambios en el carbono orgánico del suelo

Los análisis realizados no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en el carbono del suelo entre los diferentes usos existentes en el predio.

Componente forestal

Las emisiones, captura y consiguiente balance o huella de las diferentes especies forestales, se presentan en el Cuadro 2.

Los géneros *Eucalyptus* y *Pinus* presentaron valores anualizados de emisión de CO₂-equivalente 30 a 57 veces inferiores a su fijación de CO₂ en la biomasa. Esto genera un balance neto negativo (captura de CO₂), donde el mayor secuestro se logra con las plantaciones de *E. dunnii*.

Cuadro 2 - CO₂ emitido, capturado y balance (huella) del componente forestal de FCB.

Especie	C fijado en la biomasa (kg CO ₂ /ha/año)	Emisiones de GEI (kg CO ₂ /ha/año)	Balance (kg CO ₂ /ha/año)
<i>E. grandis</i>	-28.056	487	-27.569
<i>E. dunnii</i>	-34.376	494	-33.882
<i>Pinus spp.</i>	-15.416	503	-14.913

¹¿Cuánto contribuye la ganadería uruguaya al calentamiento global? Revista INIA N° 76. Marzo 2024



Foto: Infraestructura de Datos Espaciales (IDEu)

Figura 3 - Imagen satelital de parte del establecimiento “El Carmen” de FCB, en Durazno.

Emisiones ganaderas

Las emisiones entéricas de metano constituyen la mayor fuente de GEI. El valor estimado fue de 60,4 kg CH₄/animal/año. A modo de referencia el inventario nacional de gases reporta 50,6 kg CH₄/animal/año, diferencia que estaría explicada por tratarse de un sistema intensivo de recría y engorde, mayores pesos en stock, altas ganancias de peso y mayores niveles de consumo.

Sin embargo, respecto a la intensidad de emisiones, se estimaron 0,33 kg CH₄/kg PV mientras a nivel país este indicador asciende a 0,48 kg CH₄/kg PV producido. Este resultado es esperable si consideramos que la producción de FCB es de 161 kgPV/ha, casi 80 % superior a la productividad promedio nacional (Opya, 2023). En la Figura 4 se presentan los valores de emisiones de CO₂-equivalente del sistema ganadero,

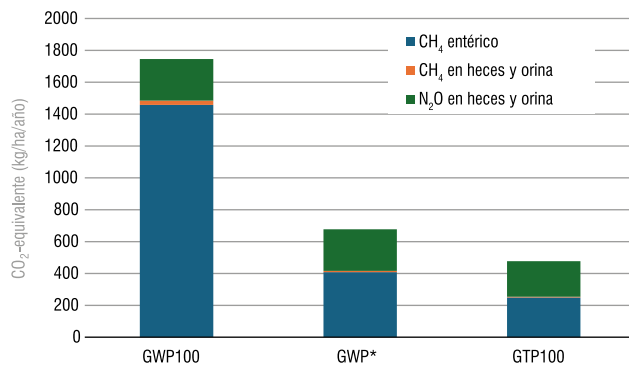


Figura 4 - Emisiones ganaderas de CO₂-equivalente de la FCB según métrica de cálculo considerada.

según las tres métricas descritas. Se destaca el alto peso que le asigna al metano el coeficiente de calentamiento GWP100, casi cuatro veces superior a lo que estiman las otras dos métricas. Finalmente, considerando los resultados obtenidos en los diferentes componentes del sistema por separado, es posible estimar el número de hectáreas ganaderas cuyas emisiones pueden ser compensadas con las capturas de una hectárea forestada, considerando la especie forestal y las diferentes métricas de cálculo (Figura 5).

La figura muestra la mayor capacidad del género *Eucalyptus* respecto a *Pinus* para capturar CO₂ y así compensar las emisiones ganaderas, lo que se encuentra asociado a mayores tasas de crecimiento y generación de biomasa. En segundo lugar, se aprecia la gran incidencia de las diferentes métricas de estandarización sobre los resultados.

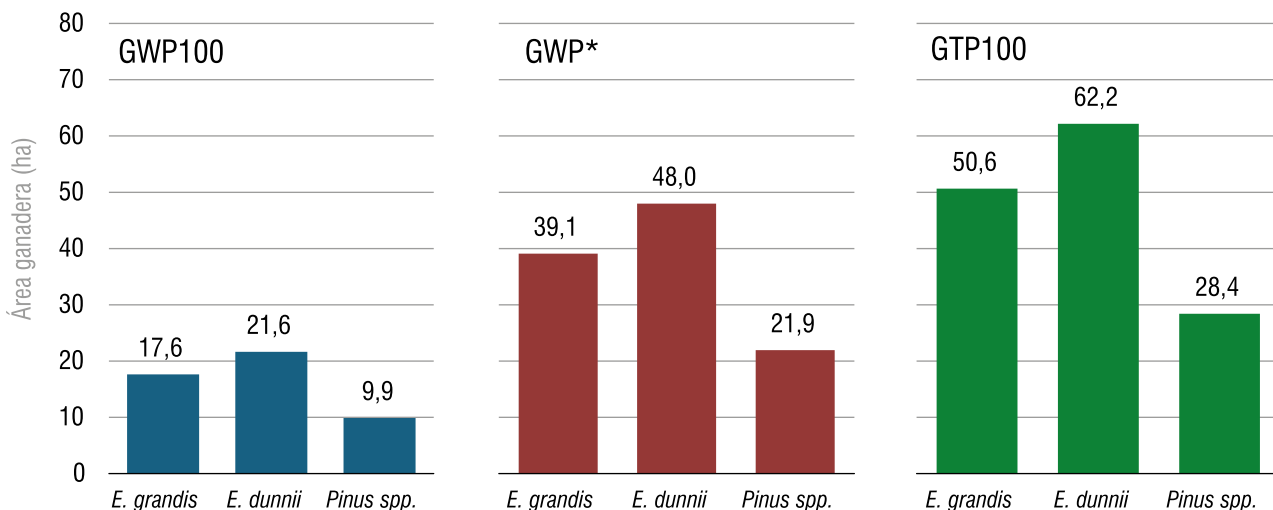


Figura 5 - Área ganadera cuyas emisiones pueden ser mitigadas por una hectárea plantada con cada especie forestal, según métrica de cálculo.

En base a los valores estimados, el área total forestada de la FCB podría compensar la emisión de 55.691 ha de producción bovina en un sistema similar al estudiado, aun con el coeficiente más conservador (GWP100).

CONCLUSIONES

- Se requiere tener forestado entre 1,6 y 10,1 % del área en un predio con integración ganadero-forestal, para compensar las emisiones de un sub-sistema ganadero similar al estudiado.
- Expresado en cabezas de ganado, 1 ha de eucaliptos destinado a celulosa podría compensar la emisión de 20 a 70 animales y 1 ha de pinos para madera aserrable podría compensar la emisión de 11 a 32 cabezas, según el coeficiente utilizado.
- Los diferentes coeficientes usados para expresar las emisiones de GEI impactan significativamente en la magnitud de las huellas de carbono. Esto no sólo puede llevar a la confusión de los usuarios, sino también tener efectos sobre políticas públicas y el agronegocio del carbono. Por esta razón se recomienda el uso simultáneo de al menos dos de estos coeficientes y así proveer estimaciones claras y comparables.
- El estudio evidencia el impacto potencial de diferentes plantaciones forestales sobre la producción ganadera y los beneficios ambientales y comerciales que ello podría generar.
- Este trabajo explora el potencial de compensación de emisiones ganaderas de las especies forestales desde un enfoque físico y biológico. Cuestiones asociadas a los mercados de C como políticas locales e internacionales, el concepto de adicionalidad o la

En situaciones productivas similares a las de “El Carmen”, áreas forestadas inferiores al 10 % son suficientes para compensar las emisiones ganaderas.

doble contabilidad en la reducción de emisiones son aspectos que trascienden a este trabajo pero deben ser consideradas cuidadosamente antes de plantear cualquier emprendimiento asociado a este tema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las empresas Forestal Caja Bancaria y UPM-Forestal Oriental por el apoyo técnico y los recursos brindados para el desarrollo del estudio.

REFERENCIAS

Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf E., Becker, W., Monforti-Ferrario, F., Quadrelli, R., Riskey Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Brandao De Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., Vignati, E., GHG emissions of all world countries, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/953322, JRC134504.

Hirigoyen A. Modelo dinámico para *Eucalyptus dunni* 2008: actualización del Sistema de Apoyo a la 516 Gestión, INIA 2008. Montevideo; 2014.

Methol R. “SAG eucalyptus”: Sistema de apoyo a la gestión de plantaciones de plantaciones de *Eucalyptus* orientadas a la producción de celulosa en Uruguay. Tacuarembó; 2008. 510.

Methol R. SAG grandis: sistema de apoyo a la gestión de *Eucalyptus grandis*. Tacuarembó; 2003. 511.

Opya. 2023. Anuario 2023. Análisis sectorial y cadenas productivas temas de política estudios. MGAP.

Rachid-Casnati CHA. “SAG Taeda”: sistema de apoyo a la gestión de plantaciones de *Pinus taeda*. 512 Montevideo; 2015.

Rachid-Casnati C, Mason E, Woollons R. Using soil-based and physiographic variables to improve 514 stand growth equations in Uruguayan forest plantations. IForest. 2019 Jun 30;12(3):237–45.

Ministerio de Ambiente. 2023. INGEI 1990-2020. Uruguay. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2020 a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 365 pag.

Soares de Lima JM. 2009. Modelo bio-económico para la evaluación del impacto de la genética y otras variables sobre la cadena cárnica vacuna en Uruguay. 1st ed. Universidad Politécnica de Valencia, editor. Vol. 1.



Foto: Infraestructura de Datos Espaciales (IDEU)

Figura 6 - Usos del suelo contrastantes en “El Carmen”: forestación, campo natural, cultivos forrajeros y corral de engorde.