
ARTÍCULOS / ARTICLES

DIVERSIDAD Y CAPTURA DE CARBONO EN UN BOSQUE SECUNDARIO DE CALDÉN (*PROSOPIS CALDENIA*) EN LA PAMPA, ARGENTINA

Valeria Soledad Duval

Universidad Nacional del Sur (Argentina)
valeria.duval@uns.edu.ar

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9048-3058>

Rafael Cámara-Artigas

Universidad de Sevilla (España)
rcamara@us.es

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1046-3749>

Recibido: 06/11/2020; Aceptado: 19/07/2021; Publicado: 03/12/2021

Cómo citar este artículo/citation: Duval, Valeria Soledad y Cámara-Artigas, Rafael (2021). Diversidad y captura de carbono en un bosque secundario de caldén (*Prosopis caldenia*) en La Pampa, Argentina. *Estudios Geográficos*, 82 (291), e073. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202184.084>

RESUMEN: Los bosques poseen un rol clave en la mitigación del cambio climático ya que contribuyen a reducir los gases del efecto invernadero. Este trabajo tiene como objetivo conocer la diversidad, la biomasa y la captura de carbono de un bosque secundario de caldén (*Prosopis caldenia*) de la Argentina. Su importancia radica en ser una formación vegetal nativa y endémica que ha sido modificada a través de la historia por la valoración de sus recursos naturales. Para cumplir con el objetivo, se aplicó la metodología de REDD+ que consta de un inventario aleatorio de 10 parcelas circulares cuya superficie total es de 1 ha. Se seleccionó como área de estudio la Reserva Provincial Laguna Guatraché, provincia de La Pampa. Los resultados determinaron que el bosque de caldén contiene 156,4 Mg/ha de biomasa y la captura de carbono que realiza es de 78,2 t/ha. Conocer este valor contribuye a comprender los servicios ecosistémicos de este bosque y la importancia de su conservación.

PALABRAS CLAVE: stock de carbono; caldenal; biomasa; biodiversidad; cambio climático; conservación.

Diversity and carbon sequestration in a secondary forest of caldén (*Prosopis caldenia*) en La Pampa, Argentina

ABSTRACT: Forests play a key role in mitigating climate change as they contribute to reducing greenhouse gases. This work aims to know the diversity, biomass and carbon sequestration of a secondary forest of caldén (*Prosopis caldenia*) in Argentina. Its importance lies in being a native and endemic plant formation that has been modified throughout history by the valuation of its natural resources. To meet the objective, the REDD + methodology was applied, consisting of a random inventory of 10 circular plots with a total area of 1 ha. The Reserva Provincial Laguna Guatraché, province of La Pampa, was selected as the study area. The results determined that the Caldén forest contains 156.4 Mg/ha of biomass and the carbon capture it performs is 78.2 t/ha. Knowing this value contributes to understanding the ecosystem services of this forest and the importance of its conservation.

KEY WORDS: carbon stock; caldenal; biomass; biodiversity; climate change; conservation.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero con mayor concentración en la atmósfera (Paipa-Ríos y Triana-Gómez, 2018). Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en 2018 se registró una concentración de 407,8 partes por millón (ppm) (Christensen y Olhoff, 2019; Organización Meteorológica Mundial, 2019). Su incremento se debe a las actividades humanas, entre ellas la quema de combustibles fósiles y la degradación y eliminación de las masas forestales (Schlegel, 2001). Como consecuencia, se presentan diferentes estrategias a nivel mundial para reducir los gases del efecto invernadero (GEI) que contribuyen con el cambio climático. Uno de ellas está relacionada con la restauración y disminución de la deforestación. Esto se debe a que los ecosistemas forestales pueden ser empleados para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero debido a que su biomasa, a través del proceso de la fotosíntesis, capta dióxido de carbono (CO₂), fija el carbono (C) y libera el oxígeno a la atmósfera. De esta forma, los bosques se convierten en sumideros de C y regulan la concentración de CO₂ en la atmósfera. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018), las masas forestales absorben aproximadamente 2000 millones de toneladas de CO₂ cada año (Dixon, Brown, Houghton, Trexier y Wisniewski, 1994; Houghton, 2005).

Conocer el volumen de biomasa que poseen los bosques es clave para estimar el stock de carbono que pueden fijar (Vásquez y Arellano, 2012). Los bosques capturan, a través del ciclo del carbono, 296 gigatoneladas de C en la biomasa superficial y subterránea (FAO, 2016). Las plantas almacenan grandes cantidades de C en su madera, hojas, ramas y raíces y liberan oxígeno a la atmósfera y parte lo transfieren al suelo por descomposición (Montero, Ruiz-Peinado, Muñoz, 2005; Urdapilleta, 2018). A su vez, está comprobado que el stock de carbono en los bosques varía según sus características fisonómicas, la biomasa que poseen y su estado de desarrollo (Schlegel, 2001).

A nivel mundial existe el programa REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación) que tiene como objetivo estimular a los países en desarrollo para que contribuyan en la mitigación del cambio climático. Este programa se creó en el año 2008 y está dirigido por la FAO (Conservación Internacional Perú, 2019). Se enfoca en la reducción de las emisiones debidas a la deforestación y degradación forestal, la conservación de las reservas forestales de carbono, el incremento de las reservas forestales de carbono y la

ordenación forestal sostenible (FAO, 2018). Como producto de ello, se han publicado numerosos trabajos con metodologías sobre medición y monitoreo de carbono según el área en el cual son aplicadas (Gibbs y Brown, 2007; Honorio-Coronado y Baker, 2010; Hewson, Steininger y Pesmajoglou, 2014; Nayak *et al.*, 2019). De esta forma se busca contribuir a la base de datos sobre la captura de carbono en distintos sistemas forestales (Keith, Mackey y Lindenmayer, 2009).

En Argentina, el Gabinete Nacional de Cambio Climático, creado en el año 2016, elaboró el Plan de Acción Nacional de Bosques y Cambio Climático que representa el marco de acción del proceso de REDD+ con el apoyo del Programa Nacional ONU-REDD (Sanhueza y Antonissen, 2014). Esa herramienta propone la reducción de los gases del efecto invernadero y el establecimiento de acciones para incrementar su captura. Bajo este contexto se determinó la biomasa y el almacenamiento de carbono de las principales masas forestales del país: la Selva Misionera, la Selva Tucumana-Oranense, el Parque Chaqueño y el Espinal. Según la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS, 2019), los datos demuestran que la Selva Misionera es la que presenta mayor biomasa y fijación de carbono. Aun así, el conocimiento del carbono acumulado en los bosques nativos del país es escaso. Por otra parte, se determinó que la deforestación de los bosques nativos es una de las causas más relevantes en la emisión de los GEI en la Argentina, siendo el 15,6% (57,4 MtCO₂eq) del total de las emisiones (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2017). A través del Plan de Acción Nacional de Bosques y Cambio Climático se busca reducir las emisiones e incrementar la captura de los GEI asociados a la deforestación y degradación de los bosques nativos argentinos.

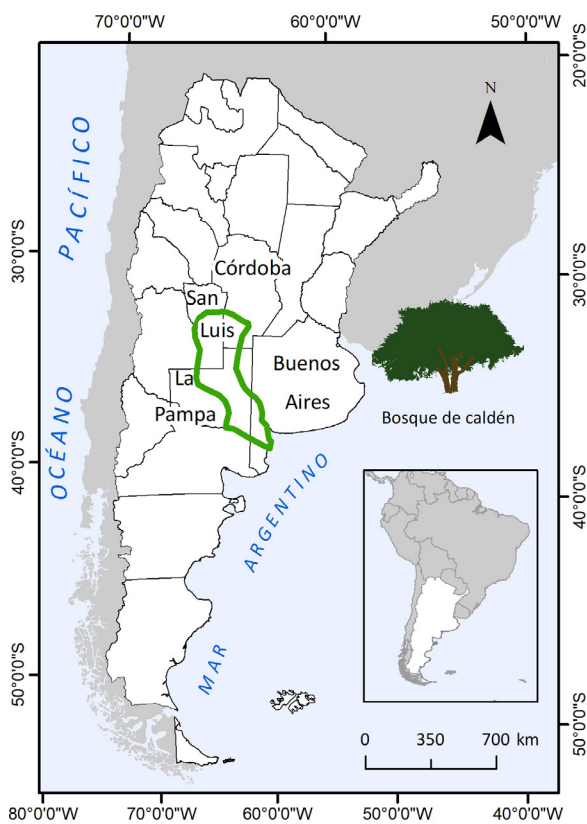
Considerando la importancia que adquiere en este contexto la conservación de los bosques en la mitigación del cambio climático, el trabajo tiene como objetivo conocer la diversidad, la biomasa y captura de carbono de un bosque secundario de caldén (*Prosopis caldenia*) de la provincia de La Pampa, Argentina. Su valor radica en ser un bosque nativo y endémico que ha sido transformado y degradado desde fines del siglo XIX y que actualmente se lo está revalorizando.

MÉTODOS Y MATERIALES

Área de estudio

El caldenal es un bosque endémico de la Argentina (Fig. 1) localizado en las provincias de Córdoba,

FIGURA 1
LOCALIZACIÓN DEL BOSQUE DE CALDÉN EN ARGENTINA



Fuente: Elaboración propia.

La Pampa, San Luis y Buenos Aires (Cabrera, 1976). Según Cano (1980), esta zona pertenece a la región oriental caracterizada por un clima semihúmedo-seco. La temperatura media anual es de 15 °C y las precipitaciones disminuyen de noreste a suroeste desde 600 a 450 mm, respectivamente. Son estacionales y se concentran principalmente desde octubre a marzo (SAyDS, 2007).

Desde el punto de vista fitogeográfico está representado por *Prosopis caldenia* (Fig. 2 A) cuyo nombre vulgar es caldén, árbol caducifolio de una altura promedio de 12 m. Está acompañado por otros árboles como *Prosopis flexuosa* (algarrobo), *Geoffroea decorticans* (chañar) y *Jodina rhombifolia* (sombra de toro). En el estrato arbustivo se identifican especies como *Condalia microphylla* (piquillín), *Lycium chilense* (yao-yín) y *Aloysia gratissima* (azahar del monte). El estrato herbáceo está representado principalmente por gramíneas, siendo los géneros predominantes *Stipa* y *Poa*. Existen diferentes fisonomías del bosque según las características ambientales (tipo de clima, relieve, actividades económicas, entre otras) en el cual se cir-

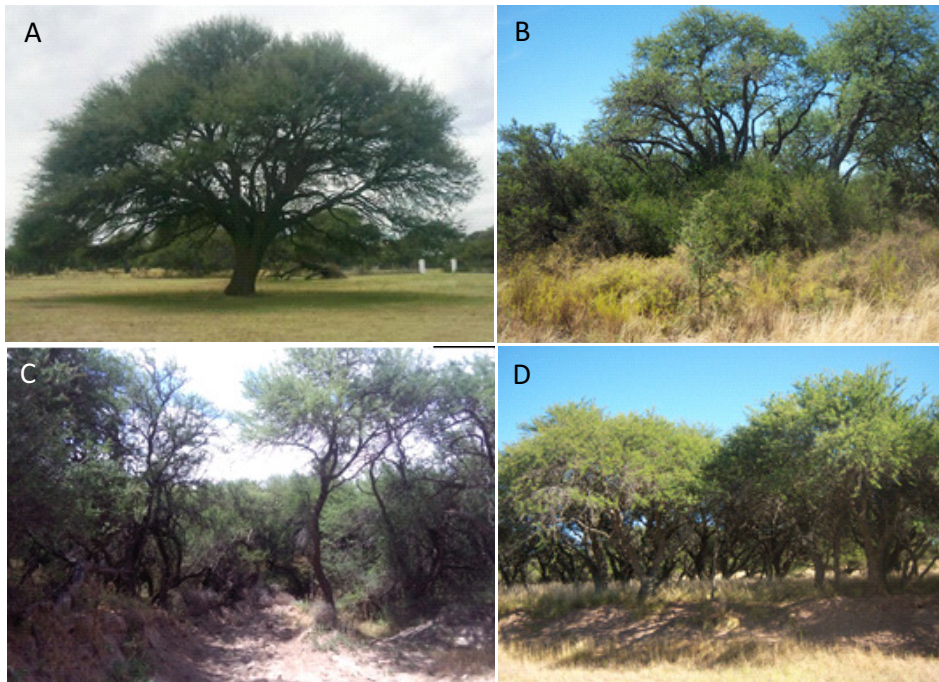
cunscriben. En algunas áreas, se desarrolla un bosque de caldén semiabierto con gran presencia de arbustos (Fig. 2B), en otras un bosque cerrado con predominio de arbustos (Fig. 2C) y finalmente un bosque abierto de caldén con herbáceas (Fig. 2D).

El bosque de caldén abarcaba originalmente más de 7 millones de ha (Cabrera, 1976). Se trataba de una formación arbórea con estructura horizontal, en el cual el caldén era el árbol representativo y estaba acompañado por un estrato herbáceo (SAyDS, 2007). En la actualidad se observa un bosque secundario, con mayor o menor grado de transformación según el sitio, que se encuentra fragmentado y presenta varias alteraciones en su fisonomía. Su superficie se redujo a poco más de 2 millones de ha en aproximadamente 150 años (Ambientum, 2018).

Las transformaciones en el caldenal comenzaron a final del siglo XIX, como producto de la actividad forestal con la cual se deforestaron miles de hectáreas de bosque con el objetivo de utilizar la madera del caldén para los durmientes del ferrocarril (SAyDS, 2007). En la actualidad, la provincia de La Pampa solo cuenta con el 18% de la superficie original de este bosque, que en su mayoría se halla en manos de privados y en la cual se desarrolla la ganadería bajo monte (Risio-Allione, 2012). Este último concepto se refiere a la práctica ganadera que incluye hacer pastar o ramonear a los animales en el bosque nativo. Solo en algunas áreas de esta provincia se ha logrado conservar las características del bosque nativo a través de espacios protegidos, por ejemplo se destacan la Reserva Provincial Parque Luro y la Reserva Provincial Laguna Guatraché.

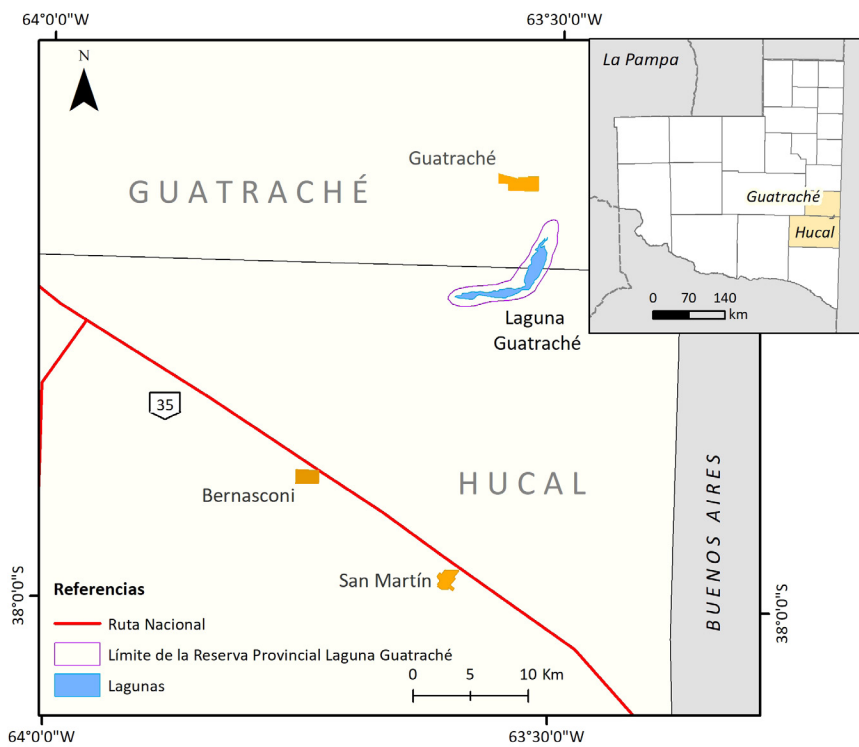
La selección del área de estudio se realizó priorizando fragmentos de caldenal que no fueran modificados en los últimos 50 años. Por esta situación los inventarios fueron realizados en la Reserva Provincial Laguna de Guatraché. Esta se localiza en el noreste del departamento de Hucal, provincia de La Pampa (Fig. 3). Se encuentra a 25 km de San Martín y a 35 km de Bernasconi, pueblos localizados sobre la Ruta Nacional nº 35. Según Cámara-Artigas, Díaz del Olmo y Martínez-Batle (2020), el régimen bioclimático al cual pertenece esta reserva es el Crio Mesófilo Subhúmedo-Seco. Esto implica que las condiciones de paralización vegetativa se deben a causas térmicas y no a causas hídricas. Esta zona es un fragmento del bosque de caldén modificado como consecuencia de la deforestación de fines del siglo XIX y principios del siglo XX con el objetivo de utilizar la madera del caldén para los durmientes del ferrocarril.

FIGURA 2
FISONOMÍA DEL BOSQUE DE CALDÉN



A. *Prosopis caldenia*; B. bosque semiabierto de caldén con presencia de arbustos; C. bosque de caldén cerrado con predominio de arbustos (Guatraché); D. bosque abierto de caldén con herbáceas. Fuente: fotografías de los autores, 2020.

FIGURA 3
LAGUNA GUATRACHÉ, LA PAMPA

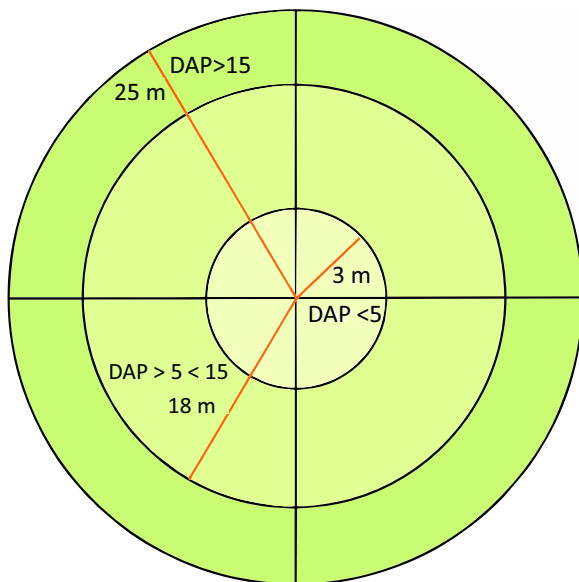


Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA

Se aplicó la metodología de REDD+ según la FAO (Hewson *et al.*, 2014) modificada por los autores, para el inventario de biomasa y el cálculo de stock de carbono de la parte aérea. El muestreo fue aleatorio y se realizaron 10 parcelas circulares anidadas de 1 ha de superficie total. En el círculo interior (A), de 3 m de radio se midieron las especies con DAP (diámetro a la altura del pecho) inferior a 5 cm, el siguiente (B) círculo anidado de 18 m con DAP entre 5 y 15 cm y el círculo mayor (C) de 25 m todos los individuos con DAP superior a 15 (Fig. 4). Con la información recopilada se obtuvo la biomasa (en Mg/ha⁻¹) a partir de las fórmulas alométricas de Chave *et al.* (2005) y la captura de carbono que se calcularon para 1 ha.

FIGURA 4
PARCELAS CIRCULARES ANIDADAS CON EL VALOR DEL DAP



Fuente: Elaboración propia.

Además se obtuvo la diversidad alfa de la comunidad que es la riqueza de especies de una muestra homogénea (Moreno, 2001). Se estableció la diversidad del caldenal mediante los modelos no paramétricos y paramétricos. Entre los modelos no paramétricos se aplicaron los siguientes índices:

- * De riqueza florística: el Índice de Margalef y el Índice de Menhinick.
- * De estructura, que se dividen en los de dominancia y equidad:
 - Dominancia: el Índice de Simpson y el Índice de Berger-Parker.

- Equidad: Índice de Equidad de Pielou y el Índice de diversidad de Shannon.

Los modelos paramétricos utilizados fueron: la curva rango-abundancia, los modelos de distribución, la curva k-dominancia y la distribución de Renyi. Estos últimos fueron calculados con el software estadístico R.

RESULTADOS

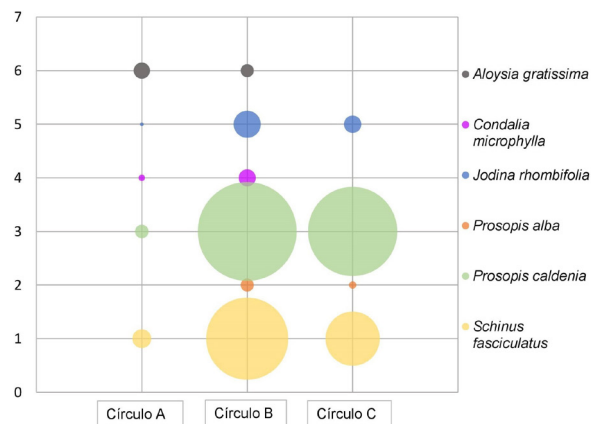
Análisis de biomasa y almacenamiento de carbono

Se contabilizaron 2152 árboles pertenecientes a la familia de *Fabaceae*, *Anacardiaceae*, *Santalaceae*, *Verbenaceae* y *Rhamnaceae*. Se identificaron 3 especies arbóreas (*Prosopis caldenia*, *Prosopis alba*, *Jodina rhombifolia*) y 3 arbustivas (*Aloysia gratissima*, *Condalia microphylla* y *Schinus fasciculatus*). Este bosque es un fragmento de caldenal secundario que no ha sido modificado en los últimos 40 años. Sin embargo es un bosque cuya fisonomía se ha visto degradada por la presencia de una mayor densidad de especies arbustivas.

En la Figura 5 se muestra la abundancia de especie según su DAP. Se observa que en el círculo A (DAP < 5), perteneciente al bosque reciente, predominan los arbustos. Mientras que en el círculo B (DAP > 5 < 15) y C (DAP > 15), relacionados a bosques más maduros, se destacan las especies arbóreas, principalmente *Prosopis caldenia*.

La biomasa total resultante fue de 156,4 Mg/ha mientras que la captura de carbono fue de 78,2 t/ha. El valor medio de CO₂ removido de la atmósfera fue de 281,5 t/ha. En la Tabla 1 se observan los valores de biomasa, C y captura de CO₂ por parcela. La biomasa

FIGURA 5
ABUNDANCIA DE ESPECIES SEGÚN SU DAP



Fuente: Elaboración propia.

varió de 50 a 232 Mg/ha mientras que el C, entre 28 y 116 t/ha. La parcela 5 fue la que presentó valores superiores de biomasa y de C en relación con las otras. Esto se debe a que fue la segunda parcela con mayor cantidad de individuos vegetales y estaba compuesta por fanerófitos de gran altura y con un DAP superior en cada círculo en relación con las restantes parcelas. La captura de CO₂ osciló entre 100 y 418 t/ha.

TABLA 1
BIOMASA, CARBONO Y CO₂ POR PARCELA EN LA RESERVA PROVINCIAL LAGUNA GUATRACHÉ

Parcela	Biomasa (Mg/ha)	Carbono (T/ha)	Captura (TCo ₂ /ha)
1	56,73	28,3	102,1
2	122,1	61	219,7
3	212,4	106,2	382,2
4	204,1	102,1	367,5
5	231,9	116	417,5
6	118,4	59,2	213,2
7	118,5	59,2	213,3
8	183,8	91,9	330,8
9	159,6	79,8	287,3
10	177,3	88,6	319,1

Fuente: Elaboración propia.

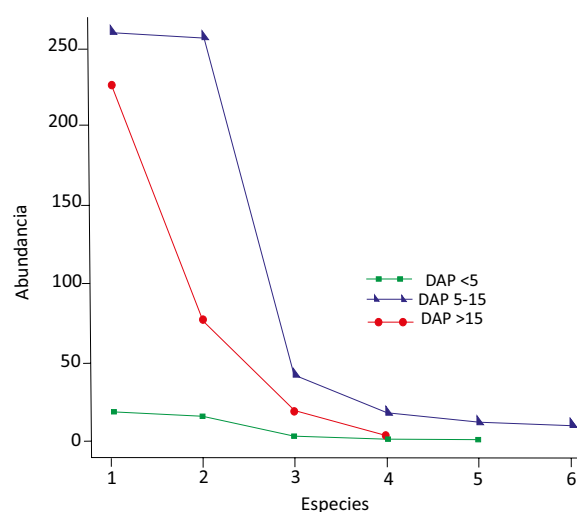
Análisis de la biodiversidad alfa

La aplicación de los modelos no paramétricos de diversidad permitieron establecer la diversidad de los sectores estudiados (círculos A, B y C). En relación con los índices de riqueza florística, se identificó que el círculo A posee los valores más elevados en comparación con los círculos B y C. Es decir, el bosque joven resultó ser el más diverso. Por otra parte, el índice de equidad de Shannon Weiner demuestra que el círculo A presentó el valor más elevado (1,3), seguido del B (0,9) y C (0,7). Por lo tanto, las especies del círculo A son las que están distribuidas homogéneamente en relación con su cantidad y en comparación con los otros círculos. El índice de Pielou resultó ser superior para el sector A (0,8) en contraposición al C (0,5). Por el contrario, el índice de dominancia de Simpson fue de 0,3 para el círculo A, 0,4 para el B y 0,6 para el C. Esto demuestra que el círculo C contiene más cantidad de individuos de una sola especie (dominante) mientras que las restantes son poco frecuentes. Este resultado es respaldado con el índice de Berger Parker que demuestra los valores más elevados en el círculo C.

Por otra parte, se obtuvieron los siguientes modelos paramétricos para reconocer la diversidad alfa: la cur-

va rango-abundancia, los modelos de distribución, la curva k-dominancia y la distribución Rényi. En la curva rango-abundancia (Fig. 6) se muestran las curvas de las tres categorías de DAP consideradas en la aplicación de la metodología en el bosque de caldén. En las curvas pertenecientes a las categorías de DAP superior a 15 y de 5 a 15 cm se observó una dominancia de una especie, *Prosopis caldenia*, por encima de los demás. Por el contrario, los árboles con DAP inferior a 5, pertenecientes al bosque joven, mostraron una mayor equidad y por ende una mayor diversidad.

FIGURA 6
CURVAS RANGO-ABUNDANCIA DEL BOSQUE DE CALDÉN

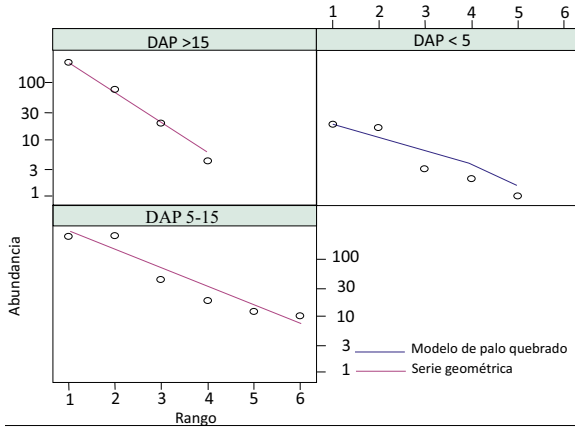


Fuente: Elaboración propia.

Los modelos de patrones de distribución representan la relación entre la cantidad de individuos que puede alcanzar una especie en una comunidad y la cantidad de recursos que se apropia. La especie que concentra la mayor cantidad de recursos en un área en el cual escasean, será menos diverso (Cámara-Artigas y Porto de Lima, 2015). En el área de estudio se identificaron dos modelos (Fig. 7): la serie geométrica (*Preemption*) y el modelo de palo quebrado (*Null*). La primera está representada por el bosque maduro vinculado con los árboles con DAP superiores a 5 cm (categorías DAP 5-15 y DAP >15). En este bosque hay pocas especies dominantes y las restantes son raras debido a que se encuentran en bajas proporciones. Entonces son las especies dominantes las que concentran la cantidad y variedad de recursos del ecosistema. Esta situación define una comunidad poco equitativa y por lo tanto menos diversa (Locey, 2015). El bosque más joven posee un modelo de vara quebrada que es más equitativo que el anterior. Las especies po-

seen una distribución que permite el acceso de forma igualitaria a los recursos presentes. Por otra parte, no hay superposición de los nichos entre las especies.

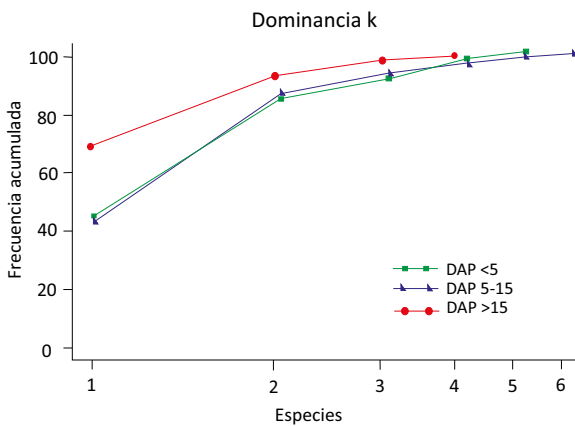
FIGURA 7
MODELO DE PATRONES DE DISTRIBUCIÓN EN EL BOSQUE DE CALDÉN



Fuente: Elaboración propia.

La curva K-dominancia muestra la tendencia de abundancia de una comunidad a lo largo del tiempo. Representa la capacidad que posee un subconjunto de especies para tolerar las perturbaciones del medio en comparación con aquellas que no puedan resistir y tiendan a desaparecer (Warwick, Clarke y Somerfield, 2009). La curva más pronunciada y elevada representa la menor diversidad de una comunidad en un espacio más perturbado. En el caso del bosque de caldén (Fig. 8), se observó que el conjunto de árboles con DAP menor a 5 cm es más diverso y está menos perturbado que el bosque maduro, con DAP superior a 15 cm.

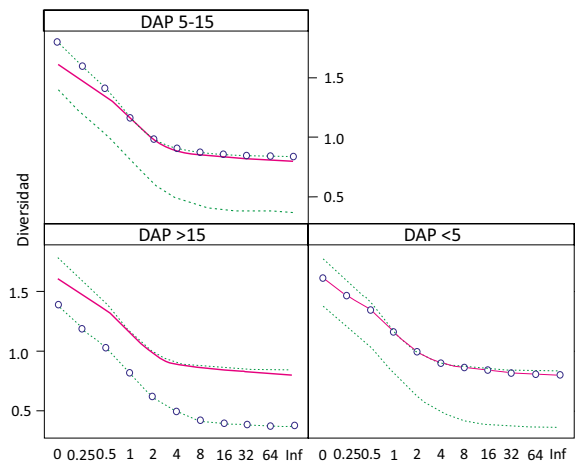
FIGURA 8
CURVA DE K-DOMINANCIA DEL BOSQUE DE CALDÉN



Fuente: Elaboración propia.

El perfil de diversidad de Rényi es una herramienta para ordenar la diversidad que sirve para clasificar las comunidades de menor a mayor diversidad (Kindt y Coe, 2005). El gráfico muestra las diversidades en función de la entropía y de la aleatoriedad. En el caso del área de estudio (Fig. 9), se determinó que la de mayor diversidad es el perteneciente al círculo B, es decir con DAP entre 5 y 15 cm. El menos diverso es el círculo C, en el cual se presentan los árboles con DAP superior a 15 cm.

FIGURA 9
DISTRIBUCIÓN RENEYI DEL BOSQUE DE CALDÉN



Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIONES

En Argentina, existe un informe que muestra los niveles de referencia de emisiones forestales del país (SAyDS, 2019). En este se precisan los valores de carbono de la Selva Misionera, la Selva Tucumano Oranense, el Parque Chaqueño y el Espinal; que representan el 90% de los bosques nativos del territorio argentino y son las áreas con mayor deforestación del país. Las formaciones de selvas, tanto la Misionera (también denominada Paranaense) como la Tucumano Oranense (también denominada Yungas), son las que registran los valores más elevados de stock de carbono siendo 151,1 t/ha y 119,9 t/ha respectivamente. La primera se localiza en el noreste del país y es una selva subtropical húmeda con una densa cobertura arbórea que cuenta con 4 a 5 estratos verticales. La segunda, es una selva nublada localizada al noroeste del país que se desarrolla sobre las Sierras Subandinas y cuyas variaciones vegetales son producto del fuerte gradiente altitudinal. Ambas presentan una gran diversidad y abundancia de especies vegetales.

El Bosque Chaqueño, que es la formación forestal más extensa del país y que se sitúa en gran parte del norte y centro del país, registró un valor de 79,3 t/ha. Este bosque xerófito y semicaducifolio que se encuentra representado por el género *Schinopsis*, con una altura general de 25 m y compuesto por árboles de madera dura (Brown, Martínez-Ortiz, Acerbi y Corcuera, 2006). Para el caso del Espinal, el valor de captura de carbono obtenido fue de 65,22 t/ha. Como bien se mencionó antes, esta formación ofrece variaciones en su extensión reconociendo al bosque de caldén, de ñandubay (*Prosopis affinis*), de algarrobo (*Prosopis alba* y *Prosopis nigra*) y de tala (*Celtis tala*). En este informe, el muestreo se realizó en dos distritos, el del Caldén y el del Ñandubay y luego se estableció un valor medio de stock de carbono. Esto puede ser una justificación por el cual, el valor de carbono contenido en bosque de la Reserva Provincial Laguna Guatraché sea superior al registrado en el trabajo.

Por otra parte, dentro del caldenal también existen diferencias en cuanto a su fisonomía debido a las variables naturales, principalmente climáticas y geomorfológicas y por la incidencia antropogénica. El sector del área de estudio, es un bosque que presenta una alta densidad de ejemplares principalmente arbustivos dando lugar a un bosque cerrado con presencia de arbustos. La última deforestación en la zona fue hace 40 años, hecho que certifica que los árboles y arbustos con un DAP superior a 15 cm sean registrados como los de menor diversidad. En este sentido, Vaccaro, Arturi, Goya, Frangi y Piccolo (2003) determinaron que un bosque secundario en las primeras etapas de sucesión, almacena mayor cantidad de carbono. Esto se debe a que la biomasa de la copa de los árboles y el follaje de los arbustos se desarrollan rápidamente en las primeras etapas de la sucesión y en las siguientes etapas de la sucesión se ralentiza su incremento (Brown y Lugo, 1990). Por otra parte, Redondo-Brenes y Montagnini (2006) investigaron que las especies pioneras en los estadios de sucesión temprana pueden capturar con mayor rapidez el C de la atmósfera; mientras que, en las etapas finales de la sucesión, la tasa de acumulación de las especies vegetales comienza a decrecer hasta la madurez. Esta razón también justifica el valor de stock de carbono en el área de estudio.

CONCLUSIONES

Es fundamental la conservación del caldenal pampeano en la Reserva Provincial Laguna Guatraché, no sólo por su importancia en cuanto a su biodiversidad,

sino también por el papel que cumple en la captura de C. Generar información sobre su contenido en las especies arbóreas permitiría obtener una mayor precisión en las estimaciones del stock de C almacenado en esta formación boscosa.

Mediante esta investigación se identificaron 2152 árboles pertenecientes a las familias *Fabaceae*, *Anacardiaceae*, *Santalaceae*, *Verbenaceae* y *Rhamnaceae*. Se identificó la biomasa total de un bosque secundario de caldén de una hectárea (156,4 Mg/ha), la captura de carbono (78,2 t/ha) y el valor medio absorbido de CO₂ de la atmósfera (281, 5 t/ha). De la aplicación de los modelos no paramétricos de diversidad se definió que el círculo A, constituido por árboles con un DAP inferior a 5 cm, presentó los valores más elevados de riqueza florística en comparación con los círculos B (DAP>5<15) y C (DAP>15). Es decir, el bosque joven resultó ser el más diverso. Por otra parte, en el círculo A las especies estaban distribuidas más homogéneamente en relación con su cantidad y en comparación con los otros círculos. Mientras que, el índice de dominancia de Simpson dejó demostrado que el bosque maduro, fue el que contuvo una mayor cantidad de individuos de una sola especie. Con la aplicación de los modelos paramétricos se reafirmó que el bosque más joven presentó mayor diversidad y por lo tanto mayor equidad. De esta forma se cumplió con el objetivo planteado que era conocer la diversidad, la biomasa y la captura de carbono de un bosque secundario de caldén (*Prosopis caldenia*) de la Argentina. Sería interesante continuar con el análisis de esta temática en otros sectores del caldenal para observar las diferencias existentes y complementar los datos obtenidos mediante esta investigación.

Por otra parte, es necesario revalorizar el trabajo de campo como metodología que permite determinar y comprobar con mayor exactitud el stock de carbono de las masas forestales. El caldenal presenta diferentes fisonomías y grados de perturbación, por lo tanto es fundamental corroborar en el campo las características estructurales y de composición florística de la vegetación para comprender los resultados obtenidos. Argentina cuenta con una base de datos que es insuficiente y que debe ser ampliada con nuevos trabajos de campo. De esta forma, los estudios de caso contribuyen a estimar y caracterizar las reservas de carbono contenidas en este bosque xerófito endémico del país.

Finalmente, es interesante pensar en estrategias o propuestas que contribuyan con la captura de carbono en el área. Una de ellas podría ser la reforestación del caldenal, con especies nativas, en sectores donde

se ha eliminado la cubierta vegetal para el desarrollo de la producción ganadera. Por otra parte, la aplicación de incentivos a los dueños de los campos como estrategia para que conserven el caldenal en sus parcelas. Esto se puede lograr a través, por ejemplo, de las reducciones o exenciones fiscales. La comunicación sobre el valor que posee el caldenal como masa forestal que capta carbono y permite mitigar el cambio climático, debe ser también una prioridad en el área.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación fue realizada mediante subsidios otorgados por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Universidad Nacional del Sur (UNS) (Proyecto PGI *Geografía física aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas a diversas escalas tiempo-espaciales -24/G067*).

También queremos agradecer al señor Herico y a su familia por permitirnos ingresar a su campo y realizar los transectos de vegetación. Y a María Estela Campo por brindarnos información relevante sobre la Reserva Provincial Laguna Guatraché.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ambientum. (5 de marzo de 2018). Desaparece más de la mitad del bosque de Caldén en Argentina. *Ambientum*. Recuperado de <https://www.ambientum.com/ambientum/medio-natural/desaparece-mas-de-la-mitad-del-bosque-de-calden-en-argentina.asp>
- Brown, A. D., Martínez-Ortíz, U., Acerbi, M., y Corcuera, J. (Eds.). (2006). *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Buenos Aires, Argentina: Fundación Vida Silvestre Argentina.
- Brown, S., y Lugo A. E. (1990). Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology*, 6, 1-32. doi: <https://doi.org/10.1017/S0266467400003989>
- Cabrera, A. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. En W. F. Kugler (Ed.), *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería* (pp. 1-85). Buenos Aires, Argentina: Acme.
- Cámara-Artigas, R., Díaz del Olmo, F., y Martínez-Batlle, J. R. (2020). TBRs, a methodology for the multi-scalar cartographic analysis of the distribution of plant formations. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 85(2915), 1-38. doi: <https://doi.org/10.21138/bage.2915>
- Cámara-Artigas, R., y Porto de Lima, V. R. (2015). Análisis comparado de la biodiversidad de formaciones vegetales tropicales y subtropicales y problemas metodológicos asociados. *Revista OKARA: Geografía em debate*, 9(2), 248-260. Recuperado de <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/okara/article/view/26736/14326>
- Cano, E. (1980). *Inventario integrado de los recursos naturales de la Provincia de La Pampa*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., y Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Christensen, J., y Olhoff, A. (2019). *Lessons from a decade of emissions gap assessments*. Recuperado de <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30022/EGR10.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Conservación Internacional Perú. (16 de abril de 2019). ¿QUÉ ES REDD+?. Conservación Internacional Perú. Recuperado de <https://www.conservation.org/peru/novedades/2019/10/29/qu%C3%A9-es-redd>
- Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Trexler, M. C., y Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263(5144), 185-190. doi: <https://doi.org/10.1126/science.263.5144.185>
- FAO. (2016). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo?* Segunda edición. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i4793s/i4793s.pdf>
- FAO. (2018). *El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Recuperado de <https://distritoforestal.es/biblioteca/politica-forestal/el-estado-de-los-bosques-del-mundo-edicion-2018-las-vias-forestales-hacia-el-desarrollo-sostenible>
- Gibbs, H. K., y Brown, S. (2007). Geographical distribution of biomass carbon in tropical southeast Asian forests: an updated database for 2000. En S. Brown, L. R. Iverson, A. Prasad, T. Beaty, L. Olsen, R. Cushman, y A. Brenkert (Eds.), *Geographical Distribution of Biomass Carbon in Tropical Southeast Asian Forests: A Database* (pp. 1-54). Lima, Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana.

- Hewson, J., Steining, M. K., y Pesmajoglou, S. (Eds.). (2014). *Manual de Medición, Reporte y Verificación (MRV) de REDD+ Versión 2.0*. <https://www.catie.ac.cr/attachments/article/767/manual-MRV-REDD-version-j.pdf>
- Honorio-Coronado, E., y Baker, T. (2010). *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos*. Recuperado de <https://core.ac.uk/reader/249331916>
- Houghton, R. A. (2005). Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology*, 11, 945–958. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2486.2005.00955.x>
- Keith, H., Mackey, B., y Lindenmayer, D. (2009). Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(28), 11635–11640. <https://www.pnas.org/content/106/28/11635>
- Kindt, R., y Coe, R. (2005). *Tree diversity analysis. A manual and software for some common statistical methods for biodiversity and ecological analysis*. <http://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/b13695.pdf>
- Locey, K. (2015). Diversity analysis of simplex output. R projects. *PeerJ*, 3, 1–25. Recuperado de <https://peerj.com/preprints/1469v1/Diversity.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2017). *Plan de Acción Nacional de Bosques y Cambio Climático*. Versión I – 2017. https://redd.unfccc.int/files/4849_1_plan_de_accion_nacional_de_bosques_y_cambio_climatico_-_argentina.pdf
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., y Muñoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Madrid, España: Monografías INIA.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza, España: M&T – Manuales y Tesis SEA. <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Nayak, A. K., Rahman, M. M., Naidu, R., Dhal, B., Swain, C. K., Nayak, A. D., Tripathi, M., Rafiqul Islam, M., y Pathak, H. (2019). Current and emerging methodologies for estimating carbon sequestration in agricultural soils: A review. *Science of the total environment*, 665, 890-912. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.125>
- Organización Meteorológica Mundial. (2019). Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2018. *Boletín sobre los gases de efecto invernadero*, 15, 1-8. Recuperado de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10127
- Paipa-Ríos, N. A., y Triana-Gómez, M. A. (2018). Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de un bosque húmedo tropical en Paimadó, Chocó. *Ingenierías USBMed*, 9(1), 18-29. doi: <https://doi.org/10.21500/20275846.3180>
- Redondo-Brenes, A., y Montagnini, F. (2006). Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology Management*, 232(1-3), 168–178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.067>
- Risio-Allione, L. (2012). Cuantificación de biomasa y carbono en bosques nativos de *Prosopis caldenia* (Burkart) en la Pampa semiárida, Argentina (Tesis de grado). <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/1593/TFM-L%2043.pdf?sequence=1>
- Sanhueza, J. E., y Antonissen, M. (2014). *REDD+ en América Latina. Estado actual de las estrategias de reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36810/1/S2014280_es.pdf
- SAyDS. (2007). *Primer inventario nacional de bosques nativos: informe regional espinal. Primera edición*. http://186.33.212.115/sites/default/files/primer_inventario_nacional_-_informe_nacional_1.pdf
- SAyDS. (2019). *Nivel de referencia de emisiones forestales de la República Argentina*. https://redd.unfccc.int/files/2019_submission_frel_argentina.pdf
- Schlegel, B. (2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. *Simposio Internacional, medición, monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*. 18 al 21 de octubre, Valdivia, Chile. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61713104.pdf>
- Urdapilleta, A. (2018). *Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa arbórea en un predio ubicado en la región del Parque Chaqueño húmedo, Argentina* (Tesis de grado). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70763>
- Vaccaro, S., Arturi, M., Goya, J., Frangi, J., y Piccolo, G. (2003). Almacenaje de carbono en estadios de la sucesión secundaria de la Provincia de Misiones, Argentina. *Interciencia*, 28(9), 521-527. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/339/33908405.pdf>

Vásquez, A., y Arellano, H. (2012). Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de Córdoba. En J. O. Rangelch. (Ed.), *Colombia Diversidad Biótica XII. La región Caribe de Colombia* (pp. 923-961). Bogotá,

Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales.

Warwick, R. M. Clarke, K. R., y Somerfield, P. J. (2009). K-Dominance Curves. En A. Fath (Ed.). *Encyclopedia of ecology*. Oxford, Reino Unido: Elsevier.