

Variación del stock de carbono en plantaciones forestales y bosques nativos de la Ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná, Paraguay

Carbon stock variation in forest plantations and native forests of the Alto Paraná Atlantic Forest Ecoregion, Paraguay

Jazmín Guadalupe Ojeda Rojas^{1,2*}, Stella Mary Amarilla Rodríguez³ y Lucía Janet Villalba Marín³

¹ AgroParisTech. Paris, Francia.

² Université Paris-Saclay. París, Francia.

³ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

*Autor para correspondencia:

jazjaz.ojeda@gmail.com

Conflicto de interés:

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Licencia:

Artículo publicado en acceso abierto con una licencia Creative Commons CC-BY

Contribución de autoría:

Todos los autores realizaron contribuciones sustanciales en la concepción y diseño de este estudio, al análisis e interpretación de datos, a la revisión del manuscrito y la aprobación de la versión final. Todos los autores asumen la responsabilidad por el contenido del manuscrito.

Historial:

Recibido: 11/12/2020;

Aceptado: 23/03/2022

Periodo de Publicación:

Enero-Junio de 2022

Editor invitado:

Diego Augusto Fatecha Fois



RESUMEN

El estudio del papel que juegan los suelos en la provisión de servicios ecosistémicos es incipiente en nuestro país, y requiere una atención adecuada con énfasis desde el actuar académico y científico; pues constituyen el grupo de servicios ecosistémicos más complejos por incluir procesos de formación y otros ciclos naturales relevantes (carbono, nitrógeno y otros). Los antecedentes históricos de los cambios de uso de la tierra en la Región Oriental y la actual tendencia progresiva en la Región Occidental conducen a proponer investigaciones que aporten a su valoración económica y social con propósitos de protección y uso sostenible. La investigación se realizó en el departamento de Alto Paraná y tuvo por objetivo estimar el stock de carbono y su variación para dos usos de la tierra (plantaciones forestales y bosques nativos) en la ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná. Se empleó el modelo InVEST para la estimación del stock de carbono, con la utilización de datos de cuatro reservorios de carbono (biomasa aérea y subterránea, hojarasca y carbono del suelo) provistos por el INFONA, y los mapas de uso de la tierra elaborados para los años 1999 y 2014. Los resultados del modelo InVEST revelaron la liberación de 6,7 Mt de carbono almacenado en suelos de bosques, y 0,3 Mt de carbono fijado en suelos de plantaciones forestales. Como conclusión existe una variación en stock de carbono de áreas bosques nativos y plantaciones forestales que puede ser explicada en parte por la influencia de factores climáticos, litológicos, topográficos e hidrológicos, así como por características de la vegetación, actividad microbiana y propiedades de los suelos relacionadas a prácticas de manejo del mismo.

Palabras claves: cambios de uso de la tierra, servicios ecosistémicos, stock de carbono

ABSTRACT

The study of the role played by soils in the provision of ecosystem services is incipient in our country, and requires adequate attention with emphasis from academic and scientific action; since they constitute the most complex group of ecosystem services because they include formation processes and other relevant natural cycles (carbon, nitrogen and others). The historical background of changes in land use in the Eastern Region and the current progressive trend in the Western Region lead to propose research that contributes to its economic and social valuation for the purposes of protection and sustainable use. The research was carried out in the department of Alto Paraná and aimed to estimate the carbon stock and its variation for two land uses (forest plantations and native forests) in the Alto Paraná Atlantic Forest ecoregion. The InVEST model was used to estimate the carbon stock, with the use of data from four carbon reservoirs (above and belowground biomass, litter and soil carbon) provided by INFONA, and the land use maps prepared for the years 1999 and 2014. The results of the InVEST model revealed the release of 6.7 Mt of carbon stored in forest soils, and 0.3 Mt of carbon fixed in forest plantation soils. As a conclusion, there is a variation in the carbon stock of native forest areas and forest plantations that can be explained in part by the influence of climatic, lithological, topographic and hydrological factors, as well as by characteristics of the vegetation, microbial activity and soil properties related to management practices.

Key words: carbon stock, changes land use, ecosystems services

INTRODUCCIÓN

Los suelos son sistemas dinámicos y constituyen el capital natural capaz de formarse, mantenerse y deteriorarse. En este sentido deben ser protegidos, considerando que los servicios ecosistémicos que

proveen dependen de dicho capital (Dominati et al., 2010). Según Lopes, dos Santos Bento, Arede, Correia Cristovão y Oliveira Baptista (2015) los cambios espacio-temporales del uso de la tierra conllevan variaciones en sus procesos, y terminan por alterar las funciones de los suelos.

En los últimos años la ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAPA) ha experimentado un acelerado cambio de uso de la tierra como respuesta a presiones tales como la colonización, la expansión de la agricultura mecanizada, y la deforestación (Lima, Santos Hackbart, Sanches Bertolo y Ferreira dos Santos, 2016). Según Fleytas (2007) citado por Da Ponte, Roch, Leinenkugel, Dech y Kuenzer (2017) la cobertura boscosa en esta ecorregión se redujo a 9% quedando solo fragmentos que están sujetos a diversas amenazas. El BAAPA es conocido por ser un ecosistema tropical cuya diversidad climática y de suelos favorecen a la evolución de las especies endémicas (Di Bitetti, Placci y Dietz, 2003).

El estudio de los servicios ecosistémicos ha sido abordado en algunas investigaciones como las de Goh y Yanosky (2016), Peralta Kulik, Ayala Medina, Amarilla Rodríguez, Pérez de Molas y González Villalba (2018) desde el enfoque de valoración económica; con el objetivo de proporcionar información necesaria para incentivar el desarrollo de políticas destinadas a la conservación y al manejo sostenible de los recursos naturales.

Los suelos tiene la capacidad de proveer servicios ecosistémicos como el soporte físico, el filtrado de nutrientes, la suministro de fibras, y la regulación climática a través del almacenamiento de carbono y el

control de flujo de gases como N₂O y CH₄ (Robinson et al., 2013). En los ecosistemas forestales los suelos contienen más de dos tercios del carbono terrestre, por lo que la conversión de los bosques a otros usos implica modificaciones en la reserva de carbono orgánico del suelo, pues al modificar las reservas, los flujos de carbono se ven alterados (Paul Obade y Lal, 2013).

En este contexto, teniendo en cuenta el papel de los suelos en la provisión de servicios ecosistémicos surge la necesidad de comprender de manera integral sus funciones con el propósito de conocer el valor del capital natural para su integración en políticas que resguarden su protección y uso sostenible. La presente investigación se planteó como objetivo estimar el stock de carbono y su variación para dos usos de la tierra: bosque nativo y las plantaciones de *Eucalyptus spp.* en la ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio correspondió al departamento del Alto Paraná (14.895 km²), Región Oriental del Paraguay. La elección del área, se realizó empleando criterios de disponibilidad de datos, considerando que este departamento en toda su extensión está situado dentro del complejo Ecorregional del Bosque Atlántico (BAAPA).

Cuadro 1. Datos de las imágenes de satélite.

Fecha	Satélite	Resolución espacial	Escenas	% Nubes
05/08/1999	Landsat 7 ETM+	30 m * 30 m	224/77 - 224/78	0
03/06/2014	Landsat 8 OLI-TIRS	30 m * 30 m	224/77 - 224/78	0,01

Fuente: USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

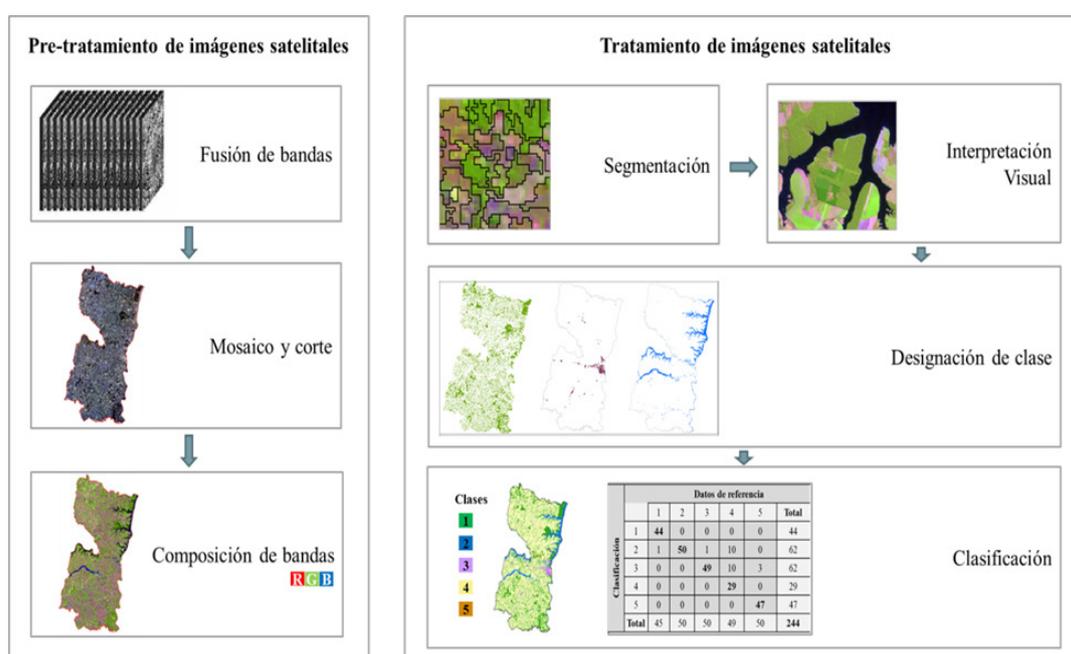


Figura 1. Procesos para la clasificación de usos de la tierra.

Los datos de carbono de biomasa área y subterránea, hojarasca, y carbono orgánico del suelo (formato *shapefile*) para los bosques nativos y las plantaciones de *Eucalyptus* spp. correspondientes a los puntos localizados en el departamento de Alto Paraná, fueron provistos por el Instituto Forestal Nacional (INFONA). Los mismos corresponden a mediciones realizadas en el año 2014 para el Inventario Forestal Nacional (IFN).

Los mapas de uso de la tierra fueron elaborados utilizando imágenes satelitales correspondientes a los años 1999 y 2014 (Cuadro 1), las cuales fueron seleccionadas en función de criterios de calidad (porcentaje de nubes y calibración), temporalidad de los datos, y accesibilidad (imágenes gratuitas).

La clasificación de usos de la tierra fue efectuada

para los años 1999 y 2014. Las imágenes se trataron con el software ArcGIS 10.3.1, se realizó una clasificación orientada al objeto siguiendo el esquema de la Figura 1.

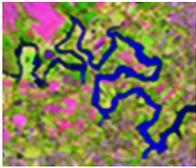
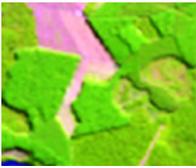
El pre-tratamiento de las imágenes consistió en (1) la fusión de bandas espectrales: para la imagen Landsat 7 ETM+ que consta de 8 bandas (0,45-12,50 μm) se fusionó del 1 al 5, mientras que para la imagen Landsat 8 OLI-TIRS con 11 bandas que van de 0,43 a 12,51 μm , la fusión se realizó del 1 al 6.

Luego se realizó el (2) mosaico y corte: utilizando el archivo del límite departamental como referencia. Posteriormente (3) la composición de bandas resultó en la combinación RGB 5,4,3 y 6,5,4 para las imágenes Landsat 7 y 8 respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Combinación de bandas RGB por tipo de imagen satelital.

Imagen satelital	Rojo	Verde	Azul
Landsat 7 ETM+	B5 (1,55-1,75 μm)	B4 (0,76-0,90 μm)	B3 (0,63-0,69 μm)
Landsat 8 OLI-TIRS	B6 (1,57-1,65 μm)	B5 (0,85-0,88 μm)	B4 (0,64-0,67 μm)

Cuadro 3. Interpretación visual de los usos de la tierra.

Clase	Respuesta espectral	Interpretación visual	Descripción
1 Cuerpos de agua		Color azul, textura lisa de forma irregular curvilínea para ríos.	Se incluyen ríos, arroyos, lagunas, estanques de potreros.
2 Bosque nativo		Color verde oscuro, textura rugosa, forma irregular	Grandes remanentes de bosques, parches, bosques en galería.
3 Otros usos y coberturas		Color púrpura, verde y tonos amarillentos, textura lisa, formas regulares e irregulares.	Se compone de campos bajos, pasturas y zonas de producción agrícola y/o pecuaria.
4 Plantaciones Forestales		Color verde, sombra, textura lisa, formas regulares (geométricas y alineadas).	Reforestación, plantaciones con fines comerciales o estéticos.
5 Infraestructura		Color púrpura, textura rugosa forma irregular en cuadrícula.	Caminos, infraestructuras, ciudades.

A partir de imágenes pre-procesadas, se realizó una clasificación semiautomática, que implicó un proceso minucioso y detallado consistente en la agrupación manual de segmentos con la herramienta Fusionar para obtener polígonos de mayor tamaño.

El procedimiento realizado consistió en (1) la segmentación: efectuada con el software GeoMDA (Análisis por Mineración de Datos) empleando el Baatz & shape, se asignó un peso de escala de 50, color de 40 y compacidad de 30. Luego (2) la interpretación visual permitió la identificación de los objetos teniendo en cuenta la escala de trabajo (1:100000 y 1:50000) y se utilizó los siguientes criterios: patrones, textura, forma, tamaño y sombra (Cuadro 3).

A continuación (3) la designación de clases, utilizando la herramienta Fusionar los archivos de bosque, plantaciones forestales, agua e infraestructura fueron acoplados en un nuevo archivo. La clase "otros usos y coberturas" se obtuvo con la herramienta Borrar tomando como referencia el límite departamental.

Finalmente (4) para la evaluación de la clasificación aplicó el coeficiente Kappa (K) cuya expresión matemática es presentada en la ecuación (1).

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} \tag{1}$$

donde K es el coeficiente de Kappa, Po es la proporción observada y Pe es la proporción esperada. Los valores de Po y Pe se obtuvieron a partir de las ecuaciones (2) y (3) calculadas utilizando la matriz de error construida a partir de 45 a 50 puntos de verificación para cada clase (tomados en campo u obtenidos de imágenes de Google Earth).

$$Po = \frac{\sum_i^n ED_i}{N} \tag{2}$$

$$Pe = \frac{\sum_i^n X_i * Y_i}{N^2} \tag{3}$$

Cuadro 4. Datos los reservorios de carbono obtenidos de mediciones para el Inventario Forestal Nacional, 2014.

Coordenadas geográficas		Tipo ocupación del suelo Biomasa aérea	Reservorio de carbono			
			Biomasa subterránea	Carbono del suelo 0-50 cm	Carbono de la hojarasca	
X	Y		-----tha ⁻¹ -----			
682942	7116365	Bosque	65,5	7,68	72,32	3,25
712818	7173535	<i>Eucalyptus</i>	11,4	2,25	50,76	1,67
715050	7195694	<i>Eucalyptus</i>	0,3	0,04	44,25	0,47
719215	7197369	<i>Eucalyptus</i>	2,7	0,32	46,70	0,54
723217	7195374	<i>Eucalyptus</i>	12,4	1,69	46,71	1,04
740614	7199505	<i>Eucalyptus</i>	31,2	3,30	67,67	1,09
709485	7210037	<i>Eucalyptus</i>	97,0	9,91	64,10	2,09
707213	7215370	<i>Eucalyptus</i>	25,7	2,72	48,61	1,08
710649	7208114	Bosque	34,1	4,79	113,02	3,79
702403	7227047	<i>Eucalyptus</i>	50,3	6,04	17,65	1,51
760219	7261389	Bosque	37,2	4,45	65,26	8,29
735639	7225224	Bosque	41,5	5,32	71,74	4,38
651903	7145241	Bosque	56,5	7,12	34,46	2,46
685862	7103473	Bosque	57,2	7,46	57,04	2,41
666716	7141562	Bosque	48,4	6,29	43,06	2,92
652376	7135162	<i>Eucalyptus</i>	57,2	6,73	37,74	1,51

EDi corresponde a los elementos de la diagonal, n número de los elementos de la diagonal, N es el número total de elementos de la matriz, Xi es el total de la línea i e Yi es el total de la columna i para una

clase. Se utilizaron diferentes herramientas (extraer valores a puntos, frecuencia y tabla dinámica) del software Arcgis 10.3.1 para obtener la matriz de errores para cada año. A partir de las matrices de

error de cada año se calcularon las incertidumbres asociadas con los resultados de las clasificaciones.

Los datos de los cuatro reservorios de carbono estimados por los métodos descritos por FAO (2015), correspondientes a las mediciones del año 2014 (Cuadro 4) se analizaron mediante el test de *Student* con 95% de nivel de confianza para apreciar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los dos usos de la tierra.

El modelo InVEST fue aplicado a los mapas de usos de la tierra para los años 1999 y 2014, y los datos de los reservorios de carbono. El contraste de los valores producidos por el modelo InVEST en 1999 y 2014 permitió estimar la cantidad de carbono liberado o fijado entre 1999 y 2014.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evolución de los usos de la tierra se evidencia en la Figura 2 donde se observa el aumento de superficie de las clases otros usos y coberturas (96.123 ha), plantaciones forestales (7.149 ha) e infraestructura (182 ha). No obstante, la modificación más importante corresponde a la reducción de 103.454 ha de cobertura forestal nativa para el periodo comprendido entre 1999 y 2014.

El valor de K fue de 0,88 y 0,87 para los años 1999 y 2014 respectivamente obtenidas a partir de las matrices de error (Cuadro 5), demostrando una buena clasificación, ya que el coeficiente Kappa mide el grado de ajuste debido solo a la exactitud de la clasificación (Landis y Koch, 1977).

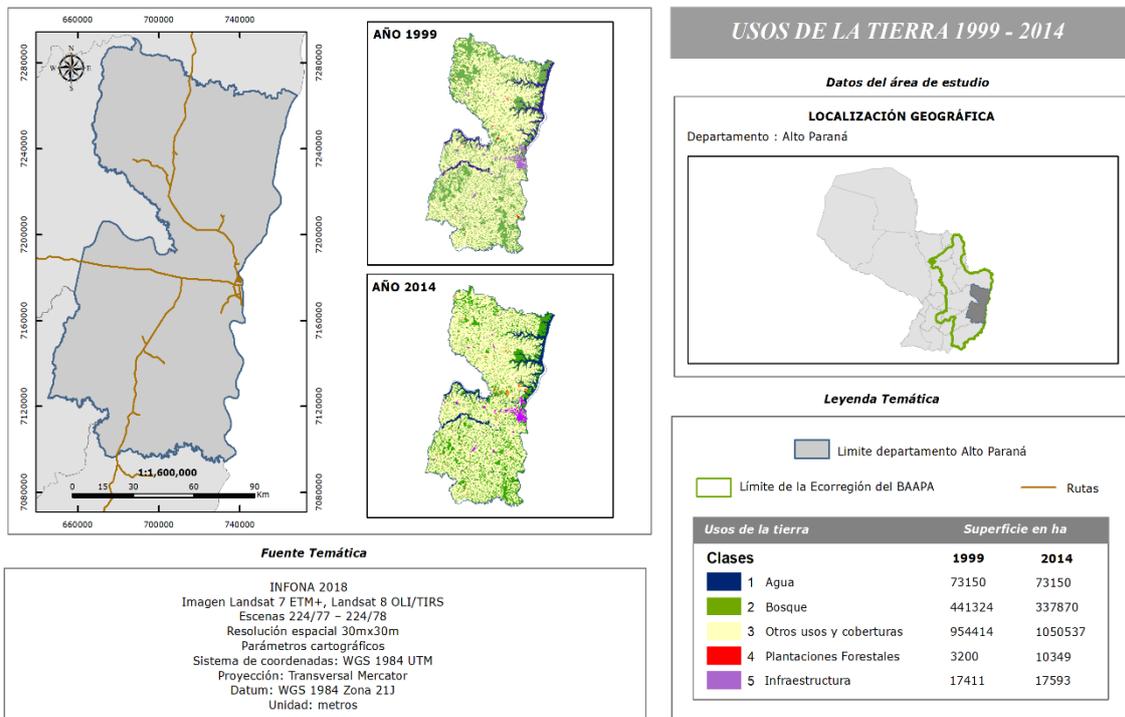


Figura 2. Mapa de uso de la tierra del departamento de Alto Paraná del periodo 1999-2014.

Cuadro 5. Matrices de error para validación de la clasificación del uso de la tierra del departamento de Alto Paraná de los años 1999 y 2014.

Clasificación	Referencia												
	1999						2014						
	ID	1	2	3	4	5	Total	1	2	3	4	5	Total
1	45	0	0	0	0	0	45	44	0	0	0	0	44
2	0	50	1	16	0	0	67	1	50	1	10	0	62
3	0	0	49	3	4	0	56	0	0	49	10	3	62
4	0	0	0	31	0	0	31	0	0	0	29	0	29
5	0	0	0	0	45	0	45	0	0	0	0	47	47
Total	45	50	50	50	49	0	244	45	50	50	49	50	244

Clases: 1) cuerpos de agua, 2) bosque, 3) otros usos y coberturas, 4) plantaciones forestales, 5) infraestructura

Cuadro 6. Carbono orgánico almacenado (tha^{-1}) por las plantaciones forestales y los bosques nativos del área de estudio.

Stock de carbono						
Modalidad de ocupación de suelo		Total	Biomasa aérea	Biomasa subterránea	Suelos	Materia muerta
		----- tha^{-1} -----				
Bosque	Media	124 ^a	49 ^a	6 ^a	65 ^a	4 ^a
	Desviación estándar	22	12	1	25	2
	CV %	17	24	21	39	52
<i>Eucalyptus</i>	Media	84 ^b	32 ^a	4 ^a	47 ^a	1 ^b
	Desviación estándar	39	31	3	15	1
	CV %	47	98	89	31	43

Los valores con las mismas letras no son estadísticamente diferentes en el umbral del 5% (test de *Student*).

Las tasas de éxito para cada clase muestran errores de 75% y 81% en la clase 2 (bosque) y de 86% a 79% en la clase 3 (otros usos y coberturas) para los años 1999 y 2014 respectivamente.

El test de *Student* (Cuadro 6) muestra que el stock total de carbono (año 2014) es significativamente mayor (50% superior) en los bosques que en las plantaciones forestales. Se debe tener en cuenta la gran variabilidad (98%) de los datos de plantaciones forestales (IFN) para la reserva de carbono en la biomasa aérea, que pueden deberse a diferencias fenológicas o variedad de especies de *Eucalyptus*.

El stock de carbono orgánico del suelo (COS) para ambos usos de la tierra muestra una variación relativamente pequeña en el conjunto de datos (IFN), 39% y 31% para bosques y plantaciones forestales, respectivamente (Cuadro 6). La gran variabilidad del stock de carbono presente en las diferentes coberturas del suelo se relaciona directamente con los factores climáticos (precipitación y temperatura), con factores litológicos, topográficos (elevación)

e hidrológicos; teniendo en cuenta que los datos provienen de diferentes zonas del departamento de Alto Paraná, estos factores explicarían en parte las diferencias encontradas. Por otro lado, Kumar et al. (2016) así como Yigini y Panagos (2016) explican que las características de la vegetación (por ejemplo: producción de biomasa), la abundancia microbiana, las propiedades del suelo influenciadas por el uso y manejo del mismo intervienen en la ganancia o pérdida de COS, lo que podría explicar las diferencias encontradas entre las plantaciones forestales y los bosques nativos. Los resultados manifiestan el gran potencial de áreas boscosas para almacenar carbono orgánico, así también revelan la oportunidad de replicar estudios como el de Peralta Kulik et al. (2018) que permitan estimar su valor económico total.

En el Cuadro 7 se observa los resultados de la estimación provista por el modelo InVEST, se muestra una liberación de carbono total de 12,8 Mt para el bosque y una fijación de 0,6 Mt para las plantaciones forestales.

Cuadro 7. Carbono fijado o liberado (Mt) por plantaciones forestales y bosques nativos en el departamento de Alto Paraná entre 1999 y 2014.

Carbono fijado o liberado					
Ocupación del suelo	Total	Biomasa aérea	Biomasa subterránea	Suelos	Materia muerta
	-----Mt-----				
Bosque nativo	-12,8	-5,1	-0,6	-6,7	-0,4
Plantaciones forestales	+0,6	+0,2	+0,03	+0,3	+0,007
Balance	-12,2	-4,9	-0,57	-6,4	-0,393

El signo negativo indica una pérdida y el signo positivo una fijación.

Las importantes pérdidas de carbono asociadas con los bosques se deben a la disminución de 103.454 ha entre 1999 y 2014, donde las ganancias de carbono de las plantaciones forestales limitadas en área (7.149 ha) no pueden compensar las pérdidas. En lo que respecta al carbono del suelo, las pérdidas para el bosque alcanzan los 6,7 Mt y las ganancias en las plantaciones forestales 0,3 Mt.

Considerando una evolución importante en el período analizado de la clase "otros usos y coberturas" (áreas agrícolas, ganaderas, pasturas y de campos bajos), y teniendo en cuenta la limitación de los datos para esta clase, los resultados de la estimación imposibilitan un análisis global del carbono almacenado a nivel de todo el departamento de Alto Paraná. En este punto es necesario mencionar que el método utilizado por el modelo InVEST para el cálculo de carbono almacenado utiliza el stock de carbono por tipo de cobertura, lo cual no considera la variabilidad espacial de los suelos y por ende no se permite discriminar aquellos cuyas características y propiedades propician un mayor almacenamiento.

El alto potencial para almacenar carbono en el suelo en otros usos de la tierra como por ejemplo el agrícola es evidenciado por de Guijter et al. (2016), quienes encontraron un stock de COS de 15,17 tha^{-1} en un campo agrícola australiano a una profundidad de 7,5 cm. Por otro lado, Kumar et al. (2016) estimaron el stock de COS en los bosques tropicales de la India a una profundidad de 30 cm, encontrando una variación de 6,18 tha^{-1} a 21,08 tha^{-1} . Además Merenciano González et al. (2018) hallaron en los humedales del Chaco húmedo paraguayo a los 10 cm de profundidad un stock de COS entre 1,8 y 5,2 tha^{-1} . Por lo expuesto, es esencial realizar análisis integrados para comprender la influencia de las prácticas de manejo y el uso del suelo sobre el stock de carbono.

CONCLUSIONES

En conclusión existe una variación en stock de carbono de áreas bosques nativos y plantaciones forestales que puede ser explicada en parte por la influencia de factores climáticos, litológicos, topográficos e hidrológicos, así como por características de la vegetación, actividad microbiana y propiedades de los suelos relacionadas a prácticas de manejo del mismo.

Esta investigación se realizó basada en la percepción de la necesidad a nivel país de integrar el valor de los suelos a políticas que permitan asegurar su uso sostenible, si bien no consideró un análisis de la valoración en sí mismo, constituye un primer aporte al cuantificar las pérdidas considerando los tipos de coberturas forestales tradicionales

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA/UNA) por brindar todos los recursos necesarios para el desarrollo exitoso de esta investigación. Al Instituto Forestal Nacional (INFONA) a través de su Dirección de Sistema Nacional de Información Forestal por el suministro de datos para esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Da Ponte, E., Roch, M., Leinenkugel, P., Dech, S. & Kuenzer, C. (2017). Paraguay's Atlantic Forest cover loss e Satellite-based change detection and fragmentation analysis between 2003 and 2013. *Applied Geography*, 79, 37-49. doi: 10.1016/j.apgeog.2016.12.005
- Gruijter, J. J. de, McBratney, A. B., Minasny, B., Wheeler, I., Malone, B. P. & Stockmann, U. (2016). Farm-scale soil carbon auditing. *Geoderma*, 265, 120-130. doi:10.1016/j.geoderma.2015.11.010
- Paul Obade, V., de & Lal, R. (2013). Assessing land cover and soil quality by remote sensing and geographical information systems (GIS). *Catena*, 104, 7-92. doi:10.1016/j.catena.2012.10.014
- Di Bitetti, M.S., Placci, G. & Dietz, L.A. (2003). *Una Visión de Biodiversidad para la Ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná: Diseño de un Paisaje para la Conservación de la Biodiversidad y prioridades para las acciones de conservación*. Washington, US. World Wildlife Fund. 156p. Disponible en: https://d2qv5f444n933g.cloudfront.net/downloads/vision_completa_espanol.pdf
- Dominati, E., Patterson, M. & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecol. Econ.*, 69, 1858-1868.
- FAO (2015). *Manual de campo: Procedimientos para la planificación, medición y registro de información del Inventario Forestal Nacional del Paraguay*. 188 p.
- Fleytas, C. (2007). *Cambios en el paisaje. Evolución de la cobertura vegetal en la Región Oriental del Paraguay*. Asunción.
- Goh, T. Y. & Yanosky, A. (2016). Payment for Ecosystem Services works, but not exactly in the way it was designed. *Global Ecology and Conservation*, 5, 71-87. doi:10.1016/j.gecco.2015.11.005
- Kumar, P., Pandey, P. C., Singh, B. K., Katiyar, Mandal, V. P., Rani, M., Tomar, V. & Patariya, P. (2016). Estimation of accumulated soil organic carbon stock in tropical forest using geospatial strategy. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 19, 109-123.
- Landis, J. R & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical Data. *Biometrics*, 33, 159-174. doi:10.2307/2529310
- Lima, G. T. N. d., Santos Hackbart, V. C., Sanches Bertolo, L. & Ferreira dos Santos, R. (2016). Identifying driving forces of landscape changes: Historical relationships and the availability of ecosystem services in the Atlantic forest.

- Ecosystem Services*, 22, 11-17.
- Lopes, L. F. G., dos Santos Bento, J. M. R., Arede Correia Cristovão, A. F. & Oliveira Baptista, F. (2015). Exploring the effect of land use on ecosystem services: The distributive issues. *Land Use Polic*, 45, 141–149.
- Merenciano González, A. M., Musálem, K., Laino, R., Rey Benayas, J. M., Cruz-Alonso, V., El Raiss Cordero, Z., Brun Moreno, V., Chaparro Otazu, P., Lubián Valenzuela, A., González, J.D., Amarilla, S., Aranda Espinoza M.L., Enciso, C. (2018). Servicios ecosistémicos en el Chaco Húmedo Paraguayo: retos para el manejo basado en los ecosistemas. *Ecosistemas*, 27(2), 115-125. doi.: 10.7818/ECOS.1531
- Peralta Kulik, N., Ayala Medina, L., Amarilla Rodríguez, S., Pérez de Molas, L. & González Villalba, J. (2018). Valoración económica de bienes de uso directo e indirecto de un bosque de la Ecorregión Alto Paraná, Paraguay. *Paraquaria Natural*, 6 (2), 8-13. doi: 10.32525/PARAQUARIANAT.2018(6):8.13
- Robinson, D. A., Hockley, N., Cooper, D. M., Emmett, B. A., Keith, A. M., Lebron, I.,...Robinson, J. S. et al. (2013). Natural capital and ecosystem services, developing an appropriate soils framework as a basis for valuation. *Soil Biol. Biochem.*, 57, 1023-1033. doi: 10.1016/j.soilbio.2012.09.008
- Yigini, Y & Panagos, P. (2016). Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes in Europe. *Science of the Total Environment*, 557–558, 838–850.