

## Aprovechamiento biocircular de residuos forestales en bosques nativos: análisis económico de los fachinales de caldén en La Pampa

Álvarez Redondo, Mónica<sup>1,2,@</sup>  y Ferro Moreno, Santiago<sup>1,3</sup> 

1 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía  
2 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Cs. Exactas y Naturales.  
3 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
[@m\\_alvarezredondo@agro.unlpam.edu.ar](mailto:@m_alvarezredondo@agro.unlpam.edu.ar)

Recibido: 12/12/2023  
Aceptado: 20/02/2024

**RESUMEN.** En la provincia de La Pampa, Argentina, una parte importante del territorio se encuentra ocupada por bosques xerófilos de caldén. Estos bosques han sido objeto de un intenso proceso de degradación derivado de manejos silvícolas y ganaderos inadecuados, resultando en formaciones arbustizadas, de baja productividad, denominadas “fachinal”. Para aumentar la productividad de estos ambientes, asociado principalmente a la actividad ganadera y disminuir los riesgos de incendios, se realizan una serie de intervenciones como estrategia de manejo, de las cuales se generan un gran volumen de residuos forestales que no se utilizan o aprovechan. La bioeconomía circular es un marco que desafía la linealidad del modelo económico actual y propone el aprovechamiento de todos los residuos y derivados de las actividades productivas. El presente trabajo tiene como objetivo analizar económicamente el potencial aprovechamiento en campo de los residuos forestales derivados de las intervenciones en los bosques nativos de caldén. Las cantidades estimadas mínimas y máximas de residuos forestales potenciales de generación por distintas intervenciones oscilaron en 33,12 y 44,81 Mg.ha<sup>-1</sup>. Se estimaron los costos necesarios para poner los residuos a disposición; se calcularon indicadores económicos-financieros para determinar volúmenes necesarios para cubrir los costos y obtener beneficios. El aprovechamiento circular de los residuos forestales de los bosques nativos es factible, siempre y cuando se generen escalas viables y los precios de referencia sean atractivos para productores agropecuarios y agentes económicos involucrados.

**PALABRAS CLAVE:** biomasa forestal; bioeconomía; economía circular; costeo variable.

**ABSTRACT. BIOCIRCULAR USE OF FOREST WASTE IN NATIVE FORESTS: ECONOMIC ANALYSIS OF THE CALDEN FACHINALES IN LA PAMPA.** In the province of La Pampa, Argentina, a significant portion of the territory is occupied by xerophytic caldén forests. These forests have undergone an intense process of degradation due to inappropriate silvicultural and livestock management, resulting in bushy formations, of low productivity, called “shrub thicket”. With the aim of increasing livestock productivity and reducing the risk of wildfires, various interventions are carried out in these forests, generating forest residues that are often not utilized or harnessed. In this context, circular bioeconomy emerges as a conceptual framework challenging the linearity of the current economic model. It proposes the utilization of all residues and by-products from productive activities. The objective of this work is to economically analyze the potential use in the field of forest residues derived from interventions in the native forests of caldén. The estimated minimum and maximum quantities of potential forest residue generated by different interventions ranged between 33.12 and 44.81 Mg.ha<sup>-1</sup>. The costs necessary to make the waste available were estimated; economic-financial indicators were calculated to determine the necessary volumes to cover costs and achieve benefits. The circular utilization of forest residues from native forests is feasible, provided that viable scales are generated, and reference prices are attractive for agricultural producers and involved economic agents.

**KEY WORDS:** forest biomass; bioeconomy; circular economy; variable costing.

### INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas boscosos de tierras secas constituyen el 27 % de la superficie forestal del

mundo (Food and Agriculture Organisation [FAO], 2019), representando los ecosistemas más degradados del planeta (Maestre et al., 2012 citado en Salazar Zarzosa et al., 2023). Sin embargo, son ambientes de suma importancia ecológica, económica y social por los servicios ambientales que ofrecen.

La biomasa forestal leñosa contenida en estos

Cómo citar este trabajo:

Álvarez Redondo, M. y Ferro Moreno, S. (2024). Aprovechamiento biocircular de residuos forestales en bosques nativos: análisis económico de los fachinales de caldén en La Pampa. *Semiárida*, 34(1), 13-25.



ambientes representa un elevado potencial de almacenamiento de carbono, constituyendo un rol esencial en el marco del cambio climático global (Bryan et al., 2008; Florin et al., 2021; Mani & Parthasarathy, 2007; Manrique et al., 2009; Phillips et al., 1998). En este punto, la biomasa también es analizada por su valor como fuente de energía renovable y como sustituto parcial de los combustibles fósiles (Brown, 1997 y Northup et al., 2005 citados por Manrique et al., 2009; Li et al., 2020).

Los bosques xerófilos de caldén (*Neltuma caldenia* (Burkart) C. E. Hughes & G. P. Lewis) en la provincia de La Pampa, Argentina, son áreas boscosas nativas pertenecientes a la Región Fitogeográfica del Espinal (Cabrera, 1976), Distrito del caldén. Estos bosques han sido objeto de un intenso proceso de degradación derivado de manejos silvícolas y ganaderos inadecuados durante décadas en combinación con factores climáticos adversos, característicos de tierras semiáridas (Cano et al., 1980; Estelrich et al., 2005; Estelrich et al., 2021; Estelrich et al., 2022; Morici et al., 2009; SAyDS 2006; Vázquez et al., 2013). En consecuencia, gran parte del distrito que conforman estos bosques se ha convertido en formaciones de tipo fachinal, caracterizadas por un desarrollo excesivo del estrato medio, compuesto principalmente por arbustos leñosos y arbóreos en estado de renoval, afectando negativamente su condición ecológica y productiva.

La mayoría de los estudios en estos ambientes están enfocados sobre la calidad y condición del pastizal natural como sustento de la producción ganadera (Adema, 2006; Estelrich et al., 2005; Morici et al., 2009). No existen antecedentes sobre el potencial de la biomasa leñosa aérea de los fachinales y su aprovechamiento económico potencial. Sobre esta línea de investigación, es indispensable como primer paso la cuantificación de la biomasa en pie, a fin de estimar la cantidad potencial de generación de residuos forestales a partir de intervenciones silvícolas aplicadas para reducción parcial del estrato medio de mayor densidad (Estelrich et al., 2021). En la actualidad, el material derivado de las intervenciones en estas fisonomías está constituido mayoritariamente por material cuyas

dimensiones no entran en la clasificación de productos forestales para comercialización, como leña, varillas y postes. Como consecuencia se generan grandes volúmenes de biomasa residual en superficie, acopiadas en montículos e hileras que generan una problemática ecológica a nivel predial.

La bioeconomía es un marco que promueve la posibilidad de uso de la materia orgánica o vegetal de desecho como materia prima para la generación de energía y combustibles (Mercado Ramos, 2016). Este nuevo paradigma toma como ideas centrales de desarrollo la biomasa como insumo principal, la producción de una diversidad de productos y la agregación de valor (Wierny et al., 2015). Las estrategias biocirculares (Bisang, 2022) implican pensar en el tratamiento de desechos y efluentes líquidos y sólidos y en el aprovechamiento de residuos y mermas, entre otras cuestiones, dentro de los circuitos económicos (Grassi, 2020; Poza Rodríguez, 2021). Pueden permitir a los sistemas productivos mejorar sus ventajas competitivas sostenibles en el mediano y largo plazo, aportando al desarrollo sostenible territorial (Amato, 2023; González et al., 2022; Marshall et al., 2023).

El aprovechamiento biocircular de los residuos forestales debe estar acompañado de nuevas cadenas de valor que aporten positivamente al desarrollo socioeconómico local y a la concreción de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) a 2030, sin perder de vista las necesidades del mercado y capacidades competitivas de las organizaciones que integran el entramado (Bocchetto et al., 2020; Poza Rodríguez, 2021; Varella Miranda et al., 2021). El mapeo de oportunidades biocirculares, orientadas al aprovechamiento de recursos desechados, es clave para avanzar hacia una economía más sustentable y modelos de negocios competitivos que aporten al desarrollo sostenible de los territorios donde están emplazados (Amato, 2023; Bisang, 2022; González et al., 2022). En esta línea, la biomasa de residuos forestales proveniente del manejo de los bosques nativos en Argentina puede resultar un insumo de la bioeconomía circular a partir de la formulación de estrategias de aprovechamiento como parte de un planteo productivo integral.

Para avanzar en este sentido, es fundamental determinar la cantidad, distribución y disponibilidad de los recursos forestales de un territorio (Blanco Gonzales et al., 2013; Reyes-Cardenas et al., 2019). A pesar de la importancia de la biomasa y contenido de carbono en ecosistemas forestales (Dyderski & Jagodziński, 2021), la biomasa de bosques en renovales y arbustales es subestimada o excluida de los estudios (Chen et al., 2023).

Existen actualmente metodologías de cuantificación de biomasa leñosa aérea para especies arbóreas y arbustivas del Espinal y de otros bosques xerófilos de Argentina (Álvarez Redondo y Adema, 2018; Bonino, 2006; Gaillard de Benitez et al., 2002; Hierro et al., 2000; Iglesias y Barchuk, 2010; Risio et al., 2013; Sione et al., 2020) basadas en métodos no destructivos por ecuaciones alométricas. El uso de estas ecuaciones requiere de datos estructurales de la vegetación (diámetro basal, diámetro altura pecho, altura, diámetro de copa, etc.), obtenidos en campo a partir de inventarios forestales (Manrique et al., 2009). Por otro lado, las ecuaciones alométricas permiten calcular la biomasa de una especie y ser extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Montero y Montagnini, 2005).

Luego de cuantificar la biomasa en bosques xerófilos de La Pampa y estimar cantidades potenciales de generación de residuos forestales por intervención de los bosques, es necesario avanzar en la cuantificación económica de todos los esfuerzos necesarios para poner a disposición los residuos, para que puedan ser usados y transformados por otros actores de la cadena de valor (Pérez, 2019). La cuantificación económica debe retribuir el uso de los factores productivos a precio de mercado, con el fin de garantizar la atracción y mantenimiento de éstos en la actividad (Formaggio y Vessoni, 2019).

El objetivo general del presente trabajo es analizar económicamente el potencial aprovechamiento en campo de los residuos forestales derivados de las intervenciones en los bosques xerófilos de caldén. Específicamente, se pretende: i) estimar cantidad y disponibilidad de residuos forestales en fachineales de bosque de caldén generados a partir de distintas metodologías de intervención; ii) analizar los

costos relacionados a poner en valor los residuos forestales; iii) generar indicadores que permitan mejorar los procesos de toma de decisiones en torno a su aprovechamiento biocircular.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

El área de estudio corresponde al Departamento Loventué de la provincia de La Pampa. El mismo está ubicado al centro-norte de la provincia, limitando con la provincia de San Luis. Presenta una superficie de 9.235 km<sup>2</sup> donde el 80 % está cubierta por bosques de caldén de distintas fisonomías (Roberto y Carreño, 2018). Desde el punto de vista fitogeográfico, Loventué se encuentra dentro del Distrito del Caldén, perteneciente a la Región Fitogeográfica del Espinal. Corresponde a formaciones boscosas xerófilas característica de la región central semiárida templada de Argentina (Cabrera, 1976). Se desarrolla con un promedio anual de precipitaciones de 550 mm con una distribución mayoritaria primavero-estival con alta variabilidad mensual. Este ecosistema se desarrolla en un clima templado continental con temperatura media anual que va de 16 a 15 °C de norte a sur (Cano et al., 1980; De Fina y Ravelo, 1985).

La vegetación nativa dominante son los bosques de *N. caldenia* con presencia de otras especies arbóreas acompañantes como algarrobo dulce (*Neltuma flexuosa* (DC.) C.E. Hughes & G.P. Lewis), chañar (*Geoffroea decorticans* (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart), molle negro (*Schinus fasciculatus* (Griseb.) I.M. Johnst.) y sombra de toro (*Jodina rhombifolia* (Hook. & Arn.) Reissek), entre otras. Presenta generalmente un estrato arbustivo o medio conformado por especies como piquillín (*Condalia microphylla* Cav) y llaollín (*Lycium chilense* Miers ex Bertero var. *minutifolium* (Miers) F. A. Barkley). El estrato herbáceo o inferior está dominado por especies de los géneros *Nasella*, *Jarava* y *Amelichloa*, y como secundarias la presencia de flechilla negra (*Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack.) y unquillo (*Poa ligularis* Nees ex Steud. var. *ligularis*), ambas de alta calidad forrajera (Cano et al., 1980).

De acuerdo al mapa fisonómico de La Pampa

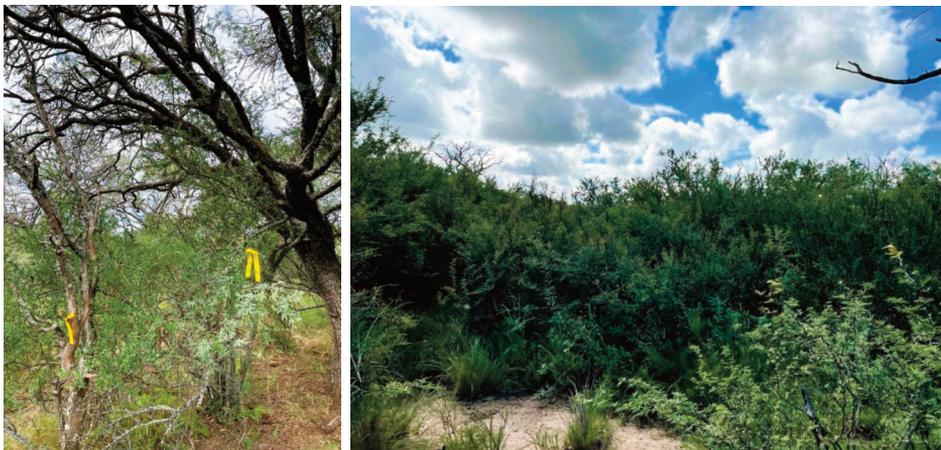
(Roberto y Carreño, 2018), la mayor proporción del área cubierta por bosques en Loventué está representado por fisonomías con dominancia de un estrato arbustivo que, según el caso, puede llegar hasta el 75-100 % de cobertura; compuesto por especies arbustivas y una importante proporción de renuevos leñosos de caldén. Esta condición de fachinal se presenta como fisonomía predominante en varios puntos del distrito, producto de la degradación del bosque. Se convierten en áreas poco productivas, inaccesibles para el ganado y con un elevado riesgo de incendios por la gran acumulación de biomasa, susceptibles de ser intervenidas para el control de la arbustización. En este marco, se toma los fachinales como áreas objeto de estudio del presente trabajo (Figura 1).

#### **Cuantificación y disponibilidad de residuos forestales**

La cuantificación de residuos forestales (RF) en fachinales se estimó de forma indirecta a partir de la cuantificación de la Biomasa Leñosa Total (BLT), calculada en unidad de peso por unidad de superficie ( $Mg^{-1}.ha^{-1}$ ). El resultado de biomasa se multiplicó por un factor de 0,4, correspondiente al porcentaje de intervención

promedio de cobertura total, de acuerdo a información recabada de profesionales en manejo forestal y a lo establecido en las Disposiciones de la Dirección de Recursos Naturales de La Pampa en el marco de la Ley 2624. La disponibilidad de RF se evaluó en función de la maquinaria de intervención, su efecto en la vegetación y disposición del material residual en superficie (Estelrich et al., 2021). Se tuvieron en cuenta las tres metodologías de intervención mayormente aplicadas para el manejo de bosques y fachinales de caldén: raleo manual con hacheros, topadora con rastrillo y rolado selectivo (Figura 2). Para la cuantificación y cualificación de los RF, se recabó información a partir de entrevistas a agentes calificados dedicados al manejo forestal en la provincia tales como profesionales técnicos/as responsables de planes de manejo sostenible de bosque nativo, personal calificado en trabajo manual, contratistas, transportistas.

La BLT contempló el análisis de tres especies de mayor representatividad en estos ambientes: caldén (*N. caldenia*), especie arbórea dominante en estado de renovo; piquillín (*C. microphylla*) y molle (*S. fasciculatus*), especies arbustivas. La cuantificación de biomasa se realizó por método no destructivo a partir de ecuaciones alométricas



**Figura 1.** Fisonomías representativas de los fachinales de caldén. Se observan formaciones densas, cerradas, con un elevado porcentaje de cobertura total, un estrato intermedio dominante con una baja densidad de árboles. Fuente: fotografías tomadas en campañas de muestreo en dos establecimientos rurales dentro del departamento Loventue (2023).

**Figure 1.** Representative physiognomies of caldén fachinal. Dense, closed formations are observed, with a high percentage of total coverage, a dominant intermediate stratum with a low density of trees. Source: photographs taken in sampling campaigns in two rural establishments within the Loventue department (2023).



**Figura 2.** Disposición de los residuos forestales generados por las distintas intervenciones analizadas: raleo manual con cuadrilla de hacheros (A), topadora con rastrillo (B) y rolado selectivo (C). En B y C se muestra imagen de la maquinaria de intervención, topadora y rolo selectivo, respectivamente. Fuente: fotografías tomadas de campañas de muestreo, jornadas de manejo de bosque nativo organizadas por la Dirección de Recursos Naturales de La Pampa y colaboración de la Ing. Estela Rodríguez, profesional técnica en planes de manejo.

**Figure 2.** Disposal of forest residues generated by the different interventions analyzed: manual thinning with a team of axemen (A), bulldozer with rake (B) and selective rolling (C). B and C show images of the intervention machinery, bulldozer and selective roll, respectively. Source: photographs taken from sampling campaigns, native forest management sessions organized by the Dirección de Recursos Naturales de La Pampa and collaboration of Eng. Estela Rodríguez, technical professional in management plans.

específicas para cada especie, seleccionadas en base a los antecedentes científicos disponibles. El muestreo se realizó en dos establecimientos rurales con bosque en estado de fachinal. Se trabajó en parcelas de muestreo de 5x5 m establecidas sobre una transecta, a una distancia aproximada de 50 metros cada una, resultando en un área de muestreo de 125 m<sup>2</sup> en cada establecimiento. En cada parcela se midieron y evaluaron las variables estructurales necesarias para aplicación de las ecuaciones: DAB (diámetro a la base), DAP (diámetro altura pecho), densidad, número de rebrotes por planta, altura, diámetro de copa. En Tabla 1 se detallan

las ecuaciones alométricas aplicadas para cada especie.

Para el molle (*S. fasciculatus*), debido a la ausencia de información científica para la especie, la biomasa se calculó a partir de la ecuación de volumen (m<sup>3</sup>) de Requea et al., (2007) para *Schinus patagonicus*. Para llevar el resultado a biomasa (kg), el volumen calculado se multiplicó por la densidad básica del molle (0,54 Mg.m<sup>-3</sup>). La BAT se determinó a partir de la sumatoria de los resultados por especie, expresado en Mg.ha<sup>-1</sup>.

Para una mejor captación de la diversidad y heterogeneidad de situaciones de campo,

**Tabla 1.** Ecuaciones alométricas aplicadas para cuantificación de biomasa aérea total (BLT) en caldén (1), piquillín (2) y molle (3).

**Table 1.** Allometric equations applied to quantify total aerial biomass (BLT) in caldén (1), piquillín (2) and molle (3).

Especie	Autor	Ecuación	Variabes
Caldén	Risio et al. (2013)	(1) $B[\text{Kg}] = 0,000045 * AB [\text{cm}^2\text{ha}^{-1}]^2 + 0,948982 * H[\text{m}]$	$B = \text{Biomasa}$
			$AB = \text{Área basal}$
			$H = \text{Altura}$
Piquillín	Alvarez Redondo y Adema (2018)	(2) $B[\text{Kg}] = (0,00000164)D[\text{cm}]^{2,99}$	$B = \text{Biomasa}$
			$D = \text{Diámetro de copa}$
Molle	Requea et al. (2007)	(3) $V[\text{m}^3] = (0,0106 + 0,0135 * \text{DAP}[\text{cm}])^2$	$V = \text{Volumen}$
			$\text{DAP} = \text{Diámetro Altura Pecho}$

determinadas por la biomasa preexistente y la calidad/tipo de la intervención, entre otros aspectos claves, se estimó un rango de confianza basado en antecedentes de  $\pm 15\%$ .

#### Valoración económica de los residuos forestales

En base a las estimaciones cuantitativas y cualitativas de residuos forestales potenciales de ser generados luego de las intervenciones en el bosque, se determinaron los rubros de costos necesarios para poder disponer comercialmente del material. En este sentido, y de acuerdo a los antecedentes recabados (Estelrich, 2021; Formaggio y Vessoni, 2019; Pérez, 2019), es necesario analizar de mínima, los siguientes elementos: i) costos de la contratación de servicios por mano de obra (horas hombre) para la recolección, clasificación, estiba y acopio de residuos forestales (servicios); ii) transporte para trasladar los residuos forestales desde el campo a las industrias o puntos de aprovechamiento, iii) costos administrativos derivados (guías, tasas, etc.) y iv) un beneficio normal para que el/la productor/a ponga a disposición los factores productivos necesarios para llevar adelante la empresa.

Los costos de servicios fueron estimados en base a la información recabada a partir de entrevistas y consultas a especialista en trabajo manual y contratistas de servicios forestales de la región. También se tomaron como referencia los costos de raleo manual estipulados en la Disposición 02/23 de la Dirección de Recursos Naturales de La Pampa en el marco de la Ley

2624. De acuerdo a la información recabada, se considera la labor de una cuadrilla de 4 personas trabajando de 6 a 8 horas efectivas por jornada diaria. Los costos de transporte surgen de consultas a agentes locales que actualmente se encuentran habilitados para tal fin, se le suman los costos de las guías y vales de transporte estipulados por la normativa provincial para el traslado de material forestal. Los costos administrativos corresponden a las tasas para sacar la guía de traslado y permisos correspondientes. El costo de oportunidad es un rango proporcional a los costos incurridos, que va del 25 al 30 %, y pone en valor la retribución a los factores productivos, especialmente el factor empresarial y el capital de trabajo.

Todos estos datos fueron validados y triangulados con actores claves del sector (personal de la Dirección de Recursos Naturales, contratistas y profesionales del medio) y trabajos específicos (Formaggio y Vessoni, 2019, Pérez, 2019). Ante la dispersión de los valores monetarios recabados en las entrevistas y consultas, se utilizan intervalos de confianza, contruidos con los valores mínimos y máximos obtenidos, que cuantifican y reflejan adecuadamente la incertidumbre de las variables (Mallo et al., 2004). Los valores monetarios fueron transformados a equivalente litro de combustible según el Índice de precios de referencia del valor del combustible líquido Gasoil Grado 2 (G2) – Diesel 500 del Gobierno de La Pampa: 404,53 \$.litro<sup>-1</sup> (noviembre 2023).

Según la clasificación del costeo gerencial

Aprovechamiento biocircular de residuos forestales en bosques nativos: análisis económico de los fachineales de caldén en La Pampa (Bottaro et al., 2004), los costos de servicios (\$.día<sup>-1</sup>) y costos administrativos (\$.año<sup>-1</sup>) son considerados costos fijos de operación (CF). Los costos de oportunidad (\$.tonelada<sup>-1</sup>) y transporte (\$.tonelada transportada<sup>-1</sup>) son clasificados como costos variables. Con estos valores, se estimaron indicadores del costeo gerencial (Ferro Moreno, 2017) (Tabla 2).

Siendo:

Px: precio de venta esperado (\$.Mg de residuo forestal<sup>-1</sup>)

CVu: costo variabilidad unitario (\$.Mg de residuo forestal<sup>-1</sup>)

CF: costos fijos operativos (\$.unidad de tiempo<sup>-1</sup>)

NAP: nivel de actividad previsto (Mg residuos forestales.unidad de tiempo<sup>-1</sup>)

**Tabla 2.** Indicadores del costeo gerencial (Bottaro et al., 2004).

**Table 2.** Managerial costing indicators (Bottaro et al., 2004).

Costeo gerencial	
Contribución marginal (Cmg)= Px - Cvu	
Punto de equilibrio (PE)= CF / Cmg	
Precio de equilibrio (PxE)=[CF + (CVu x NAP)] / NAP	
Margen de seguridad (MS)=(NAP-PE) / NAP	

## RESULTADOS

### *Cantidad y disponibilidad de residuos forestales*

Considerando las tres especies analizadas en los fachineales estudiados, sobre una densidad entre 4260 y 9333 ind.ha<sup>-1</sup>, la BLT se estimó en un rango de mínima y máxima de 82,81 a 112,03 Mg.ha<sup>-1</sup>, tomando una variabilidad de ± 15 % (Tabla 3). Aplicando el factor de 0,4 a la BLT como referencia de intensidad de intervención promedio en términos de porcentaje de cobertura afectada en estos ambientes, se llegó a un rango de 33,12 a 44,8 Mg.ha<sup>-1</sup> de residuos forestales potenciales de generación pos intervención.

**Tabla 3.** Valores totales, mínimos y máximos calculados en un rango de ± 15 % para BLT y RF.

**Table 3.** Total, minimum and maximum values calculated in a range of ±15 % for BLT and RF.

Biomasa Leñosa Total (BLT) / Residuos Forestales (RF)	Rango +/- 15 %		
BLT (Mg.ha <sup>-1</sup> )	97,42	82,81	112,03
RF (Mg.ha <sup>-1</sup> )	38,97	33,12	44,81

Respecto a la disponibilidad de los residuos forestales, dependiendo de la metodología de intervención aplicada en cuanto a su accionar y efecto en la vegetación, del total de la biomasa residual calculada, se estima una disponibilidad del 80-90 % para raleo manual, 50-60 % para topadora con rastrillo y 60-70 % rolado selectivo (entrevistas a agentes calificados). En el primer caso, el trabajo manual constituye la técnica más eficiente respecto de la disponibilidad de la biomasa para su posterior aprovechamiento, debido a un trabajo selectivo y con herramientas que permiten mantener las dimensiones reales del material o trozarlo de acuerdo al uso que se pretenda dar al producto obtenido. La topadora con rastrillo, disminuye en proporción la disponibilidad debido al accionar de la máquina que va acopiando el material sobre los bordes del frente de acción, acumulando un exceso de tierra, dejando parte del material enterrado que dificulta parcialmente su extracción, afectando sobre todo a los materiales más finos. Por último, el rolado selectivo deja una proporción significativa de material trozado en superficie pos intervención, disponible para ser acopiado para su aprovechamiento.

### *Precios y costos relacionados a poner en valor los residuos forestales*

Los residuos forestales de bosque nativo no cuentan con mercado en la provincia de La Pampa y por lo tanto no hay precios de referencia. Pueden existir experiencias, pero son aisladas, integradas horizontalmente y de poco volumen. Los precios de mercado que se pudieron recolectar se refieren a la tonelada de leña, que en sus diversas modalidades y tipos tiene precios que van desde los 41,8 a los 125,3 litros G2.Mg<sup>-1</sup>. En base a esto, se asumió un precio de referencia para los residuos forestales, triangulado con los agentes calificados, que va de un 40 a un 60 % del promedio del precio de mercado de la leña.

Como se mencionó anteriormente, además de la determinación de posibles valores de comercialización de los residuos forestales, hay que considerar y evaluar de forma articulada los costos asociados a la retribución de los factores productivos puestos en valor en el planteo productivo biocircular. A continuación, se enumeran y describen los costos asociados, expresados en rangos (mínimos y máximos recabados en las entrevistas y consultas efectuadas a actores clave y agentes calificados) (Tabla 4).

i) Servicio de recolección y acondicionamiento de RF. Expresado por jornada de trabajo, asumiendo una cuadrilla de 4 personas. La disposición del material de forma ordenada en puntos de acopio en campo incluye separar, ordenar, estibar, acopiar y clasificar los residuos para su posterior traslado. El costo estimado va de 69,2 a 158,2 litros G2.día<sup>-1</sup>.

ii) Transporte. En el cálculo del costo de transporte se incluyen los siguientes ítems: capacidad de carga de la unidad de transporte, distancia en km y costos administrativos. Respecto al primer punto, se considera la capacidad de carga de un camión de dimensiones estándar para el transporte de productos forestales, contemplando un rango entre 20 y 30 Mg de capacidad. Se toma como referencia una distancia máxima de 80 km para el traslado del material a un centro de aprovechamiento. Por último, los costos administrativos asociados a los vales de tránsito como documento obligatorio que habilita el movimiento de productos forestales provenientes de bosques nativos dentro del territorio provincial en transportes registrados por autoridad de aplicación (Dirección de Recursos Naturales de La Pampa). Costo estimado: entre 7,2 y 16 litros de G2.Mg<sup>-1</sup> RF.

iii) Administrativos. Contempla los costos anuales por guías forestales, impuestos, tasas retributivas, y contribuciones. Se asume un costo fijo estimado de 11,7 litros G2.año<sup>-1</sup>.

iv) De oportunidad. Corresponde el beneficio normal pretendido como retribución al capital de trabajo afectado y el factor empresarial. Costo estimado: 60 a 213,62 litros de G2.Mg<sup>-1</sup> RF.

Los costos fijos del aprovechamiento de los residuos forestales generados por intervenciones de manejo van de 80,9 a 209,4 litros de G2.ha<sup>-1</sup>.

Los costos variables unitarios dependen de la intervención previa realizada, y van de 21,4 a 34,8 litros de G2.Mg RF<sup>-1</sup>.

#### **Indicadores para la toma de decisiones en torno al aprovechamiento biocircular**

En base a los cálculos realizados, se estima que se requieren entre de 9,8 y 20,9 Mg RF.ha<sup>-1</sup> para cubrir la totalidad de los costos. Considerando las cantidades estimadas disponibles mínimas y máximas de residuos por hectárea, el precio de venta mínimo de los residuos necesario para cubrir los costos se encuentra en el rango de 24,48 y 42,59 litros de G2.Mg RF<sup>-1</sup>.

#### **Raleo manual**

La puesta en valor de los residuos forestales, luego de la actividad de raleo manual, presenta una contribución marginal unitaria (Cmg) que va de 8,2 a 10,5 litros de G2.Mg RF<sup>-1</sup>. De acuerdo a los cálculos previos, es necesario un aprovechamiento (PE) de 9,8 a 20 Mg RF.ha<sup>-1</sup> como mínimo para cubrir todos los costos relacionados. Los precios de equilibrio (Px<sub>E</sub>), aquellos que permitirían cubrir todos los costos con los niveles de actividad previstos, van desde 24,5 a 39,2 litros de G2.Mg RF<sup>-1</sup>. Con los niveles de actividad previstos como posibles, luego de la intervención, el margen de seguridad (MS) es positivo, y va desde el 50,4 al 63 %.

#### **Topadora con rastrillo**

La actividad de aprovechamiento de residuos forestales luego de la intervención de una topadora presenta una contribución marginal unitaria (Cmg) entre 7,8 y 9,7 litros de G2.Mg RF<sup>-1</sup>. Se necesitan aprovechar (PE) de 10,4 a 21,6 Mg RF.ha<sup>-1</sup> para poder cubrir los costos relacionados a la estrategia de puesta en valor de los residuos. Los precios de equilibrio (Px<sub>E</sub>) se

**Tabla 4.** Elementos contemplados en la cadena de los residuos forestales y sus costos asociados.

**Table 4.** Elements included in the forest waste chain and their associated costs.

Elementos de la cadena forestal	Detalle	Costos (rango de min-max)
i Servicios	Separar, ordenar, estibar, acopiar y clasificar RF	69,2 - 158,2 litros G2.día <sup>-1</sup>
ii Transporte	Capacidad de carga de la unidad de transporte, distancia en km y costos administrativos	7,2 - 16 litros G2.Mg RF <sup>-1</sup>
iii Costos administrativos	Guías forestales, impuestos, tasas retributivas y contribuciones	11.7 litros G2.año <sup>-1</sup>
iv Costo de oportunidad	Retribución al capital de trabajo afectado y el factor empresarial	60 - 213,6 litros G2.Mg RF <sup>-1</sup>

Aprovechamiento biocircular de residuos forestales en bosques nativos: análisis económico de los fachineales de caldén en La Pampa deberían encontrar en el rango de los 26,8 y 42,6 litros de G2.Mg RF<sup>-1</sup>. Con los supuestos previstos, el margen de seguridad de la actividad de aprovechamiento se encuentre entre 19,7 y 37,3 %.

### ***Rolado selectivo***

El aprovechamiento de los residuos forestales nativos luego de una intervención con rolado selectivo tiene una contribución marginal unitaria (Cmg) entre 8 y 10 litros G2.Mg RF<sup>-1</sup>. Se necesitan entre 10,1 y 20,9 Mg RF.ha<sup>-1</sup> para poder cubrir los costos relacionados al aprovechamiento (PE). Los precios de equilibrio (PxE) se encuentran entre 25,7 y 41,1 litros de G2.Mg RF<sup>-1</sup>. El margen de seguridad (MS) oscila entre 33,5 y 49 %.

En Tabla 5 se resumen los resultados del costeo gerencial de acuerdo a los indicadores evaluados por tipo de intervención.

## **DISCUSIÓN**

Los resultados logrados plantean parámetros de cálculo que surgen de la bibliografía especializada y las perspectivas de los agentes calificados públicos y privados. Se exponen en rangos que magnifican el nivel de dispersión existente en un negocio que aún no cuenta con un mercado, precios, costos y volúmenes de referencia. A mayor distancia entre los mínimos y máximos mayor es el nivel de incertidumbre.

Los residuos forestales derivados del manejo de los bosques nativos en Argentina, y específicamente en el área del caldén en La Pampa, deben constituirse como un capital natural formador de cadenas económicas locales que apunten a un desarrollo social y ambientalmente sustentable (Peri, 2021). Son muy escasos los antecedentes de cuantificación

de residuos forestales o madera muestra en bosques xerófilos. Los valores de biomasa de fachineales estimados en este trabajo, como método indirecto de cuantificación de residuos forestales, superan ampliamente los resultados encontrados por Manrique et al. (2009) para arbustales de la región del Chaco, donde los valores oscilan entre 7,68 y 31,93 Mg.ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la metodología aplicada. Otros trabajos en el Chaco seco registraron valores de biomasa aérea total de 16,75 Mg.ha<sup>-1</sup> incluyendo renovales (Bonino, 2006). En términos comparativos de discusión, es importante aclarar que los fachineales estudiados en este trabajo constituyen masas de vegetación extremadamente densas, con coberturas cercanas al 100 % y una densidad que puede superar los 9.000 ind.ha<sup>-1</sup>.

Uno de los puntos de la discusión se centra en la posibilidad de poner en valor la biomasa residual generada por distintas intervenciones, en un marco complejo y heterogéneo que caracteriza los fachineales de caldén en cuanto a su fisonomía, manejo y producción. Poner en valor para convertir los residuos forestales en productos requiere de un análisis que contemple determinados aspectos tales como metodología de intervención (generación de residuos forestales), cuantificación y disponibilidad para ser aprovechados. Los métodos de cálculo deben adecuarse y operar con cierta flexibilidad, dando la posibilidad de trabajar sobre aproximaciones cuantitativas que, a su vez, necesitan ser trianguladas y complementadas con las experiencias de los actores involucrados (Ferro Moreno, 2017; Perez, 2019).

La puesta en valor eficiente de los residuos forestales necesita una tecnología adecuada y suficiente materia prima para promover sostenibilidad económica. La movilización de los residuos forestales provenientes de sistemas agroforestales se plantea como uno de los desafíos más importantes de las industrias basadas en la utilización de la biomasa como materia prima. Teniendo en cuenta que los desechos están muy dispersos, su recolección y movilización exigen altos

**Tabla 5.** Indicadores económicos del costeo gerencial evaluados por tipo de intervención.

**Table 5.** Economic indicators of managerial costing evaluated by type of intervention.

Tipo de intervención	Indicadores de costeo gerencial			
	Cmg	PE	PxE	MS
	litros de G2.Mg RF <sup>-1</sup>	Mg RF.ha <sup>-1</sup>	litros de G2.Mg RF <sup>-1</sup>	%
<i>Raleo manual</i>	8,2 - 10,5	9,8 - 20	24,5 - 39,2	50,4 - 63
<i>Topadora con rastrillo</i>	7,8 - 9,7	10,4 - 21,6	26,8 - 42,6	19,7 - 37,3
<i>Rolado selectivo</i>	8-oct.	10,1 - 20,9	25,7 - 41,1	33,5 - 49

**Cmg:** Costo marginal unitario. **PE:** punto de equilibrio (cantidad mínima de RF requerida para cubrir costos). **PxE:** precio de equilibrio. **MS:** Margen de seguridad. Los valores están expresados en rangos de mínima y máxima.

costos de transporte, impactando de forma negativa en la huella de carbono y la sostenibilidad económica (Jupta et al., 2022). En concordancia con esto, la escala espacial de análisis en el presente trabajo contempla el departamento Loventué en la provincia de La Pampa, sobre distancias mínimas y máximas de transporte.

La generación de negocios sostenibles a partir del aprovechamiento biocircular de residuos forestales puede impulsar a los productores marginales y pequeños en términos de ingresos y oportunidades de empleo (Singh et al., 2022). Fomentar estos entramados productivos asociados al manejo integrado de los bosques de caldén, implica de base, generar información a distintos niveles de análisis, que contemplen aspectos económicos, sociales y ambientales. Considerar una amplitud de análisis capaz de dar respuesta a situaciones similares en distintas áreas de bosque de la provincia.

La cuantificación y puesta en valor de los residuos forestales en fachinales del bosque de caldén resulta el punto de partida para proyectar estrategias productivas activadoras de economías biocirculares a nivel provincial, generadoras de oportunidades reales y sostenibles de aprovechamiento (Singh et al., 2022) de los recursos naturales endógenos del territorio. Esta línea de trabajo continua en investigaciones futuras sobre alternativas y propuestas concretas de aprovechamiento de los residuos forestales en el ámbito provincial.

## REFLEXIONES FINALES

Las intervenciones que se realizan en los bosques nativos de la provincia de La Pampa tienen por objetivos mejorar la producción ganadera y disminuir los riesgos de incendios. Los residuos de biomasa leñosa que se generan producto de las intervenciones, diversos en calidad y disponibilidad, no son utilizados y aprovechados en términos generales. Su gestión convencional de no aprovechamiento y acumulación en campo genera una problemática a nivel predial que puede ser visto como una oportunidad en el marco de la bioeconomía circular. En el área bajo estudio, se estimó que se podrían generar 33,1 y 44,8 Mg de residuos forestales por hectárea potenciales a ser aprovechados post intervención.

La disponibilidad de residuos para ser aprovechados varía de acuerdo al tipo de

intervención y su metodología de acción: raleo manual, topadora con rastrillo o rolado selectivo. Los costos para su aprovechamiento implican considerar el servicio de acopio y clasificación del material, transporte de productos a destino, costos administrativos y de oportunidad. Estos son todos componentes necesarios para analizar la viabilidad del aprovechamiento de los residuos forestales.

Al plantearse como un negocio biocircular, que no tiene un mercado consolidado, fue necesario estimar y suponer costos, precios y volúmenes posibles, medidos en rangos determinados por los datos mínimos y máximos recabados en las entrevistas y consultas realizadas. En base a las estimaciones, todos los escenarios plantean resultados económicos positivos, condicionados bajo los siguientes supuestos relevantes: i) la cantidad de residuos generados y con potencial de ser aprovechados; ii) el supuesto rango de precios de mercado (proporcional al precio de la leña) y iii) la existencia de una demanda derivada con capacidad para agregar valor a los residuos forestales.

Para garantizar la sostenibilidad de las estrategias biocirculares es necesario que se retribuyan los factores productivos, se generen relaciones ganar-ganar entre los actores y se acuerden mecanismos de gobernanza de mediano y largo plazo. Por este motivo, dentro de la estructura de costos, se incorporó el concepto de costo de oportunidad del capital de trabajo invertido, para que signifique un negocio posible para las explotaciones agropecuarias. Los precios de referencia no deberían ser menores a los calculados en el trabajo, con el fin de incentivar la oferta y aumentar la escalabilidad de la cadena de valor.

Los cálculos de costos e indicadores de gestión agregados, medidos en rangos y cuantificados en litros de combustible, permiten aproximaciones basadas en estimaciones cuanti y cualitativas. Estos cálculos son un insumo relevante pero no suficiente para mejorar los procesos de toma de decisiones. Se necesita trabajar en detalle casos concretos e investigaciones que aborden en profundidad las variables clave y avancen en los atributos que la demanda final y derivada reconocen como calidad y están dispuestos a pagar. En próximos estudios se debe avanzar en alternativas concretas de aprovechamiento sobre la base de antecedentes nacionales e internacionales de la

actividad forestal. Analizar las posibilidades sociales, ambientales, tecnológicas y económicas que agreguen valor a los residuos forestales e impacten positivamente en el desarrollo sostenible de la región.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado en el marco del proyecto de investigación I- 164/19 FA de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. Forma parte de la tesis doctoral en Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de La Plata de la primera autora. Se agradece a la Facultad de Agronomía por otorgar los medios necesarios para la realización de los relevamientos en distintos establecimientos rurales para la cuantificación de los residuos forestales. A docentes y estudiantes participantes del proyecto de investigación que acompañaron en los muestreos y procesamiento de datos. A la Dirección General de Recursos Naturales de La Pampa por permitir el acceso a información sobre planes de manejo dentro del departamento Loventué. Actores clave del complejo forestal por su colaboración y predisposición a responder consultas e interrogantes para respaldar los supuestos establecidos en el análisis: especialistas en trabajo manual, contratistas, profesionales técnicos/as responsables de planes de manejo de bosque nativo en el marco de la ley nacional 26.331 y ley provincial 2624.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adema, E. O. (2006). Recuperación de pastizales mediante rolado en el Caldén y en el Monte Occidental. Publ. Técnica N° 65. Ed. INTA Anguil.
- Álvarez Redondo, M. y Adema, E. (2018). Capacidad de retención de agua por el dosel de los arbustos en la región árida-semiárida central de Argentina. *Semiárida*, 28(1), 31-40. [https://doi.org/10.19137/semiárida.2018\(01\).3140](https://doi.org/10.19137/semiárida.2018(01).3140)
- Amato, C. N. (2023). (Bio) Economía circular para el desarrollo productivo local: Discusión teórica y análisis conceptual. *Territorios Productivos*, (1). <https://territoriosproductivos.unvm.edu.ar/ojs/ind ex.php/territoriosproductivos/article/view/616>
- Bisang, R. (2022). La bioeconomía como nueva apuesta estratégica para el desarrollo regional. Módulo 1. Elementos fundamentales de la bioeconomía en ALC: una apuesta estratégica para la región. Material del Curso de Posgrado "Bioeconomía para la agroindustria y los territorios rurales: buenas prácticas y lecciones aprendidas". Costa Rica: IICA.
- Blanco Gonzales, J., García de La Fuente, L. y Álvarez García, M. A. (2013). Condicionantes

económicos del aprovechamiento de biomasa forestal con fines energéticos. Una revisión de las estimaciones para el norte de España. *Estudios de Economía Aplicada*, 31(1), 127-150. <https://www.redalyc.org/pdf/301/30126353003.pdf>

- Bocchetto, R., Gauna, D., Bravo, G., González, C., Rearte, M., Molina Tirado, L., Hilbert, J., Eisenberg, P., Lecuona, R., Taraborrelli, D., Papagno, S. y Vaudagna, S. (2020). Bioeconomía del Norte Argentino: situación actual, potencialidades y futuros posibles. Proyecto "Bioeconomía Argentina: Construyendo un Futuro Inteligente y Sustentable para el Norte Argentino 2030". MINCyT - INTA-INTI- UNNE-UNSA-UNSE. Documento de Trabajo. Buenos Aires. <https://repositorio.inta.gov.ar/xmlui/handle/20.500.12123/8662>
- Bonino, E. E. (2006). Changes in carbon pools associated with a land-use gradient in the dry Chaco, Argentina. *Forest Ecology and Management*, 223, 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.069>
- Bottaro, O., Rodríguez Jauregui, H. y Yárdin, A. (2004). *El comportamiento de los costos y la gestión de la empresa*. Editorial La Ley.
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests. FAO Montes 134. Roma, Italia. [https://www.researchgate.net/publication/239974368\\_Estimating\\_Biomass\\_and\\_Biomass\\_Change\\_of\\_Tropical\\_Forests\\_A\\_Pri mer](https://www.researchgate.net/publication/239974368_Estimating_Biomass_and_Biomass_Change_of_Tropical_Forests_A_Pri mer)
- Bryan, B.A., Ward, J., & Hobbs, T. (2008). An assessment of the economic and environmental potential of biomass production in an agricultural region. *Land Use Policy*, 25(2008), 553-549. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.11.003>
- Cabrera, A. L. (1976). *Regiones fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Segunda Edición. 2 (1). Buenos Aires.
- Cano, E., Fernández, B. y Montes, M. A. (1980). *Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa*. INTA, Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, Argentina.
- Chen, J., Fang, X., Wu Anchi, X, W, Lei, P. & Shuai, O. (2023). Allometric equations for estimating biomass of natural shrubs and young trees of subtropical forests. *New Forests*. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-023-09963-z>
- De Fina, A. L. y Ravelo, A. (1985). *Climatología y fenología agrícolas*. Eudeba.
- Dyderski, M. K. & Jagodziński, A. M. (2021) How do invasive trees impact shrub layer diversity and productivity in temperate forests?. *Annals of Forest Science*, 78(1), 20. <https://doi.org/10.1007/S13595-021-01033-8>
- Estelrich, D., Chirino, C., Morici, E. A. y Fernández, B. (2005). Modelo conceptual de funcionamiento de áreas naturales cubiertas por bosque y pastizal en la región semiárida central de Argentina. En M. Oesterheld, M. Aguiar, C. M. Ghersa, y J. Paruelo (eds). *La Heterogeneidad de la Vegetación de los Agroecosistemas. Un Homenaje a Rolando León*, (pp. 85-108). Ed.

- Álvarez Redondo, M. y Ferro Moreno, S.  
Facultad de Agronomía, UBA.
- Estelrich, H. D., Morici, E. F., Suárez, C. E., Ernst, R. D., Álvarez Redondo, M. y López, G. E. (2021). Manejo sustentable del bosque: intervenciones sobre pajonales, renovales y fachinales en La Pampa. En H. D. Estelrich, E.F.A. Morici y C. E. Suárez (Eds.). *Ecología vegetal - FA UNLPam*. 1a ed. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/7961>
- Estelrich, H. D. y Suárez, C. E. (Eds.). (2022). *El bosque de caldén: un abordaje multidisciplinario para su manejo y conservación*. 1ª edición, Santa Rosa (La Pampa) EdUNLPam (Libro académico de interés regional). 280p.
- Ferro Moreno, S. (2017). *Costos para la administración. Aplicaciones en negocios agroalimentarios*. EdUNLPam.
- Ferro Moreno, S., Pérez, S., Formaggio, M., Vessoni, M., Paturlanne, J., Bonacci, G. y Mariano, R. (2019). Análisis económico y comercial del complejo de productos forestales nativos de La Pampa: actores, costos y agregado de valor. Ministerio de la Producción, Gob. de La Pampa. Fac. de Agronomía-UNLPam.
- Formaggio, M. y Vessoni, M. (2019). Incidencia relativa de los costos en el complejo de productos forestales nativos de La Pampa: otra aplicación de la cadena de valor. *Revista Negocios Agroalimentarios*, 4(2), 19-22. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/8297>
- Gaillard de Benítez, C., Pece, M., Juárez de Galindez, M., Vélez, S., Gómez, A. y Zárate, M. (2002). Determinación de funciones para la estimación de biomasa aérea individual en jarilla (*Larrea divaricata*) de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Foresta Veracruzana*, 4(2), 23-28. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49740204.pdf>
- González, R. L., Ferro Moreno, S., Pérez, S. A. y Mariano, R. C. (2023). Aportes biocirculares para el entramado ganadero cárnico bovino de La Pampa, Argentina. En Buera, M. (comp.). Segunda Jornada Iberoamericana sobre Herramientas para Implementar Economías Circulares en Procesos.
- González, R. L., Pérez, S. A., Mariano, R. C. y Ferro Moreno, S. (2022). Revisión del concepto economía circular: análisis bibliométrico. *Revista Negocios Agroalimentarios*, 7(2), 15-22. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/8301>
- Grassi, S. (2020). Feedlot y contaminación ambiental. Economía circular en el sector ganadero. [Tesis de grado]. Escuela de negocios, Universidad de San Andrés, Argentina.
- Hierro, J. L., Branch, L. C., Villarreal, D. y Clark, K. L. (2000). Predictive equations for biomass and fuel characteristics of Argentine shrubs. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 53(6), 617-621.
- Iglesias, M. R. y Barchuk, A. H. (2010). Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina). *Ecología Austral*, 20(1), 71-79. [https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia\\_Austral/article/view/1328](https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/1328)
- Jupta, J., Kumari, M., Mishra, A., Swati, A., kram M., & Shekhar Thakur, I. (2022). Agro-forestry waste management- A review. *Chemosphere*, 287(3), 132-321. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132321>
- Ley Nacional N° 26.331 de 2007. Ley de presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos. 19 de diciembre de 2007. B.O. N° 31.310. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26331-136125/texto>.
- Ley Provincial N° 2624 de 2011. Declarando de interés provincial la restauración y conservación y aprobando el ordenamiento territorial de los bosques nativos de la provincia de La Pampa. 30 de junio de 2011. Sep. B.O. N° 2951. <https://digesto.tcuentalp.gob.ar/digesto%20tribunal/Leyes/Ley%202624.html>
- Li, Y., Li, M., Li, C. & Liu, Z. (2020). Forest aboveground biomass estimation using Landsat 8 and Sentinel-1A data with machine learning algorithms. *Scientific Reports*, 10, 9952. <http://doi.org/10.1038/s41598-020-67024-3>
- Luna Florin, A. D., Sánchez Asanza, A.W., Maza, J. E. y Castillo Figueroa, J. E. (2021). Biomasa forestal y captura de carbono en el bosque seco de la Reserva Ecológica Arenillas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 140-146. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/480>
- Maestre, F. T., Salguero-Gómez, R. & Quero, J. I. (2012). It is getting hotter in here: determining and projecting the impacts of global environmental change on drylands. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Journal*, 367, 3062-3075. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2011.0323>
- Mallo, P., Artola, M., Galante, M., Pascual, M., Moretino, M. y Busetto, A. (2004). Análisis de Costo-Volumen-Utilidad bajo condiciones de incertidumbre. XXVII Congreso Argentino de Profesores Universitarios de Costos. Tandil, noviembre de 2004. <https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/921/>
- Mani, S. & Parthasarathy, N. (2007). Above-ground biomass estimation in ten tropical dry evergreen forest sites of peninsular India. *Biomass and bioenergy*, 31, 284-290. [https://www.researchgate.net/publication/222833137\\_Above-ground\\_biomass\\_estimation\\_in\\_ten\\_tropical\\_dry\\_evergreen\\_forest\\_sites\\_of\\_peninsular\\_India](https://www.researchgate.net/publication/222833137_Above-ground_biomass_estimation_in_ten_tropical_dry_evergreen_forest_sites_of_peninsular_India)
- Manrique, S. M., Franco, J., Núñez, V. y Seghezzo, L. (2009). Estimación de densidad de biomasa aérea en ecosistemas naturales de la provincia de salta. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 13. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97552>
- Marshall, D., O'Dochartaigh, A., Prothero, A., Reynolds, O. & Secchi, E. (2023). Are you ready for the sustainable, biocircular economy?. *Business Horizons*, 66(6), 805-816. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2023.05.002>
- Mercado Ramos, G. (2016). La Bioeconomía - concepto y aplicación al desarrollo rural. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(2), 188-193. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2409-16182016000200008](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182016000200008)
- Montero, M. y Montagnini, F. (2005). Modelos alométricos

- para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Revista Recursos Naturales y Ambiente, Costa Rica*, 45, 112-119. [https://www.researchgate.net/publication/284401254\\_Modelos\\_alometricos\\_para\\_la\\_estimacion\\_de\\_biomasa\\_de\\_diez\\_especies\\_nativas\\_en\\_plantaciones\\_en\\_la\\_region\\_Atlantica\\_de\\_Costa\\_Rica](https://www.researchgate.net/publication/284401254_Modelos_alometricos_para_la_estimacion_de_biomasa_de_diez_especies_nativas_en_plantaciones_en_la_region_Atlantica_de_Costa_Rica)
- Morici, E., Doménech García, V., Gómez Castro, G., Kin, A., Sáenz, A. y Rabotnikof, C. (2009). Diferencias Estructurales entre parches de pastizal del caldenal y su influencia sobre el banco de semillas, en la provincia de La Pampa, Argentina. *Agrociencia*, 43(5), 529-537.
- Northup, B. K., Zitzerb, S. F., Archerc, S., Mcurmtryc, C. R. & Boutton, T. W. (2005). Above-ground biomass and carbon and nitrogen content of woody species in a subtropical thornscrub parkland. *Journal of Arid Environments*, 62, 23-43. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.09.019>.
- Perez, S. A. (2019). Estructura y funciones del complejo de productos forestales en la provincia de La Pampa, Argentina. [Trabajo final de graduación Licenciatura en Administración de Negocios Agropecuarios]. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Pampa. <https://repositorio.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/1603>
- Peri, P. L. (2021). Uso sostenible del bosque: Aportes desde la Silvicultura Argentina. 1ª edición especial. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/uso\\_sostenible\\_del\\_bosque\\_web.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/uso_sostenible_del_bosque_web.pdf)
- Phillips, O. L., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurance, W. F., Nu Ez, P. V., Vasquez, R. M., Laurance, S. G., Ferreria, L. V., Stern, M., Brown, S., & Grace, J. (1998). Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plots. *Science*, 282, 439-442.
- Poza Rodríguez, N. (2021). Rediseño de la cadena de suministro cárnica en base a la economía circular. El papel del consumidor en la transición ecológica. [Tesis], Facultad de Economía y empresas. Universidad de Zaragoza, España. <https://zaguan.unizar.es/record/100944?ln=es>
- Requea, J. A., Sarasola, M., Gyenge, J. y Fernández, M. E. (2007). Caracterización silvícola de firantales del norte de la Patagonia para la gestión forestal sostenible. *Bosque*, 28(1), 33-45. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002007000100006](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002007000100006)
- Reyes-Cárdenas, O., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Cuéllar-Rodríguez, L. G., Flores-Garnica, J. G. y Cárdenas-Tristán, A. (2019). Modelización de biomasa forestal aérea mediante técnicas deterministas y estocásticas. *Madera y bosques*, 25(1), e2511622. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511622>
- Risio, L., Herrero, C., Bogino, S. M. y Bravo, F. (2013). Estimación de biomasa aérea y subterránea en bosques nativos de *Prosopis caldenia* en la pampa semiárida Argentina. VI Congreso Forestal Español. completar datos del congreso según APA
- Roberto, Z y Carreño, L. (2018). Estado actual del Bosque Nativo Pampeano: Tipos fisonómicos de vegetación. INTA EEA Anguil, Ministerio de Agroindustria, Ministerio de la Producción Gov. de La Pampa. Publicación Técnica N° 107. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/2895?show=full>
- Salazar Zarzosa, P., Navarro-Cerrillo, R. M., Palacios Mc Cubbin, E., Cruz, G., & López, M. (2023). Biomass estimation models for four priority *Prosopis* species: Tools required for forestry management in overexploited arid ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 209, 104904. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196322001999?via%3Dihub>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación [SAYDS]. (2006). Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Segunda Etapa. Inventario de campo de la Región Espinal, Distrito Caldén y Nandubay. Anexo I: Estado de conservación del Distrito Caldén, Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas, Préstamo BIRF 4085 AR, Buenos Aires, Argentina. [https://dm.lapampa.gob.ar/images/Archivos/Bosque\\_Calden/Estado\\_de\\_Conservacion\\_del\\_Distrito\\_Calden.pdf](https://dm.lapampa.gob.ar/images/Archivos/Bosque_Calden/Estado_de_Conservacion_del_Distrito_Calden.pdf)
- Singh, A. D., Gajera, B. & Sarma, A. K. (2022). Appraising the availability of biomass residues in India and their bioenergy potential. *Waste Management*, 152, 38-47.
- Sione, S. M. J., Ledesma, S. G., Rosenberger, L. J., Oszust, J. D., Andrade Castañeda, H. J., Maciel, G. O., Wilson, M. G. y Sasal, M. C. (2020b). Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para *Prosopis nigra* Griseb. Hieron "algarrobo negro" (Fabaceae) en bosques de Entre Ríos (Argentina). *Agronomía & Ambiente*, 40(1), 63-76. <http://agronomiyambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/122/104>
- Varela Miranda, B., Monteiro, G. & Rodrigues, V. (2021). Circular agrifood systems: a governance perspective for the analysis of sustainable agrifood value chains. *Technological Forecasting and Social Change*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120878>
- Vázquez, P., Adema, E. y Fernández, B. (2013). Dinámica de la fenología de la vegetación a partir de series temporales de NDVI de largo plazo en la provincia de La Pampa. *Ecología Austral*, 23, 77-86. <https://doi.org/10.25260/EA.13.23.2.0.1163>
- Wierny, M., Coremberg, A., Costa, R., Trigo, E. y Regúnaga, M. (2015). Medición de la Bioeconomía: Cuantificación del caso argentino, Bolsa de Cereales de Buenos Aires, Buenos Aires. <http://bibliotecadigital.bolsadecereales.com.ar/greenstone/collect/bolcer/index/assoc/HASH017b.dir/Medicion%20de%20la%20bioeconomia.pdf>