

Servicios ecosistémicos en el Chaco Húmedo Paraguayo: retos para el manejo basado en los ecosistemas

A.M. Merenciano González^{1,2}, K. Musálem^{2,4}, R. Laino^{2,4,*}, J.M. Rey Benayas^{1,4}, V. Cruz-Alonso^{1,2}, Z. El Raiss Cordero^{1,2}, V. Brun Moreno³, P. Chaparro Otazu³, A. Lubián Valenzuela³, J.D. González³, S. Amarilla³, M.L. Aranda Espinoza^{3,4}, C. Enciso³.

(1) Universidad de Alcalá, Dpto. de Ciencias de la Vida, 28805 Alcalá de Henares, España.

(2) Centro de Investigación del Chaco Americano, San José 365, Asunción, Paraguay.

(3) Universidad Nacional de Asunción. Av. Mcal López 3492, San Lorenzo, Paraguay.

(4) Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas, 28008 Madrid, España.

* Autor de correspondencia: R. Laino Guanes [rafilaino@gmail.com]

> Recibido el 23 de noviembre de 2017 - Aceptado el 06 de mayo de 2018

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

Para contar con información necesaria para promover estrategias de gestión basada en ecosistemas, se evaluaron servicios ecosistémicos en un área ganadera en el Chaco Húmedo Paraguayo. Se estudió captura de carbono en biomasa forestal, captura de carbono en el suelo de humedales, calidad del agua de humedales, conectividad funcional de isletas forestales, valoración económica de un sistema silvopastoril basado en pasturas y bosques nativos, e infiltración y evaporación del agua en el suelo. Para ello, se aplicaron diferentes metodologías con un enfoque multidisciplinario. Los resultados informan sobre estos servicios ecosistémicos y su interacción con la ganadería, actividad instalada desde hace varias generaciones, aprovechando pastizales naturales inundables. A partir de esta evaluación, se realizaron recomendaciones para la continuidad de estos servicios, con actualización cartográfica de las unidades de vegetación. Los humedales del sitio de estudio, además de capturar carbono, se encuentran en un buen estado de conservación. La ganadería ha tenido impactos negativos ocasionales y puntuales en la calidad del agua que, sin embargo, son corregibles. Las isletas forestales del área de estudio permiten la conectividad biológica para *Alouatta caraya*, sin embargo, es aún necesario realizar estudios similares para otras especies. Los pastizales con palmares ofrecen un mayor valor forrajero en comparación con los pastizales con bosque, por otro lado, la captura de carbono en el bosque resultó en un valor económico que supera en más del doble al del palmar ocupando una superficie seis veces menor. Los ensayos de infiltración destacaron el papel de los bosques y árboles individuales en la mejora de este servicio, especialmente relevante para los suelos inundables de esta región. El mosaico de formaciones vegetales naturales del Chaco Húmedo plantea la necesidad del manejo basado en el conocimiento del funcionamiento de los distintos ecosistemas.

Palabras clave: calidad del agua; carbono; conectividad; ganadería; infiltración

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. Ecosystem services in the Paraguayan Humid Chaco: challenges for ecosystem-based management. *Ecosistemas* 27(2):115-125. Doi.: 10.7818/ECOS.1531

In order to obtain necessary information to promote ecosystem-based management strategies, ecosystem services were assessed in a cattle rangeland in the Paraguayan Humid Chaco. Carbon sequestration in forest biomass, carbon sequestration in wetlands soil, water quality in wetlands, functional connectivity of forest islets, economic valuation of a silvopastoral system based on native savannas and forests, and infiltration and evaporation of water in the soil were studied. Different methodologies were applied with a multidisciplinary approach. Results give information about these ecosystem services and their interaction with livestock rearing, activity installed for several generations, taking advantage of frequently-flooded native savannas. From these assessments, recommendations were made for the improvement and restoration of these services, with cartographic updating of the vegetation units. Wetlands in the study site, in addition to carbon sequestration, are in a good state of conservation. Livestock rearing has had occasional and isolated negative impacts on water quality, which, nonetheless can be corrected. Forest islets present in the study area allow biological connectivity of *Alouatta caraya*, however, it's still necessary to conduct similar analysis for other species. Regarding livestock production, palm groves/savannas systems offer a higher fodder value than forests/savannas, on the other hand, carbon sequestration in the forest resulted in an economic value that is more than double that of the palm groves occupying a surface six times smaller. Infiltration trials emphasized the role of individual forests and trees in improving infiltration, especially relevant to floodable soils in this region. The mosaic of natural plant formations in the Humid Chaco raises the need for a management based on the knowledge of the functioning of the different ecosystems.

Key words: water quality; carbon; connectivity; livestock; infiltration

Introducción

Si bien ha sido demostrada la importancia que los ecosistemas no alterados tienen en la provisión de servicios ecosistémicos, también los bosques secundarios y otros ecosistemas alterados en paisajes modificados por los humanos los suministran. Su correcta gestión ayuda también a mantener una oferta múltiple de servicios para la población humana (Alamgir et al. 2016; Mesa-Jurado 2016; Melo et al. 2013). Los servicios ecosistémicos, entendidos como las características ecológicas, funciones y procesos que directa o indirectamente contribuyen al bienestar de la humanidad, incluyen servicios de aprovisionamiento, como alimentos o fibras; servicios de regulación, como regulación del clima, de enfermedades o de la calidad del agua; servicios culturales, como los de recreación, y servicios de apoyo, como el de formación del suelo (Costanza et al. 1997; Millennium Ecosystem Assessment 2005). A pesar de que se estima que los servicios ecosistémicos y su valoración (lo que no necesariamente implica monetización) son una herramienta para contribuir al bienestar sustentable de la humanidad y para la gestión del uso del suelo (Costanza et al. 2017), aún es escasa la literatura de servicios ecosistémicos en Paraguay, y casi ausente en el Chaco Húmedo (Kopcow et al. 2017; Rivarola y Amarilla 2015; Laino et al. 2017; Insfrán et al. 2017).

La ganadería es una de las principales causas de alteración de los ecosistemas a nivel mundial (Foley et al. 2005). En Paraguay, esta representa uno de los motores económicos del país como resultado de las políticas nacionales que han potenciado la expansión de la producción cárnica (Yanosky 2013). Este desarrollo implica impactos ambientales y sociales, y es una de las causas principales de cambios en la vegetación y en los servicios ecosistémicos (Magnano et al. 2013). La deforestación y los impactos del pastoreo en la región del Chaco están aumentando fuera de las áreas protegidas, siendo una de las regiones con mayor tasa de deforestación de Latinoamérica (Huang et al. 2009; Meres 2006).

Para contar con información necesaria para promover estrategias de gestión basada en ecosistemas, este estudio tuvo como objetivo evaluar y cuantificar algunos servicios ecosistémicos en el Chaco Húmedo Paraguayo. Para ello se trabajó en una finca dedicada a la ganadería de cría sobre pastos nativos y se evaluaron los siguientes indicadores de los servicios ecosistémicos en distintas unidades de vegetación: captura de carbono en el suelo del humedal; calidad del agua y macrófitas en el humedal; conectividad ecológica de hábitat forestal; valoración de captura de carbono de la biomasa forestal y cálculo del valor forrajero del sistema silvopastoril; e infiltración y evaporación del agua en el suelo bajo distintas coberturas y unidades ambientales. Se pretende con ello proponer medidas de mitigación de los impactos de la ganadería y así asegurar la continuidad de estos servicios ecosistémicos en la región, en particular para la gestión ganadera.

Material y métodos

Área de estudio

Los estudios se realizaron en una finca ganadera de 3700 ha, llamada Estancia Playada, ubicada en el departamento Presidente Hayes de la Región Occidental del Paraguay (coordenadas 24°57'41" S y 57°22'10" O) (Fig. 1). Este sitio es sede cooperante del Centro de Investigación del Chaco Americano de la Fundación Manuel Gondra. En la finca se practica una ganadería extensiva de baja densidad (una unidad animal -UA- por cada 2 ha) en pastos nativos inundables. En ella existen diferentes unidades ambientales típicas del Chaco Húmedo (Oakley y Prado 2011; Hueck y Seibert 1972): bosque mixto, palmar (*Copernicia alba* y *Prosopis nigra*), quebrachales (*Schinopsis balansae*), pastizales inundables y carrizales, la Figura 2 muestra algunas imágenes de especies vegetales de estas formaciones. El clima es tropical de sabana en transición a subtropical húmedo, según la clasificación de Köppen.

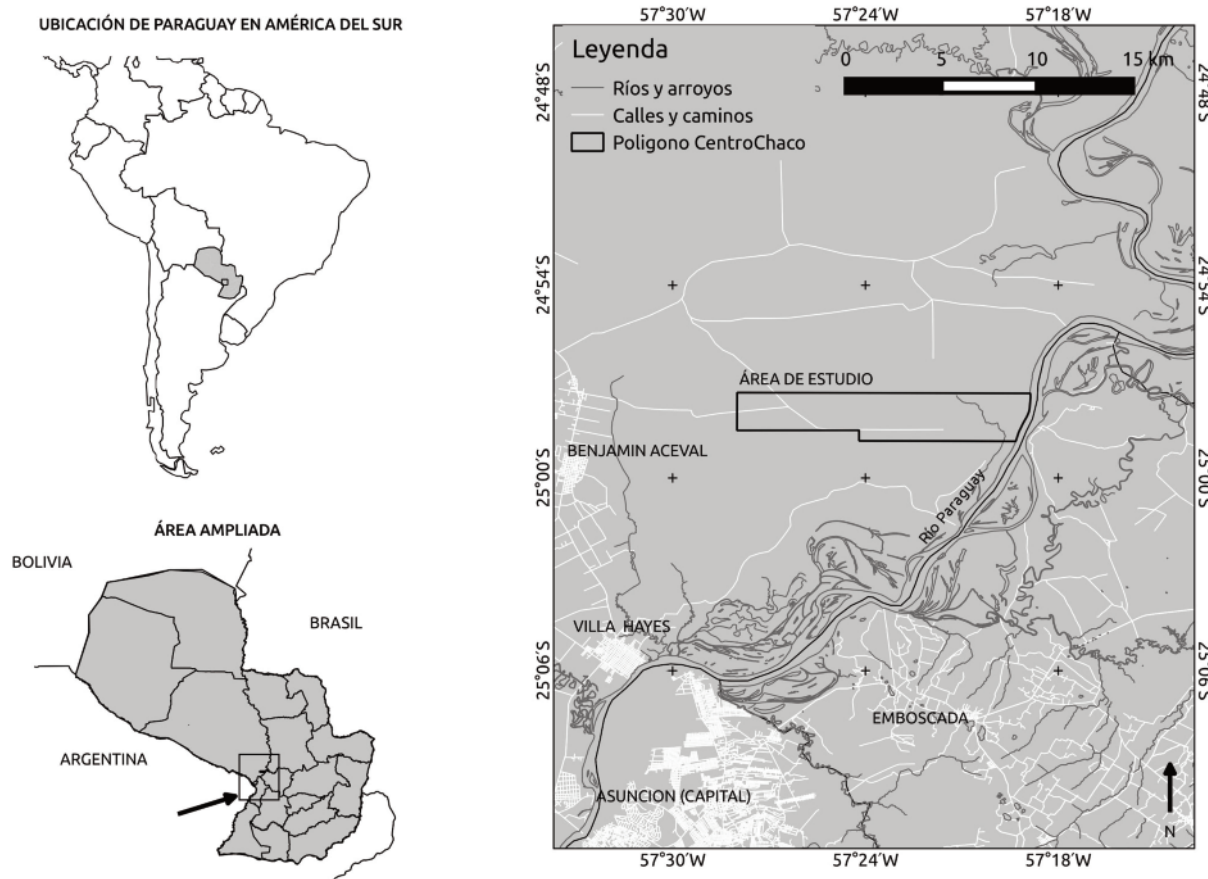


Figura 1. Localización del área de estudio, ubicada en el Departamento Presidente Hayes, Chaco, Paraguay.

Figure 1. Location of study area in Presidente Hayes Department, Paraguay.

La precipitación media es de 1400 mm anuales, con una estación seca en invierno y una estación lluviosa en verano; la temperatura media anual es de 23.3°C. Al comparar la estructura del paisaje y las unidades de vegetación del año 2014 con las de un mapa de 1904 se observaron unidades de vegetación con extensiones similares, por lo tanto, se considera un paisaje poco alterado, donde se han sucedido periodos de explotación para uso ganadero extensivo sin desmonte y solo aprovechando los pastizales naturales.

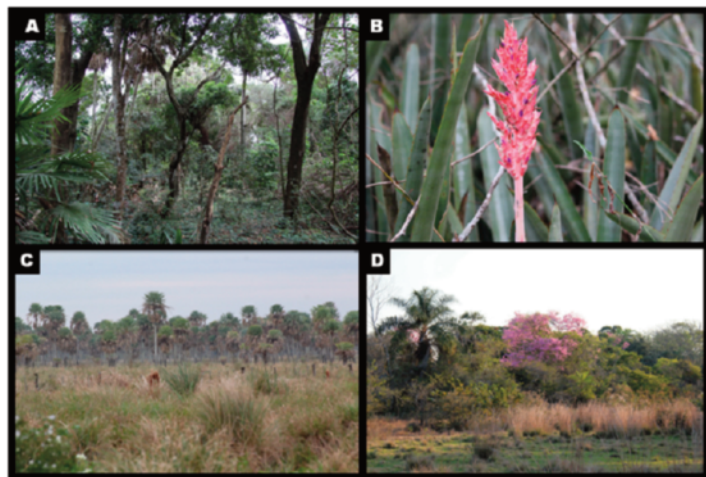


Figura 2. Fotografías ilustrativas de las formaciones vegetales dominantes en el área de estudio. A) Bosque subtropical, B) Bromeliad en quebrachal, C) Pastos en palmar de *Copernicia alba*, D) Pastos en quebrachal.

Figure 2. Illustrative pictures of dominant vegetation formations in the study area. A) Subtropical forest, B) Bromeliad in a quebracho forest, C) Grasses in a *Copernicia alba* palm grove, D) Grasses in a quebracho forest.

Metodologías

Las distintas metodologías utilizadas para este estudio, llevado a cabo entre 2013 y 2016, se presentan de manera resumida en la **Tabla 1** y se detallan a continuación.

Captura de carbono en el suelo del humedal y estado de conservación del humedal

En el año 2013 se cuantificó la captura de carbono en el suelo y el estado de conservación de un humedal en el sitio de estudio, tributario del río Paraguay, en un área con represas antiguas para el paso del ganado. Se muestrearon tres parcelas: (A) una parcela ubicada antes de las presas, (B) una parcela ubicada entre las presas y (C) una parcela ubicada después de las presas. Para cuantificar la captura de carbono se tomaron tres muestras en cada parcela (**Fig. 3**). Para la extracción del suelo se utilizó un penetrómetro y un cilindro y las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas. Se extrajo un gramo de cada muestra que se tamizó para eliminar restos orgánicos. Se utilizó el método de oxidación de la materia orgánica de [Walkley y Black \(1934\)](#) para obtener la proporción de ésta. Se calculó el Carbono Orgánico del Suelo (COS) utilizando la fórmula $COS = \%CO \times \text{peso del suelo}$. El análisis se realizó en invierno y en primavera para tener en cuenta las posibles variaciones estacionales, según el método de [Abarca \(2007\)](#).

Simultáneamente a la toma de muestras de suelo y en los mismos sitios y fechas se realizó la determinación del estado de conservación del humedal utilizando el índice del Estado de Conservación de Ecosistemas Lénticos Someros, ECELS ([Agencia Catalana del Agua 2009](#)). Los cinco bloques analizados según este índice fueron: (1) morfología y pendiente del humedal; (2) actividades humanas; (3) aspecto del agua; (4) presencia de vegetación emergente y (5) presencia de vegetación hidrófita. Se exploraron relaciones entre estas dos variables a través de análisis de varianza.

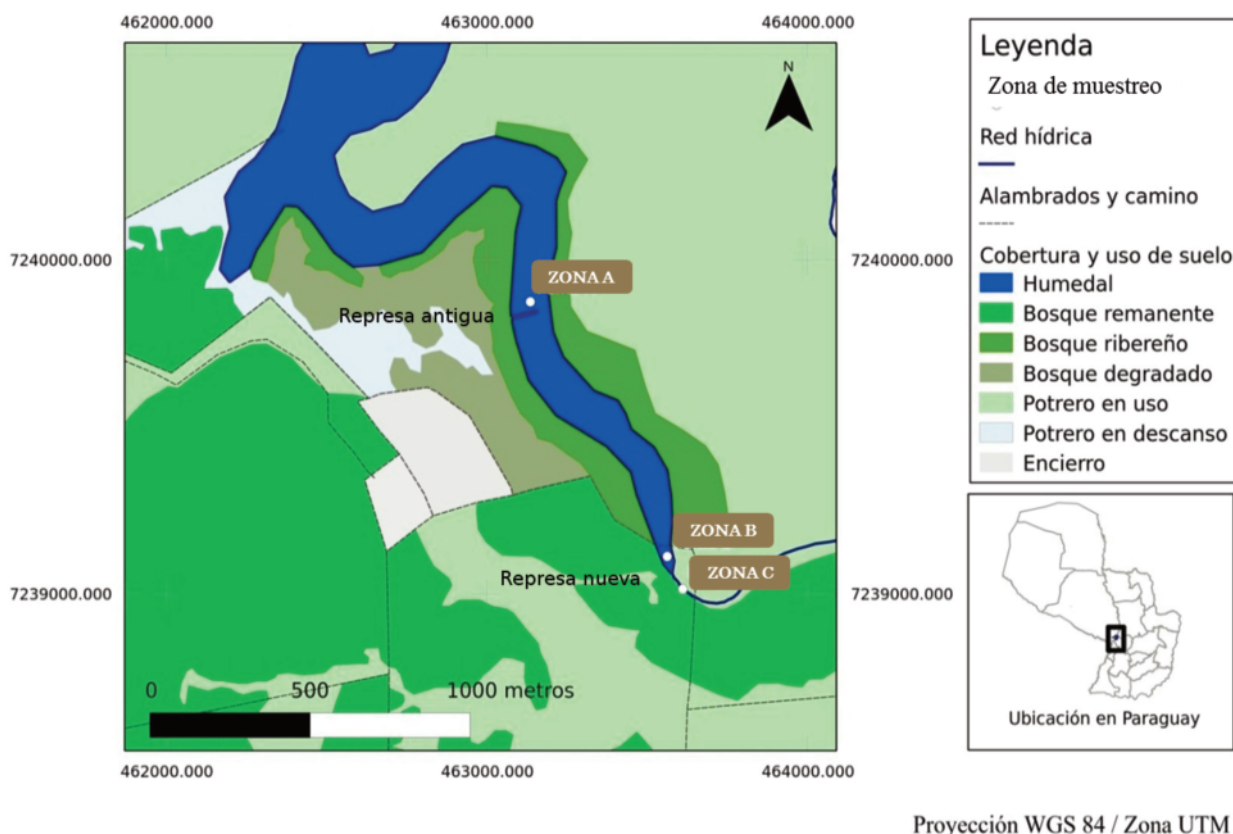


Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo en tres parcelas (A, B y C) en el humedal del sitio de estudio para medir la captura de carbono en el suelo y el estado de conservación del humedal.

Figure 3. Location of sampling points in three plots (A, B and C) in a wetland in the study site to measure carbon capture in soil and wetland conservation status.

Tabla 1. Resumen de los objetivos y metodologías para evaluar los servicios ecosistémicos analizados.**Table 1.** Summary of the objectives and methodologies followed to evaluate analyzed ecosystem services.

Servicio ecosistémico	Objetivos	Metodología
Captura de carbono en el humedal	Determinar la cantidad de carbono almacenado en el suelo y el estado de conservación del humedal.	Selección de tres parcelas de muestreo: antes, entre y después de las presas. Extracción de datos y muestras: penetrómetro y cilindro. Laboratorio: método de Walkley y Black. Cálculo del índice ECELS (Agencia Catalana del Agua 2009).
Calidad del agua del humedal	Determinar la relación de la cobertura vegetal con la calidad de agua. Determinar la calidad fisicoquímica del agua. Caracterizar la cobertura vegetal de macrófitas.	Selección de tres parcelas de muestreo: antes, entre y después de las presas. Medición del pH, O, OD, NTK, PT y presencia de microorganismos coliformes fecales y totales. Inventario de macrófitas.
Conectividad funcional entre parches boscosos	Diagnosticar el estado de la conectividad para el mono carayá (<i>Alouatta caraya</i>). Detectar zonas clave para el mantenimiento de la conectividad.	Modelización de paisaje mediante teoría de grafos (Saura y Rubio 2010). Caracterización de la cubierta vegetal y de la superficie del suelo. Índice ECA/sup. habitable. Observación de campo y toma de datos GPS. SIG y bibliografía.
Valoración del sistema silvopastoril: captura de carbono y potencial forrajero	Valorar económicamente el servicio de captura de carbono. Valorar el potencial forrajero.	Selección de dos sistemas silvopastoriles diferenciados y establecimiento de parcelas de inventariado forestal. Metodología de marcos de muestreo (Andrade e Ibrahim 2003). Estimación del contenido de C mediante método indirecto: cálculo del área basal y precios de mercado para su valoración. Análisis bromatológicos de la calidad del forraje.
Infiltración y evaporación del agua	Determinar la influencia de distintos tipos de vegetación en los servicios de infiltración y evaporación de agua en el suelo.	Selección de seis transectos en la zona límite entre el bosque y el pastizal. Ensayos con infiltrómetro inundador y evaporímetro. Análisis de suelo.

Calidad del agua del humedal y relación con la diversidad vegetal

En cada parcela (A, B y C) se tomaron tres muestras de agua (Fig. 3). Para analizar la calidad de la misma se consideraron los siguientes parámetros: pH, oxígeno (O), oxígeno disuelto (OD), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), fósforo total (PT) y presencia de microorganismos coliformes fecales y totales. En cada punto de muestreo se extrajo 1 l de agua en envases plásticos para las mediciones del pH, NTK y PT; 0.5 l de agua en envases de boca ancha para la medición del OD; y 0.25 l en frascos esterilizados para la medición de coliformes. Todas las muestras permanecieron refrigeradas hasta su llegada a laboratorio en menos de 24 horas. Se analizó la calidad del agua en los meses de agosto y septiembre de 2013. Por otra parte, en el mismo periodo se realizó un inventario de macrófitas (Mereles 2006; Mereles 2004) mediante transectos transversales en el humedal, repartidos en las tres zonas de muestreo. Se calculó el índice Shannon-Wiener (H') para cada transecto (Wilhm y Dorris 1968).

Conectividad funcional entre parches boscosos

La conectividad funcional fue estudiada mediante la modelización del paisaje para el mono aullador, *Alouatta caraya*, en el año 2014. La conectividad funcional de hábitat de los parches boscosos se ha considerado como un servicio ecosistémico de apoyo. Los servicios de apoyo son aquellos servicios del ecosistema necesarios para producir los demás servicios (Millennium Ecosystem Assessment 2005), o las estructuras que dan lugar a servicios ecosistémicos. De este modo, mantener la conectividad del hábitat

forestal en el área de estudio ayuda a la estabilidad de este ecosistema, y por tanto a mantener los servicios de captura de carbono, aprovisionamiento (recursos forestales y refugio), regulación hídrica, y disminuye la vulnerabilidad de especies arbóreas ligadas a este ecosistema forestal.

Para la modelización se cartografiaron las unidades de vegetación en el área de estudio. Las formaciones vegetales se dividieron en rodales utilizando el complemento Open Layers de QGIS, en una imagen de satélite de 2015. Se definieron las siguientes unidades: algarrobal (*Prosopis affinis* y *Prosopis nigra*), bosque de *Sapium*, bosque subtropical de transición, humedal, palmar denso de caranday (*Copernicia alba*), palmar en transición con algarrobal, pastizal-pajonal, quebrachal y bosque ripario. A través de recorridos de campo se categorizaron las formaciones vegetales dependiendo de las especies forestales presentes en cada uno de los rodales. Los datos de dispersión y biología del *Alouatta caraya* fueron obtenidos de otros estudios previos (Bravo y Sallenave 2003; Chapman y Peres 2001; Crockett y Eisenberg 1986; Drubbel y Gautier 1993; Fedigan et al. 1998; Fernández-Duque et al. 2008). Usando la teoría de grafos (Urban y Keitt 2001; Saura y Rubio 2010) se representaron las teselas del hábitat y los enlaces conectores entre ellas. Se aplicó el índice de Probabilidad de Conectividad (PC) y se identificaron las zonas más críticas para el mantenimiento de la conectividad. A partir del índice de Área Conexa Equivalente (ECA) se extrajo el grado total de conectividad del paisaje mediante el software CONEFOR (Saura y Rubio 2009).

Valoración del sistema silvopastoril: potencial forrajero y captura de carbono

Se analizó la calidad del servicio de provisión de forraje y se valoró económicamente la captura de carbono en el año 2014 en dos potreros con unidades ambientales distintas: (1) potrero "Samaniego", con un sistema silvopastoril de palmar de *Copernicia alba* con pastizales de *Hermarthria altissima* (pasto clavel); y (2) potrero "Playada", con un sistema silvopastoril de bosque, compuesto por isletas de bosque mixto subtropical y quebrachal, con pastizales de *Andropogon lateralis* (capi'i pytã). Los indicadores utilizados fueron el contenido de carbono, la cantidad de biomasa, la calidad de su composición y la productividad. Para la medición de la biomasa leñosa se seleccionaron tres parcelas de 1 ha en cada sistema de producción, distribuidas aleatoriamente. Se dividió cada parcela en cuatro unidades muestrales y en una unidad muestral se realizó un inventario forestal. La producción forrajera se calculó mediante marcos de muestreo (Andrade e Ibrahim 2003). El contenido de carbono del bosque se calculó a partir del área basal. También se determinó el carbono aéreo, la biomasa radicular, el carbono radicular y el CO₂ equivalente mediante varias ecuaciones propuestas por Penman et al. (2003). La calidad del forraje se evaluó a partir de análisis bromatológicos en laboratorio, en los que se extrajeron los porcentajes de materia seca, el promedio de proteína bruta y el promedio de fibra detergente ácida y fibra detergente neutra. Se valoró económicamente el servicio de captura de carbono calculando las toneladas totales en cada sistema estudiado y su valor económico en bonos de carbono según su precio promedio en USD en el sistema electrónico de emisiones de CO₂ para el año 2013 (SENDECO 2013).

Infiltración y evaporación del agua

Se midieron los servicios hidrológicos de evaporación e infiltración del agua en el suelo durante los meses de abril y mayo del 2015. Para la infiltración, se realizaron 24 ensayos bajo distintos tipos de cobertura (bosque mixto, quebrachal, pajonal y pasto bajo) y en distintas posiciones respecto a la copa de individuos arbóreos (Fig. 4).



Figura 4. Ejemplo de transecto para los ensayos de infiltración en el que se indican los puntos en los que se midió ésta: en bosque (b), en la base del tronco (t), en la proyección de la copa del árbol en dirección al pasto (c) y en el pasto (p).

Figure 4. Example of transect for infiltration trials in which measurement points are indicated: forest (b), tree trunk base (t), canopy projection towards grasslands (c) and grassland (p).

El diseño de muestreo se basó en la metodología utilizada por Benegas et al. (2014) y Bargaes et al. (2014). En estos puntos también se midió el contenido de humedad del suelo (con el método gravimétrico) y la textura edáfica (con el método de Bouyoucos). Se utilizó un infiltrómetro inundador de anillo simple (Mongil-Manso et al. 2015). Para estimar la evaporación se realizaron 24 ensayos con un tanque evaporímetro de 22 cm de diámetro y 8 cm de altura, llenado con 500 ml de agua. El volumen de agua se midió transcurridas 5 horas para cuantificar el agua evaporada. Se compararon los datos de infiltración y evaporación bajo distintos tipos de cobertura y a distintas distancias respecto a individuos arbóreos utilizando ANOVA o el test de Kruskal-Wallis cuando no se cumplían los criterios de normalidad y homocedasticidad.

Resultados

Los resultados de cada servicio ecosistémico analizado se resumen en la **Tabla 2**.

Captura de carbono en humedales y estado de conservación del humedal

Se encontraron valores promedios de 0.32 kg C/m² en el invierno y 0.31 kg C/m² en la primavera con variaciones desde 0.18 a 0.52 kg C/m². El estado de conservación resultó en un nivel "bueno" según los parámetros del índice ECELS, en las dos temporadas, destacando la parcela B ubicada entre las presas por su mejor estado de conservación. No se encontraron relaciones entre el estado de conservación y la captura de carbono.

Calidad del agua del humedal y relación con la diversidad vegetal

Los valores de pH medidos se encontraron dentro de los límites para aguas de Clase 2 que son las destinadas al abastecimiento doméstico (después de tratamientos convencionales) y a la protección de las comunidades acuáticas según la Resolución 222/02 de la Secretaría del Ambiente de Paraguay (SEAM, Paraguay 2002). El NTK y el PT se encontraron fuera de estos límites establecidos en dos puntos de la zona B, con valores de 0.66 mg N/l para el NTK y de 0.065 para el PT en el punto B1, y de 0.736 mg N/l para el NTK y de 0.075 para el PT en el punto B2. La Resolución mencionada marca el máximo en 0.6 para el NTK y el máximo en 0.05 para el PT. Por otro lado, en la zona C, que corresponde a la salida del agua del humedal tras las represas, se encontraron 27 500 UFC/100 ml de coliformes totales y 11 000 UFC/100 ml de coliformes fecales, que superan los límites establecidos por la SEAM (1000 UFC/100 ml). La disponibilidad de oxígeno en el agua (OD) está dentro de los límites normalizados, exceptuando los puntos B1 y B2, que están por debajo de la cantidad mínima normativizada e indican un indicio de eutrofización. El resto de parámetros fueron normales. Los puntos de la zona B, con niveles indeseados en NTK, PT y OD, se sitúan entre las presas; el represamiento retiene materia orgánica, relacionada a la presencia de ganado, lo que también podría estar relacionado con la presencia de coliformes fecales en la zona C, además del tránsito de los animales silvestres presentes en la zona.

Se identificaron 14 especies de plantas macrófitas, distribuidas en 10 familias, en los transectos muestreados (Fig. 5). Se constató la presencia de macrófitas acuáticas beneficiosas para la depuración de las aguas, según el convenio RAMSAR (www.ramsar.org 1971). En cuanto a la diversidad, en la zona A se obtuvo un índice H' = 0.97 siendo predominantes la totora (*Typha* sp.) y el piri (*Cyperus* sp.); en el transecto B se obtuvo un índice de diversidad H' = 1.61 también con predominancia de totora y piri; el transecto C obtuvo un valor de H' = 1.26 con predominancia de piri y camalote (*Eichhornia* sp.), sin presencia de totora. Los niveles más altos en diversidad y con mayor número de individuos aparecen en el transecto B, pudiendo estar relacionado con el exceso de NTK y PT, por mayor presencia de nutrientes.

Tabla 2. Resumen de los resultados de los servicios ecosistémicos analizados.**Table 2.** Summary of the outcomes of the analyzed ecosystem services.

Servicio ecosistémico	Resultados
Captura de carbono en el humedal	0.32 kg C/m ² en invierno, 0.31 kg C/m ² en primavera. Conservación del humedal "buena" según parámetros del índice ECELS, con mejor estado entre las presas (zona B).
Calidad del agua del humedal	pH entre 6.06 y 6.33. Muestras con parámetros anormales: - NTK: en zona B 0.66 mgN/l y 0.736 mg/l. - PT: en zona B: 0.66 mgN/l y 0.736 mg/l. - OD: baja disponibilidad en los puntos 2 y 3 de zona C, con valor de 4.8 mgO ₂ /l. Exceso de coliformes en la zona C: 27 500 UFC/100 ml coliformes totales y 11 000 UFC/100 ml coliformes fecales. Acuáticas flotantes en los puntos de mayor contenido en P, indicio de eutrofización. Presencia de macrófitas secuestradoras de metales pesados, positivo.
Conectividad funcional entre parches boscosos	El 19.8% de la superficie del área de estudio es apta como hábitat para el mono aullador (<i>Alouatta caraya</i>). La conectividad general para la especie estudiada es del 78.5%, la cual se considera de "buena" a "muy buena".
Valoración del sistema silvopastoril: captura de carbono y potencial forrajero	Captura de carbono: A. CO ₂ en palmar: 24.52 t de CO ₂ equivalente/ha/año. 14 834,6 t de CO ₂ total en potrero. B. CO ₂ en bosque: 254.08 t de CO ₂ equivalente/ha/año. 30 231 t de CO ₂ total en potrero. Valor económico de la captura de carbono (bonos de carbono): A. Palmar: 12.97 USD/ha; total potrero: 7862.33 USD. B. Bosque: 134 USD/ha; total potrero: 16 022 USD. Potencial forrajero: A. Palmar: 3612 kg pasto/ha/año, 42.75% promedio de materia seca, 4.82% proteína bruta, 47.3% fibra detergente ácida y 80.5% fibra detergente neutra. B. Bosque: 973 kg/ha/año, 28.38% promedio de materia seca, 14.6% proteína bruta, 35.81% fibra detergente ácida y 67.7% fibra detergente neutra.
Infiltración y evaporación del agua	- Infiltración según el tipo de vegetación (media ± desviación típica) Bosque mixto: 156.7 ± 184.8 mm/h; Quebrachal: 32.3 ± 51.4 mm/h; Pajonal: 43.3 ± 16 mm/h; Pasto bajo: 0.67 ± 1.2 mm/h - Infiltración según la distancia al árbol En la base del tronco: 127.3 ± 185.9 mm/h. En la proyección de la copa hacia el pasto: 11.5 ± 16.4 mm/h. Fuera de la influencia del árbol: 22 ± 25.5 mm/h - Evaporación según el tipo de vegetación Bosque mixto: 1.3 ± 0.4 ml/h; Quebrachal: 1.3 ± 0.3 ml/h Pajonal: 2.3 ± 1.2 ml/h; Pasto bajo: 8 ± 2.5 ml/h

Conectividad funcional entre parches boscosos

Se identificaron un total de 19 unidades de vegetación. El 19.8% de la superficie de la finca estudiada resultó apta como hábitat potencial del mono aullador, con teselas de quebrachal, bosque ripario, bosque de *Sapium* y bosque de transición. Teniendo en cuenta la capacidad de dispersión de *Alouatta caraya*, que se calculó en 333 m alrededor de cada parche de bosque, se obtuvieron cinco agrupaciones de teselas que la especie percibe como aisladas entre sí (C1, C2, C3, C4 y C5). La conectividad global es del 78.5%, según los parámetros del Índice ECA/superficie habitable, lo que supone una conectividad del hábitat muy alta (Fig. 6).

Valoración de sistema silvopastoril: captura de carbono y producción forrajera

En el sistema silvopastoril de palmar el inventario resultó en un total de 151 individuos de *Copernicia alba*, con un diámetro a la altura del pecho (DAP) entre 11.7 y 29.3 cm. El 59% de los individuos

presentó el DAP >20 cm y el 65% de los individuos presentaron una altura de entre 5 y 10 m. En el sistema silvopastoril de bosque se encontraron 219 individuos pertenecientes a 25 familias, 42 géneros y 45 especies, con un DAP entre 10.1 y 131.1 cm y una altura entre 1.5 y 14 m.

La biomasa aérea del palmar fue de 2.80 t y la radicular de 0.75 t. El pasto *Hemarthria altissima* tiene valor nutritivo y palatabilidad altos (FAO 2011). La producción de pasto resultó en 3612 kg/ha/año, con un promedio de 42.75% de materia seca, 4.82% de proteína bruta, 47.3% de fibra detergente ácida y 80.5% de fibra detergente neutra. La biomasa aérea del bosque fue de 29 t y la radicular de 7.70 t. La especie *Andropogon lateralis* tiene buena aceptabilidad y valor forrajero alto, excepto cuando forma cañas erectas y con restos secos, lo que la hace perder valor nutritivo (FAO 2011). Los resultados del valor forrajero en este sistema fueron de 973 kg/ha/año, con un promedio de 28.38% de materia seca y 14.6% de proteína bruta. Por último, los valores promedios de fibra detergente ácida y fibra detergente neutra fueron de 35.81% y 67.7%, respectivamente.

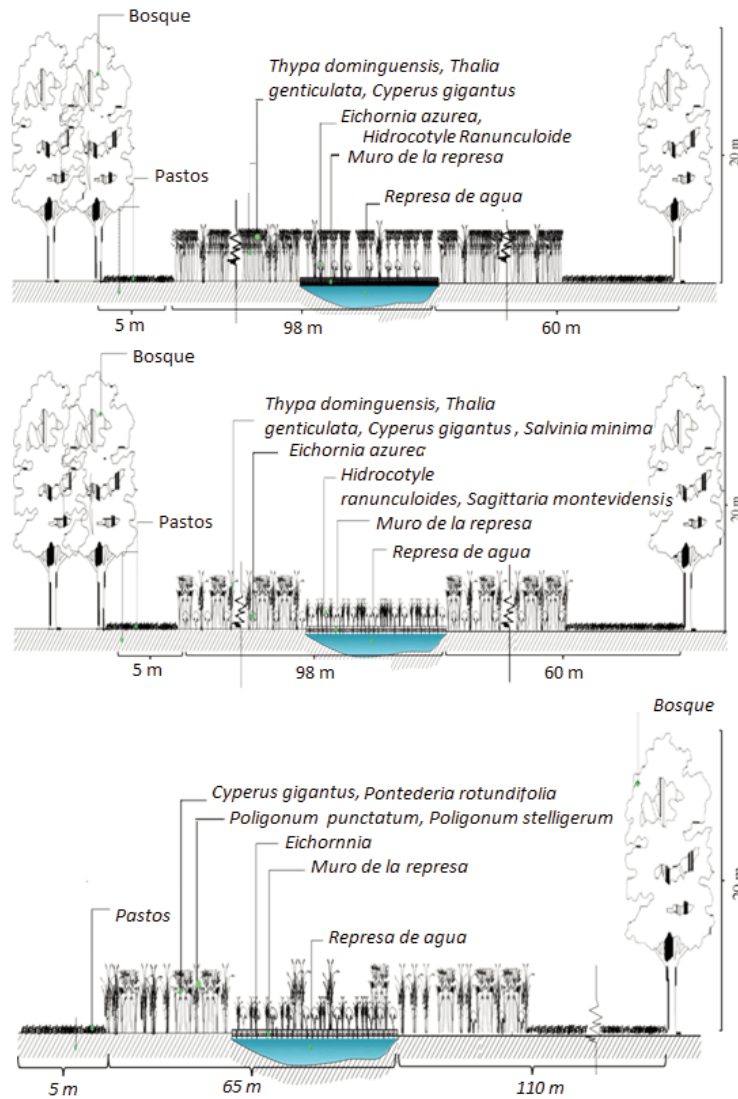


Figura 5. Perfil de los transectos del estudio de macrófitas en el humedal.
Figure 5. Transects profile of the macrophytes wetland study.

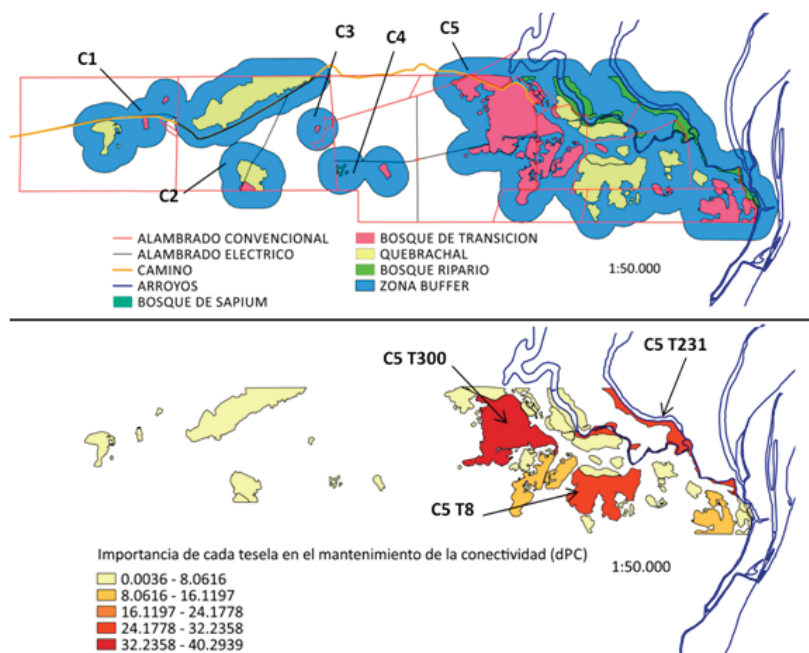


Figura 6. Cartografía de las cinco agrupaciones de teselas identificadas y las zonas buffer establecidas a 333 m (arriba); y cartografía de la importancia individual de las teselas de hábitat para el mantenimiento de la conectividad tras aplicar el índice PC (abajo).

Figure 6. Cartography of 5 groups of patches identified and established buffer areas at 333 m (up); and cartography of the individual importance of habitat patches for the maintenance of connectivity after application of the PC index (below).

El secuestro de carbono en el palmar fue de 24.52 t de CO₂/ha/año, suponiendo un valor económico de 12.9 USD por ha; en las 605 ha de palmar hay 14 834.6 t de CO₂ equivalente con un valor de 7862.33 USD en términos de bonos de carbono. En el bosque el secuestro de carbono fue de 254.08 t de CO₂/ha/año, suponiendo un valor económico de 134 USD por ha; en las 119 ha de bosque hay un promedio de 30 231 t de CO₂ equivalente con un valor de 16 022 USD en bonos de carbono.

Infiltración y evaporación del agua

La mayor infiltración de agua en el suelo se obtuvo en los bosques mixtos, con una tasa de 156.67 mm/h y una cantidad total de agua infiltrada durante el ensayo de 974 mm. La menor capacidad de infiltración fue en los pastos bajos, con tasas de 0.67 mm/h y una cantidad total de agua infiltrada de 4.40 mm. Del mismo modo, los mayores valores de infiltración fueron en la base del árbol, con tasas de 127.33 mm/h y una cantidad total de agua infiltrada de 883.33 mm, y los más bajos en la zona límite de la proyección de la copa hacia el pasto, con tasas de 11.50 mm/h y una cantidad de agua infiltrada de 62.42 mm. Se encontraron diferencias significativas entre la infiltración en la base del tronco y otros puntos a diferentes distancias entre este y el pasto. El suelo resultó ser muy homogéneo en todo el gradiente estudiado, siendo en general franco-arcillo-arenoso y con un contenido de humedad medio de 20.8%.

Los resultados muestran que la evaporación es más lenta en los bosques (1.3 ml/h) que en los pastos (pajonal: 2.3 ml/h; pasto bajo: 8 ml/h). Se encontraron diferencias significativas entre los pastos bajos y el resto de tipos de vegetación.

Discusión y medidas correctoras

A nivel local existen aún pocas experiencias publicadas sobre servicios ecosistémicos, se destacan entre ellos las evaluaciones realizadas por [Rivarola y Amarilla \(2015\)](#) que buscaron determinar la presencia o ausencia de los servicios en humedales en un área de conservación al Norte de Paraguay, en la eco-región Pantanal, además de aportar una valoración económica de los servicios de provisión. Por otro lado, [Kopcow et al. \(2017\)](#) presentaron un lis-

tado y valoración de servicios ecosistémicos en humedales y bosques. Si bien estos trabajos logran ofrecer información relevante para la gestión de los sitios donde se han llevado a cabo, por el carácter de zona productiva (ganadería) del presente trabajo, se dificultan las comparaciones. Adicionalmente, mientras que estos trabajos han abarcado una gama amplia de servicios ecosistémicos, intentando obtener un panorama general, el presente trabajo se ha enfocado en unos pocos, aunque con mayor profundidad (en cuanto a cuantificación). Un estudio más, el de [Insfrán et al. \(2017\)](#) aborda principalmente la percepción que tiene la comunidad de los servicios ecosistémicos ofrecidos por los humedales, profundizando en cómo la población interpreta y reconoce estos beneficios. Si bien cercanos geográficamente, no hemos encontrado trabajos sobre servicios ecosistémicos publicados hasta ahora sobre el Chaco Húmedo en Paraguay.

Los servicios ecosistémicos de regulación hídrica y captura de carbono han sido estudiados en diversas investigaciones ([Mesa-Jurado 2016](#); [Palomino y Cabrera 2012](#); [Houghton 1991](#); [Sedjo y Solomon 1991](#), entre otros), resaltando que la conservación del bosque y su manejo controlado contribuyen al secuestro de carbono y a la regulación hídrica y edáfica. Sin embargo, estos servicios son alterados por la presencia de ganado ([Magnano et al. 2013](#); [Denoia et al. 2011](#); [Mereles 2006](#); [Noy-Meir 2005](#)) ya que modifica las condiciones de la vegetación y del suelo, produciendo compactación y contaminación de aguas superficiales y sub-superficiales. Se están desarrollando técnicas para la conservación y restauración de estos servicios en entornos agropecuarios, con estrategias que concilian diferentes usos de la tierra ([Mereles et al. 2014](#); [Rey-Benayas 2012](#)) y catálogos de especies nativas ([Vázquez et al. 1999](#)), como la plantación de islotos forestales, cercas vivas y árboles dispersos o la creación de charcas ([Harvey et al. 2003](#); [Pedraza et al. 2008](#); [Rey-Benayas et al. 2008](#); [Penman et al. 2003](#)).

De acuerdo con esta filosofía y a partir de los resultados presentados, se proponen las siguientes recomendaciones o medidas correctoras para mitigar los efectos negativos de la ganadería y así mantener la provisión de los servicios ecosistémicos (incluida la producción ganadera) y la biodiversidad local en el área de estudio ([Fig. 7](#)).

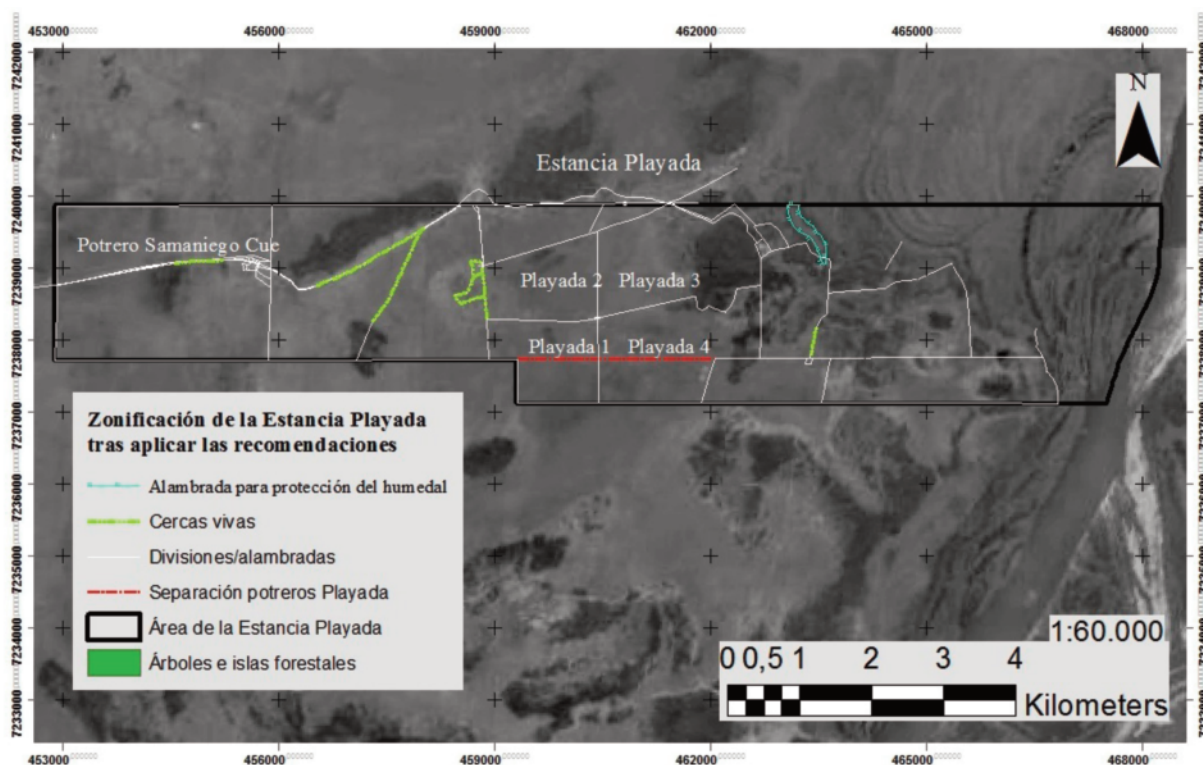


Figura 7. Cartografía de las recomendaciones para la mejora de los servicios ecosistémicos y del manejo sostenible en el área de estudio.
Figure 7. Cartography of the recommendations for the improvement of ecosystem services and sustainable management in the study area.

Protección de humedales y sustitución de alambradas por cercas vivas de especies forestales y arbustivas nativas

A la luz de los resultados de la calidad de agua entre las presas, asociados al paso del ganado y al estancamiento de las aguas, se recomienda cerrar el acceso al ganado en esta área para contribuir a una disminución del impacto de la ganadería en la calidad del agua. La instalación de alambradas convencionales es una medida costosa y que requiere de insumos externos y locales (por ejemplo, postes de arbustos de *Prosopis nigra* o incluso algunos de quebracho *Schinopsis balansae*). Por ello una necesidad es desarrollar técnicas de cercas vivas para esta región. Adicionalmente, las cercas vivas podrían contribuir a mejorar la conectividad y la provisión de hábitat de especies arborícolas. Por ejemplo, según el estudio de conectividad para *Alouatta caraya*, quedan aisladas algunas isletas forestales (C1-C4; Fig. 6), pero son lo suficientemente cercanas entre sí para hacer factible la mejora de la conectividad con actuaciones como la plantación de corredores de cercas vivas e islotas forestales. No hemos encontrado literatura específica sobre conectividad funcional para el mono aullador en paisajes similares. Además, de acuerdo a los resultados, la plantación de árboles en cercas mejoraría las condiciones de infiltración en los pastizales circundantes, creando zonas secas durante más tiempo, espacio que podría ser aprovechado como refugio por el ganado. Medidas similares, como cinturones de árboles que capturan la escorrentía al pie de las laderas han sido eficaces en otras partes del mundo (Ellis et al. 2006).

El uso de tres especies comunes en el área de estudio podría resultar eficaz para estos propósitos: en primer lugar el quebracho colorado (*Schinopsis balansae*), con madera de elevada calidad; en segundo lugar el guayabo (*Psidium guayaba*), que además de su alta supervivencia en potreros y su resistencia al pisoteo (Somarriva 1995) proporciona alimento para personas y animales silvestres; y en tercer lugar, el algarrobo negro (*Prosopis nigra*), que proporciona leña, sus vainas son comestibles para personas y animales y al ser una leguminosa aporta nitrógeno al suelo (Danso et al. 1992; Sciammaro 2015). Otra especie que podría ser valiosa debido a su resistencia a las inundaciones es *Albizia inundata*. Sin embargo, es necesario continuar investigando para desarrollar técnicas integrales de cercas vivas compatibles con los limitantes ecológicos y productivos (inundaciones, sequías ocasionales, incendios, costos para la unidad productiva y resistencia al pastoreo, entre otros) de esta región.

La puesta en valor del modelo de producción

Al no hacer uso de pastos exóticos de mayor productividad, la producción cárnica en el área de estudio es menos competitiva que las explotaciones convencionales, dando terneros de menor peso e incluso haciendo no rentable el engorde debido a la mayor cantidad de años necesarios para el crecimiento (Laino et al. 2017). Se recomienda poner el modelo en valor con énfasis en el mercado del carbono y el pago por servicios ecosistémicos (Greiber 2010; FAO 2009; Restrepo et al. 2007). Al mismo tiempo sería recomendable crear una certificación ecológica o de responsabilidad ambiental teniendo en cuenta que la asignación de un precio al carbono representa una de las mejores políticas ambientales de los últimos años (Wunder et al. 2007). No obstante, se advierte de la monetización exclusiva de los servicios ecosistémicos, existiendo otras aproximaciones complementarias para la puesta en valor (Costanza et al. 2017). Se requiere de una combinación de procesos de valoración monetarios y no monetarios y procesos de evaluación deliberativos para poder generar opciones sostenibles (Kenter et al. 2015). Así mismo, si bien los enfoques exclusivamente económicos pueden hasta cierto punto interpretar a los servicios ecosistémicos en métricas comprensibles para el público, por el otro lado obstaculizan la descripción de los componentes culturales (Loc et al. 2018) y aún persiste el reto de valorar servicios ecosistémicos de bienes no materiales (Small et al. 2017).

Limitaciones del presente estudio

En la actualidad, la literatura reconoce la necesidad de integrar evaluaciones biofísicas, económicas y socio-culturales para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el manejo integrado de ecosistemas (Burkhard et al. 2010). Sin embargo, el presente trabajo se ha enfocado principalmente en algunas evaluaciones de tipo biofísico y en un caso económico, lo cual podría representar limitantes para su aplicación. Si bien algunos trabajos localmente podrían servir, en conjunto con este, para enriquecer las propuestas de manejo (Laino et al. 2017), aún son necesarias más investigaciones que abarquen otros servicios ecosistémicos no abordados en la literatura, en especial para el Chaco Húmedo.

Conclusiones

Los datos de estas investigaciones mostraron que el área de estudio tiene un estado de conservación bueno debido a la diversidad de unidades del paisaje, la provisión de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad caracterizada. Algunos indicadores de servicios ecosistémicos mostraron signos negativos relacionados con la producción ganadera y la alteración antrópica, como es la contaminación del agua en algunos puntos del humedal, asociada a la presencia de ganado y al estancamiento del agua. La infiltración resultó más deficiente en los pastos que en los bosques, lo que supone un problema en el manejo del ganado, debido a los encharcamientos. El sistema silvopastoril de palmar tiene un mayor valor forrajero respecto al sistema de bosque, mientras que el secuestro de carbono en el bosque resultó tener un valor económico que supera en más del doble al de palmar a pesar de ocupar una superficie seis veces menor.

Se han propuesto soluciones para mejorar los servicios ecosistémicos evaluados y mitigar los efectos de la ganadería como la sustitución de alambradas por cercas vivas y la instalación de alambradas para protección de los humedales. Este estudio de caso podría servir como ejemplo de gestión adaptativa para otras explotaciones similares del Chaco Húmedo. En el marco del manejo ecosistémico se requieren más investigaciones sobre la provisión de otros servicios en el mismo sitio de estudio como son la polinización, el reciclaje de nutrientes, la presencia de plantas medicinales y los recursos genéticos, entre otros, incluidos los servicios económicos y socioculturales.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo recibido de los ganaderos de la región. También, agradecemos al personal de la Estancia Playada en particular a la familia Roa-Castillo que apoyaron en los trabajos de campo y a Fernando Viñegla por su apoyo en las mediciones de infiltración. Adicionalmente agradecemos a los árbitros anónimos de este artículo quienes nos han ayudado a enriquecerlo y mejorarlo de manera sustancial.

Referencias

- Abarca, F.J. 2007. Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. En: Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez-Huitzil, R., Zambrano, L. (eds.). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*, pp. 113-144. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). México, D.F., México.
- Agencia Catalana del Agua 2009. *Índices de calidad del agua*. Cataluña. [Disponible en: http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/directiva_marc/ZH_2010_A2_ECELS.pdf].
- Alamgir, M., Turton, S., Macgregor, C., Lesley, P. 2016. Ecosystem services capacity across heterogeneous forest types: understanding the interactions and suggesting pathways for sustaining multiple ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 566-567:584-595.
- Andrade, H., Ibrahim, M. 2003. ¿Cómo monitorear Carbono en sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* 10:39-40.
- Bargués, A., Reese, H., Almaw, A., Bayala, J., Malmer, A., Laudon, H., Istedt, U. 2014. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability

- in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. *Water Resources Research* 50(4):3342-3354.
- Benegas, L., Ilstedt, U., Rounsardc, O., Jones, J., Malmer, A. 2014. Effects of trees on infiltrability and preferential flow in two contrasting agroecosystems in Central America Agriculture. *Ecosystems and Environment* 183:185-196.
- Bravo, S.P., Sallenave, A. 2003. Foraging behavior and activity patterns of *Alouatta caraya* in the Northeastern Argentinean Flooded Forest. *International Journal of Primatology* 24:825-846.
- Burkhard, B., Petrosillo, I., Costanza, R. 2010. Ecosystem services – bridging ecology, economy and social sciences. *Ecological Complexity* 7(3):257-259.
- Chapman, C.A., Peres, C.A. 2001. Primate conservation in the new millennium: the role of scientists. *Evolutionary Anthropology* 10:16-33.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. Paruelo, J. Raskin, R., Sutton, P., van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski I., Fioramonti, L. Sutton, P., Farber S., Grasso, M. 2017. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services* 28:1-16.
- Crockett, C.M., Eisenberg, J.F. 1986. Howlers: Variation in group size and demography. En: Smuts, B.B., Cheney, D.L., Seyfarth, R.M., WR, R.W. (eds.). *Primates Societies*, pp. 54–68. University of Chicago, Chicago, Estados Unidos.
- Danso, S.K.A., Bowen, G.D., Sanginga, N. 1992. Biological nitrogen fixation in trees in agroecosystems. *Plant and Soil* 141(1-2):177-196.
- Denoia, J., Sosa, O., Zepa, G., Martín, B. 2011. Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. *Pastos* 30(1):129-141.
- Drubbel, R.V., Gautier, J.P. 1993. On the occurrence of nocturnal and diurnal loud calls, differing in structure and duration, in red howlers (*Alouatta seniculus*) of French Guyana. *Folia Primatologica* 60:195–209.
- Ellis, T.W., Leguédou, S., Hairsine, P.B., Tongway, D.J. 2006. Capture of overland flow by a tree belt on a pastured hillslope in south-eastern Australia. *Australian Journal of Soil Research* 44:117-125.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 2009. *Pago por Servicios Ambientales en Áreas Protegidas en América Latina*. [Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i0822s.pdf>].
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 2011. *Perfiles por país del recurso Pastura/Forraje* (en línea). Consultado 5 ene 2014. [Disponible en http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/counprof/PDF%20files/Paraguay_Spanish.pdf]
- Fedigan, L.M., Rose, L.M., Morera Avila, R. 1998. Growth of mantled howler groups in a regenerating Costa Rican dry forest. *International Journal of Primatology* 19:405-432.
- Fernández-Duque, E., Wallace, R.B., Rylands, A.B. 2008. *Alouatta caraya*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. [Disponible en <http://www.iucnredlist.org>].
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Helkowski, J.H. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309(5734):570-574.
- Greiber, T. 2010. Pagos por Servicios Ambientales: Marcos Jurídicos e Institucionales. *Serie de Política y Derecho Ambiental*, UICN, [Disponible en: http://cmsdata.iucn.org/downloads/eplp_78_sp.pdf].
- Harvey, C.A., Villanueva, C., Villacis, J., Chacón, M., Muñoz, D., López, M. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería en las Américas*, 10:30-39.
- Houghton, R.A. 1991. Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide. En: Myers, N. (ed.), *Tropical Forests and Climate*, pp. 99-118. Headington, Oxford, Reino Unido.
- Huang, C., Kim, S., Song, K., Townshend, J.R.G., Davis, P., Altstatt, A., Rodas, O. 2009. Assessment of Paraguay's forest cover change using Landsat observations. *Global and Planetary Change* 67(1):1-12.
- Hueck, K., Seibert, P. 1972. Vegetationsmonographien der einzelnen Grossraume (Bd. 2a). Vegetationskarte von Südamerika: Mapa de la Vegetación de America del Sur. *Vegetationsmonographien der einzelnen Grossraume* (Bd. 2a). [Disponible en <http://library.wur.nl/WebQuery/clc/377560>].
- Insrán, A., Aparicio, M.J., Romero, A.C., Campos, S. 2017. Ecología humana, humedales y servicios ecosistémicos: el caso de la comunidad Nueva Asunción. En: Insrán A., Aparicio, M. J., Gomes, R. (coord.). *Ecología Humana Contemporánea: apuntes y visiones en la complejidad del desarrollo*. San Lorenzo, Paraguay. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 460 p.
- Kenter, J., O'Brien, L., Hockley, N., Ravenscroft, N., Fazey, I., Irvine, K., et al. 2015. What are shared and social values of ecosystems? *Ecological Economics* 111:86-99.
- Kopcow, R., Amarilla, S., González, J. 2017. Servicios ecosistémicos en humedales y bosques de la Reserva Natural Morombí, Paraguay. *Paraguaria Natural* 5(2):32-36.
- Laino, L., Musalem, K., Laino, R. 2017. Perspectivas para un desarrollo sustentable: un estudio de caso de producción ganadera en la región del Chaco Paraguayo. *Población y Desarrollo* 23(45):95-106.
- Loc, H.H., Ballatore, T.J., Irvine, K.N., Thi Hong Diep, N., Thi Cam Tien, T., Shimizu, Y. 2018. Socio-geographic indicators to evaluate landscape Cultural Ecosystem Services: A case of Mekong Delta, Vietnam. *Ecosystem Services* 31C:527-542.
- Magnano, A., Vicari, R., Astrada, E., Quintana, R. 2013. Ganadería en humedales: Respuestas de la vegetación a la exclusión del pastoreo en tres tipos de ambientes en un paisaje del Delta del Paraná. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes* 5:137-148.
- Melo, F., Arroyo-Rodríguez, V., Fahrig, L., Martínez-Ramos, M., Tabarelli, M. 2013. On the hope for biodiversity-friendly tropical landscapes. *Trends in Ecology and Evolution* 28(8):462-8.
- Mereles, F. 2004. Los humedales del Paraguay: principales tipos de vegetación. En: Salas-Dueñas, D., Mereles, F., Yanosky, A. (eds.) *Humedales del Paraguay*, pp. 67–87. Comité Nacional de Humedales. Asunción, Paraguay.
- Mereles, F. 2006. La diversidad, los usos y la conservación de las especies vegetales en los humedales del Paraguay. *Rojasiana* 7(2):171-185.
- Mereles, F., de Albertini, A.W., Vera-Alcaráz, H.S. 2014. Perspectivas para una visión de biodiversidad en el chaco boreal, Paraguay. En: Fernandez-Reyes, L., Vanina-Volpedo, A., Salgot-de Marçany, M. (eds.), *Evaluación ambiental integral de ecosistemas degradados de Iberoamérica: experiencias positivas y buenas prácticas*, pp 43-58. CYTED, Asunción, Paraguay.
- Mesa-Jurado, M.A. 2016. Servicios ecosistémicos de la cuenca Grijalva-Usumacinta. *Ecofronteras* 20(56):2-6.
- MEA (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio) 2005. *Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua*. Informe de Síntesis. World Resources Institute. Washington, Estados Unidos. 80pp.
- Mongil-Manso, J., Díaz, J., Cruz, V. 2015. Nuevo infiltrómetro inundador para test de infiltración económico en terrenos agroforestales y espacios verdes. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 41:281-290.
- Noy-Meir, I. 2005. Producción ganadera y conservación de la biodiversidad: conflictos y soluciones. En: *Monográfico del 3º Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales*, 1-6 pp. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Oakley, L., Prado, D. 2011. El dominio de los bosques secos estacionales neotropicales y la presencia del arco Pleistocénico en la República del Paraguay. *Rojasiana* 10(1):55-75.
- Palomino, D., Cabrera, C. 2012. Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de Perú* 10(20):49-59.
- Paraguay 2002. Resolución N° 222/02 por la cual se establece el padrón de calidad de las aguas en el territorio nacional Asunción, 22 de abril de 2002. [Disponible en: http://www.seam.gov.py/sites/default/files/resolucion_222_02.pdf].
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R. Wagner, F. 2003. *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Institute for Global Environmental Strategies para el IPCC. Kanagawa, Japón.
- Pedraza, G.X., Giraldo, L.P., Chará, J. 2008. Efecto de la restauración de corredores ribereños sobre características bióticas y abióticas de quebradas en zonas ganaderas de la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Zootecnia tropical* 26(3): 1-4.
- Restrepo, E.M., Ibrahim, M., Zapara-Cadavid, A., Mejía, C.E., Felipe-Zuluaga, E., Calle, Z. Fajardo, D., Cuartas, C., et al. 2007. Aplicación de

- pagos por servicios ambientales en agroecosistemas ganaderos en el proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas en Colombia. En: Ortega, S.C. (ed.), *Reconocimiento de los Servicios Ambientales. Una oportunidad para la gestión de los recursos naturales en Colombia*, pp. 117-133. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, Colombia.
- Rey-Benayas, J.M. 2012. Restauración de campos agrícolas sin competir por el uso de la tierra para aumentar su biodiversidad y servicios ecosistémicos. *Investigación Ambiental* (INECC) 4(1):101-110.
- Rey-Benayas, J.M., Bullock, J.M., Newton, A.C. 2008. Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(6):329-336.
- Rivarola J.A., Amarilla, S. M. 2015. Servicios ecosistémicos y potencial económico de los humedales de la estación biológica Tres Gigantes. *Paraguay Natural* 3(2):12-18.
- Saura, S., Rubio, M.L. 2009. *Conefor Sensinode, una nueva herramienta para el análisis de la conectividad de los bosques: fundamentos y experiencias de aplicación*. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Ávila, España.
- Saura, S., Rubio, M.L. 2010. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography* 33:523-537.
- Sciammaro, L.P. 2015. Caracterización fisicoquímica de vainas y harinas de algarrobo (*Prosopis alba* y *Prosopis nigra*). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina. 273 p.
- Sedjo, R.A., Solomon, A.M. 1991. Climate and forests. *International Nuclear Information System-IAEA*, 23(18):105-119
- SENDECO 2013. *Sistema electrónico de negociación de derechos de emisión de Dióxido de Carbono*. España. [Disponible en <http://www.senedeco2.com/>]
- Small, N., Munday, M., Durance, I. 2017. The challenge of valuing ecosystem services that have no material benefits. *Global Environmental Change*. 44:57-67.
- Somarriba Chávez, E. 1995. Guayaba en potreros: establecimiento de cercas vivas y recuperación de pasturas degradadas. *Agroforestería en las Américas (CATIE)* 2(6): 27-29.
- Urban, D.L., Keitt, T. 2001. Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. *Ecology* 82(5):1205-1218
- Vázquez, C., Batis, A., Alcocer, M., Díaz, M., Sánchez, C. 1999. *Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F., México.
- Walkley, A., Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37(1):29-38.
- Wilhm J.L., Donis T.C. 1968. Biological parameters for water quality criteria. *BioScience* 18:477-81.
- Wunder, S., Wertz-Kanounnikoff, S., Moreno-Sánchez, R. 2007. Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. *Gaceta Ecológica*, número especial 84-85:39-52.
- Yanosky, A. 2013. Paraguay's challenge of conserving natural habitats and biodiversity with global markets demanding for products. En: Raven, P.H., Sodhi, N.S., Gibson, L. (eds.), *Conservation Biology: Voices from the Tropics*. 113-119. Wiley Blackwell, Oxford, Reino Unido.