



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

# ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE DE BIOMASA CON FINES ENERGÉTICOS EN LA ARGENTINA

COLECCIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS

N.º 19



# ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE DE BIOMASA CON FINES ENERGÉTICOS EN LA ARGENTINA

---

**Proyecto para la promoción de la energía  
derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG)**

FAO. 2020. *Actualización del balance de biomasa con fines energéticos en la Argentina*. Colección Documentos Técnicos N.º 19. Buenos Aires. <https://doi.org/10.4060/ca8764es>

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. Las líneas discontinuas en los mapas representan fronteras aproximadas respecto de las cuales puede que no haya todavía pleno acuerdo. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

**ISBN 978-92-5-132488-2**

© FAO, 2020



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO); <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>.

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: "La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en [idioma] será el texto autorizado".

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

**Materiales de terceros.** Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

**Ventas, derechos y licencias.** Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org). Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request).

Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

Este documento fue realizado en el marco del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG), iniciativa de los siguientes ministerios:

#### **Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca**

Luis Eugenio Basterra  
Ministro de Agricultura, Ganadería y Pesca

Marcelo Alós  
Secretario de Alimentos, Bioeconomía  
y Desarrollo Regional

Miguel Almada  
Director de Bioenergía

#### **Ministerio de Desarrollo Productivo**

Matías Sebastián Kulfas  
Ministro de Desarrollo Productivo

Sergio Enzo Lanziani  
Secretario de Energía

Ángel Guillermo Martín Martínez  
Director Nacional de Energías Renovables

---

#### **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura**

Hivy Ortiz Chour  
Oficial Forestal Principal  
Oficina Regional América Latina

Francisco Yofre  
Oficial de Programas  
Oficina Argentina

Francisco Denaday  
Celina Escartín  
Guillermo Parodi  
Emilio Spinazzola  
Autores

Verónica González  
Coordinación Colección

Sofía Damasseno  
Colaboración Colección

Alejandra Groba  
Edición y corrección

Mariana Piuma  
Diseño e ilustraciones



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

# ÍNDICE

Prólogo	ix		
Agradecimientos	xi		
Siglas y acrónimos	xiii		
Unidades de medida	xv		
Fórmulas químicas	xv		
Resumen ejecutivo	xvi		
<hr/>			
<b>1.</b>			
<b>Introducción</b>	<b>1</b>		
<hr/>			
<b>2.</b>			
<b>Bioenergía</b>	<b>5</b>		
2.1 La bioenergía en Argentina	6		
2.2 Programa RenovAr	6		
<hr/>			
<b>3.</b>			
<b>Metodología WISDOM</b>	<b>11</b>		
3.1 Sistemas bioenergéticos	11		
3.2 Pasos analíticos	13		
3.3 Unidad de análisis y resolución espacial	14		
<hr/>			
<b>4.</b>			
<b>Oferta directa total</b>	<b>17</b>		
4.1 Cultivos	17		
4.2 Formaciones nativas	25		
4.3 Síntesis de oferta directa total	30		
<hr/>			
<b>5.</b>			
<b>Oferta directa accesible</b>	<b>35</b>		
5.1 Accesibilidad física	35		
5.2 Accesibilidad legal	38		
5.3 Accesibilidad total	39		
5.4 Oferta directa accesible	39		
<hr/>			
<b>6.</b>			
<b>Oferta indirecta</b>	<b>47</b>		
6.1 Industrias	47		
6.2 Síntesis de oferta indirecta	53		
<hr/>			
<b>7.</b>			
<b>Demanda</b>	<b>57</b>		
7.1 Consumo residencial, comercial, industrial y escolar	57		
7.2 Síntesis de la demanda	66		
<hr/>			
<b>8.</b>			
<b>Integración de la oferta y la demanda</b>	<b>71</b>		
<hr/>			
<b>9.</b>			
<b>Oferta de biomasa húmeda</b>	<b>79</b>		
9.1 <i>Feedlots</i> , establecimientos porcinos y tambos	80		
9.2 Síntesis de biomasa húmeda de producciones ganaderas	88		
9.3 Ingenios	88		
<hr/>			
<b>10.</b>			
<b>Conclusiones</b>	<b>95</b>		
<hr/>			
<b>11.</b>			
<b>Recomendaciones</b>	<b>97</b>		
<hr/>			
<b>Bibliografía</b>	<b>98</b>		
<hr/>			
<b>Anexo I. Marco normativo</b>	<b>102</b>		
<b>Anexo II. Clases de coberturas arbóreas adoptadas por el FRA 2000</b>	<b>103</b>		

## Cuadros

Cuadro 1	Clasificación de las fuentes de biocombustibles	7
Cuadro 2	Superficie cultivada de arroz y estimación del residuo potencial de biomasa en Entre Ríos, Formosa y Santa Fe	18
Cuadro 3	RAC de caña de azúcar en función del rendimiento del cultivo en Tucumán	19
Cuadro 4	Biomasa forestal potencialmente disponible para fines energéticos, por provincia	21
Cuadro 5	Oferta directa total de cultivos por provincia	27
Cuadro 6	Valores de IMA de bosque nativo utilizados en el modelo diferenciado por provincias fitogeográficas	29
Cuadro 7	Extracción de productos forestales por provincia (promedio anual 2012-2015)	30
Cuadro 8	Coeficientes asignados por tipo de red vial	36
Cuadro 9	Coeficientes asignados a cada tipo de área natural protegida	38
Cuadro 10	Coeficientes según OTBN	38
Cuadro 11	Oferta directa accesible de cultivos por provincia	43
Cuadro 12	Oferta directa y oferta directa accesible de formaciones nativas por provincia	44
Cuadro 13	Oferta indirecta de las industrias forestales por provincia	49
Cuadro 14	Oferta indirecta total por fuente y por provincia	55
Cuadro 15	Consumo de biomasa de autogeneradores por provincia	58
Cuadro 16	Consumo de biomasa de carboneras por provincia	59
Cuadro 17	Consumo de biomasa de cementeras por provincia	59
Cuadro 18	Coeficiente de consumo de leña por alumno en cada provincia	60
Cuadro 19	Coeficiente de consumo de leña per cápita y consumo residencial por provincia	61
Cuadro 20	Consumo de biomasa de ingenios por provincia	63
Cuadro 21	Consumo de biomasa de ladrilleras por provincia	63
Cuadro 22	Consumo de leña de panaderías por provincia	64
Cuadro 23	Consumo de biomasa de parrillas por provincia, en carbón vegetal y en leña	65
Cuadro 24	Consumo de biomasa de secaderos de té y yerba mate	66
Cuadro 25	Consumo de biomasa de tabacaleras	66
Cuadro 26	Consumo de biomasa total, por sector y por provincia	67
Cuadro 27	Resumen de oferta directa accesible, oferta indirecta, demanda y balance de biomasa, por provincia	72
Cuadro 28	Potencial de generación de biogás por tipo de producción animal	81
Cuadro 29	Potencial de biogás por provincia para <i>feedlots</i> , tambos y establecimientos porcinos	89
Cuadro 30	Potencial de biogás a partir de vinaza por provincia	90
Cuadro 31	Coberturas y definiciones FAO	103

---

## Mapas

Mapa 1	Oferta directa de forestaciones de la Mesopotamia	22
Mapa 2	Oferta directa de forestaciones de la Patagonia	24
Mapa 3	Oferta directa de cultivos a nivel nacional	28
Mapa 4	IMA disponible de bosques nativos	31
Mapa 5	Oferta directa total	32
Mapa 6	Accesibilidad física	37
Mapa 7	Accesibilidad legal	40
Mapa 8	Accesibilidad total	41
Mapa 9	Oferta directa accesible	42
Mapa 10	Oferta indirecta a partir de residuos generados por bodegas	48
Mapa 11	Distribución y volumen de producción de las industrias forestales	50
Mapa 12	Distribución de las fuentes de oferta indirecta	54
Mapa 13	Demanda de hogares estimada a partir de radios censales	62
Mapa 14	Distribución de la demanda a nivel nacional	69
Mapa 15	Balance promedio focalizado	73
Mapa 16	Balance por departamento	74
Mapa 17	Oferta total accesible, por departamento	75
Mapa 18	Demanda por departamento	76
Mapa 19	Potencial de biogás de <i>feedlots</i> a nivel nacional	82
Mapa 20	Potencial de biogás de <i>feedlots</i> en la zona central y norte del país	83
Mapa 21	Potencial de biogás de establecimientos porcinos a nivel nacional	84
Mapa 22	Potencial de biogás de establecimientos porcinos en la zona central del país	85
Mapa 23	Potencial de biogás de tambos a nivel nacional	86
Mapa 24	Potencial de biogás de tambos en la zona central del país	87
Mapa 25	Potencial de biogás a partir de vinaza a nivel nacional	91
Mapa 26	Potencial de biogás a partir de vinaza en las provincias de Tucumán, Salta y Jujuy	92

---

## Gráficos

Gráfico 1	Composición de la oferta interna de energía primaria en la Argentina	8
Gráfico 2	Modelo conceptual WISDOM Argentina	15
Gráfico 3	Aporte relativo de biomasa con fines energéticos por cultivo a nivel nacional	26
Gráfico 4	Consumo de biomasa por sectores, en porcentaje	68
Gráfico 5	Aporte relativo de <i>feedlots</i> , tambos y establecimientos porcinos al potencial de biogás	88



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

---

# Prólogo

La matriz energética argentina está conformada, en su gran mayoría, por combustibles fósiles. Esta situación presenta desafíos y oportunidades para el desarrollo de las energías renovables, ya que la gran disponibilidad de recursos biomásicos en todo el territorio nacional constituye una alternativa eficaz frente al difícil contexto energético local e internacional.

En este escenario, en 2015, la República Argentina promulgó la Ley 27191, *Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica* -que modificó la Ley 26190-, con el objetivo de fomentar la participación de las fuentes renovables hasta que estas alcancen un 20% del consumo de la energía eléctrica nacional en 2025, que otorgó a la biomasa una gran relevancia.

La biomasa es una de las fuentes de energía renovable más confiables, es constante y se puede almacenar, lo que facilita la generación térmica y eléctrica. En virtud de sus extraordinarias condiciones agroecológicas, y las ventajas comparativas y competitivas de su sector agroindustrial, la Argentina es un gran productor de biomasa con potencial energético.

La energía derivada de biomasa respeta y protege el ambiente, genera nuevos puestos de trabajo, integra comunidades energéticamente vulnerables, reduce la emisión de gases de efecto invernadero, convierte residuos en recursos, moviliza inversiones y promueve el agregado de valor y nuevos negocios.

No obstante, aún existen algunas barreras y desafíos de orden institucional, legal, económico, técnico y sociocultural que deben superarse para incrementar, de acuerdo con su potencial, la proporción de bioenergía en la matriz energética nacional.

En este marco, en 2012, se creó el Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa – UTF/ARG/020/ARG (PROBIOMASA), una iniciativa que llevan adelante el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca y el Ministerio de Desarrollo Productivo, con la asistencia técnica y administrativa de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

El Proyecto tiene como objetivo principal incrementar la producción de energía térmica y eléctrica derivada de biomasa a nivel local, provincial y nacional, para asegurar un creciente suministro de energía limpia, confiable y competitiva y, a la vez, abrir nuevas oportunidades agroforestales, estimular el desarrollo regional y contribuir a mitigar el cambio climático.

---

Para lograr ese propósito, el Proyecto se estructura en tres componentes principales con objetivos específicos:

- Estrategias bioenergéticas: asesorar y asistir, legal, técnica y financieramente, a proyectos bioenergéticos y tomadores de decisión para aumentar la participación de la energía derivada de biomasa en la matriz energética.
- Fortalecimiento institucional: articular con instituciones de nivel nacional, provincial y local a fin de evaluar los recursos biomásicos disponibles para la generación de energía aplicando la metodología WISDOM (*Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping*, Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles).
- Sensibilización y extensión: informar y capacitar a los actores políticos, empresarios, investigadores y público en general acerca de las oportunidades y ventajas que ofrece la energía derivada de biomasa.

Esta Colección de Documentos Técnicos pone a disposición del público estudios, guías y recomendaciones sobre aspectos específicos de la generación de energía derivada de biomasa, elaborados por consultoras y consultores del Proyecto e instituciones parte, con el propósito de contribuir tanto al desarrollo de negocios como al diseño, formulación y ejecución de políticas públicas que promuevan el crecimiento del sector bioenergético en la Argentina.

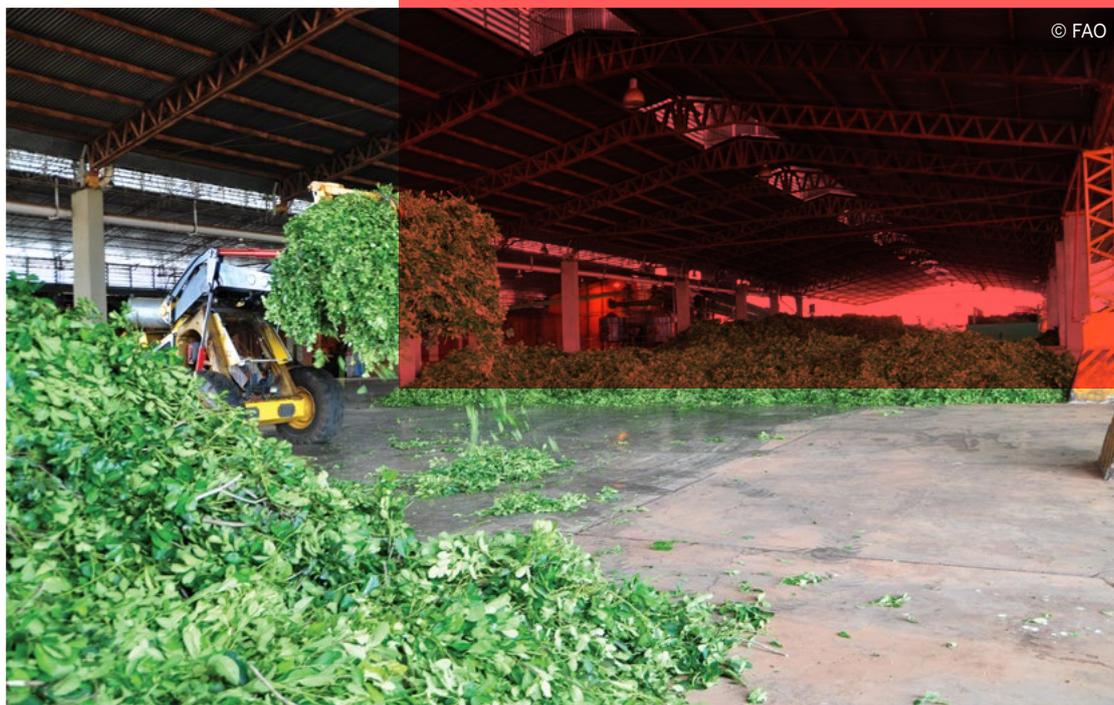
---

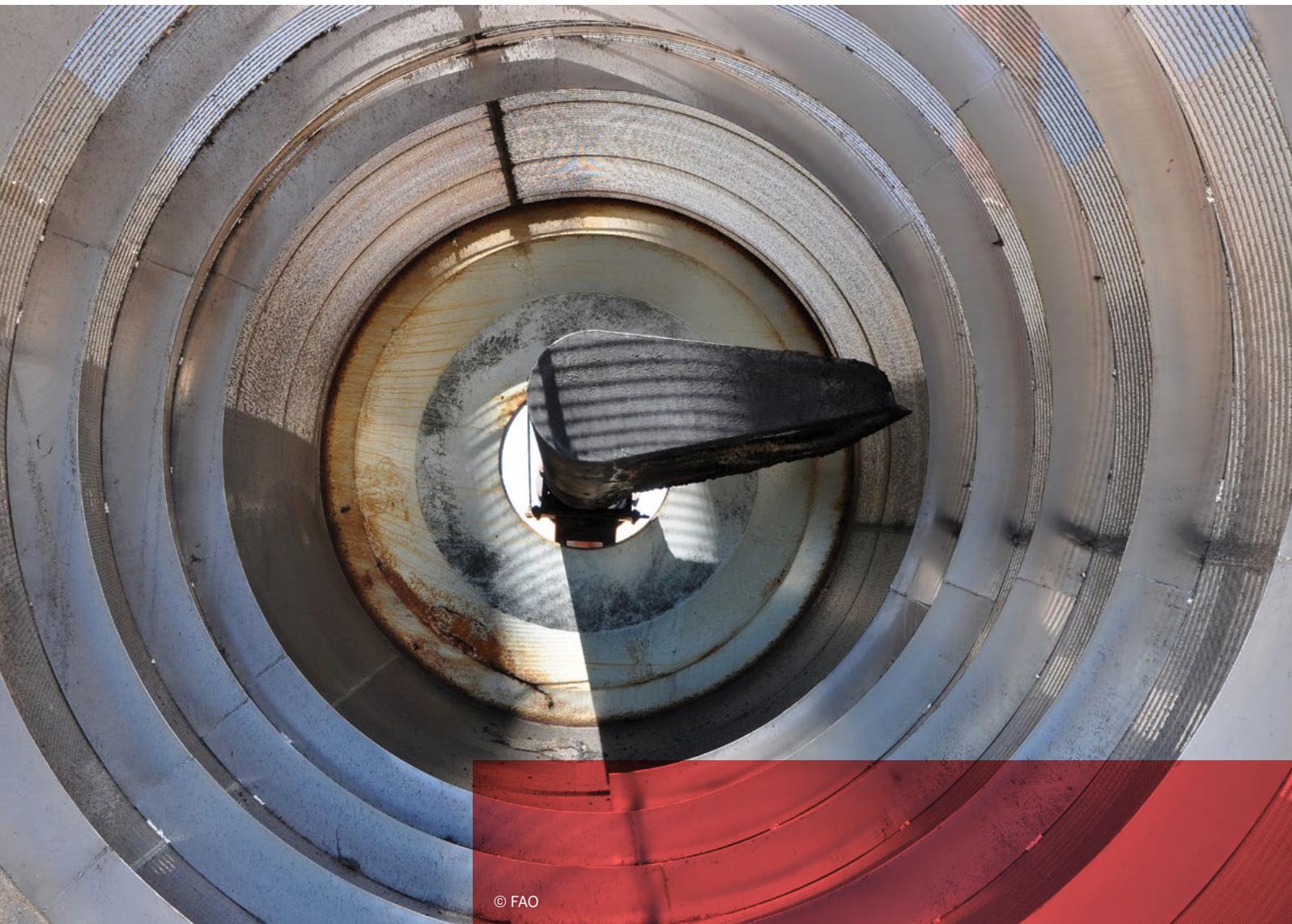
# Agradecimientos

El carácter multidisciplinario del análisis espacial de la disponibilidad de biomasa con fines energéticos requirió la interacción de un gran número de instituciones y especialistas, sin cuya colaboración no hubiese sido posible el desarrollo de este trabajo.

Cabe un agradecimiento a la extensa lista de colaboradores de los siguientes organismos nacionales y provinciales: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP); Secretaría de Gobierno de Energía; Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable; Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología; Dirección Nacional de Estudios Sectoriales y Regionales del Ministerio de Hacienda; Fondo Especial del Tabaco (FET); Instituto Geográfico Nacional (IGN); Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP); Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC); Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA); Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI); Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial del MAGyP.

Finalmente, se agradece en particular a todos los técnicos que participaron en la elaboración de los WISDOM provinciales.





© FAO

---

# Siglas y acrónimos

ACPA	Asociación Correntina de Plantadores de Arroz
ADEMA	Asociación de Empresarios Madereros y Afines
AFCP	Asociación de Fabricantes de Cemento Portland
AFOA	Asociación Forestal Argentina
BAHRA	Base de Asentamientos Humanos de la República Argentina
BEN	Balance Energético Nacional
CAA	Centro Azucarero Argentino
CAFITUC	Cámara de Foresto Industria de Tucumán
CAM	Cámara Argentina del Maní
CNPHyV	Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas
CREA	Consortio Regional de Experimentación
CTM	Cooperativa Agroindustrial de Misiones
DAP	Diámetro a la altura del pecho
DB	Dirección de Bosques
DPF	Dirección de Producción Forestal
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EA	Ecuaciones alométricas
EEA	Estación Experimental Agropecuaria
EEAOC	Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres
EGO	<i>Environment for Geoprocessing Objects</i>
ENARSA	Energía Argentina SA
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
FEB	Factores de expansión de biomasa
FECIER	Federación del Citrus de Entre Ríos
FET	Fondo Especial del Tabaco
FODER	Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GENREN	Generación de Energía Eléctrica a partir Fuentes Renovables
HRVIR	<i>High-Resolution Stereoscopic</i>
IDR	Instituto de Desarrollo Rural
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IMA	Incremento medio anual
INDEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial
INV	Instituto Nacional de Vitivinicultura
INYM	Instituto Nacional de la Yerba Mate
IPCVA	Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina

IRS	<i>Indian Remote Sensing</i>
LISS	<i>Linear Imaging Self Scanning Sensor</i>
MAGyP	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación
MDE	Modelo Digital de Elevaciones
MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
MINAGRO	ex Ministerio de Agroindustria de la Nación
MINEM	ex Ministerio de Energía y Minería
MINPLAN	ex Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios
NOA	Noroeste Argentino
OTBN	Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos
PERMER	Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales
PRECOP	Proyecto de Eficiencia de Cosecha y Postcosecha de Granos
PROSAP	Programa de Servicios Agrícolas Provinciales
RAC	Residuos agrícola de cosecha
RER	Relevamiento de Escuelas Rurales
RIDES	Red de Información para el Desarrollo Productivo
RSU	Residuos sólidos urbanos
SA	Sociedad Anónima
SAyDS	ex Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable
SEGEMAR	Servicio Geológico Minero Argentino
SENASA	Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria
SIG	Sistema de información geográfica
SPOT	<i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNSE	Universidad Nacional de Santiago del Estero
UPE	Unidad Provincial Ejecutora
WISDOM	<i>Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping</i>

---

## Unidades de medida

GWh	gigavatios hora
ha	hectárea
kcal	kilocaloría
km <sup>2</sup>	kilómetro cuadrado
kW	kilovatio
l	litro
m	metro
MJ/kg	megajulios por kilogramo
mm	milímetro
mm <sup>3</sup>	milímetro cúbico
msnm	metros sobre el nivel del mar
MW	megavatio
t	tonelada
tep	tonelada equivalente de petróleo

## Fórmulas químicas

C	carbono
Ca	calcio
CH <sub>4</sub>	metano
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
K	potasio
N	nitrógeno
P	fósforo



© FAO

---

# Resumen ejecutivo

Este informe actualiza el WISDOM Argentina realizado en 2009, cuyo objetivo principal fue promover el uso energético de la biomasa en el país por medio de la cuantificación de su disponibilidad utilizando la metodología WISDOM, desarrollada por la FAO. Esta actualización se llevó a cabo con información relevada a nivel provincial, y además se identificaron nuevas fuentes de biomasa y se profundizó el análisis del consumo. Así se obtuvo una base de datos georreferenciada a partir de la cual se pudo estimar el balance bioenergético nacional, que fue desagregado a nivel departamental.

Las fuentes de oferta biomasa, identificadas, localizadas y cuantificadas en función de su origen, se clasificaron en:

- Oferta directa: abarca, por un lado, cultivos que suman 8 475 731 toneladas por año de biomasa, incluyendo forestaciones (38%), caña de azúcar (23%), té (12%), vid (7%), banana (6%), arroz (5%), frutas de carozo (3%), cítricos (3%), yerba mate (2%), y, aunque menos significativos, arándano, olivo, kiwi y nuez pecán (que suman el 1%). Por otro lado, se estimó el incremento medio anual (IMA) de las formaciones nativas, cuyo aporte se calculó en 32 800 764 toneladas anuales, teniendo en cuenta criterios de sustentabilidad y el Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos (OTBN).

Tanto en el caso de los cultivos como de las formaciones nativas, la disponibilidad de biomasa se evaluó en función de las características físicas del terreno, las vías de comunicación y las restricciones legales de extracción, procesando sus mapas de oferta estimada junto con mapas de accesibilidad física y legal.

- Oferta indirecta: abarca un total estimado de 10 131 736 toneladas al año de biomasa proveniente de ingenios (55%), industrias forestales (31%), procesadoras de maní (3%) y, en menor medida, desmotadoras, bodegas, molinos de arroz, hornos de carbón, poda urbana, procesadoras de jugo, semilleros, molinos de yerba, procesadoras de mandioca, frigoríficos y secaderos de fruta, acopiadores de tabaco y procesadoras de nuez pecán (que, en conjunto, suman un 11% del total estimado).

Con respecto al consumo de biomasa con fines energéticos se analizaron los sectores residencial, industrial y comercial: la demanda total estimada resultó de 10 987 015 toneladas. Los sectores demandantes considerados fueron la industria azucarera (50%), la autogeneración (19%), las carboneras (11%), los hogares (6%), las panaderías (4%), el procesamiento de yerba mate (4%), las parrillas (2%), el procesamiento de té (2%), y las ladrilleras, las cementeras, las escuelas rurales y el procesamiento de tabaco (que, en conjunto, suman un 2% del total estimado).

---

Teniendo en cuenta todos estos componentes, se estimó que la oferta nacional accesible, física y legalmente, es de 51 408 235 toneladas por año, con una demanda estimada actual de 10 131 736 toneladas anuales. En consecuencia, el balance resultante entre la oferta potencial y el consumo da un superávit anual de 40 421 220 toneladas de recursos biomásicos con fines energéticos.

Para enriquecer el análisis espacial, se estimó el potencial de energía a partir de fuentes de biomasa húmeda proveniente de actividades ganaderas intensivas (*feedlots*, tambos, cría de porcinos) y de la vinaza (subproducto de la industria azucarera). La oferta potencial nacional es de 415 860 tep/año, que se constituye por los aportes de *feedlots* bovinos (44%), porcinos (27%), tambos bovinos (15%) y vinaza (14%).

Este trabajo permitió concluir que la Argentina presenta un alto potencial a partir de una gran diversidad de fuentes de biomasa tanto seca como húmeda, susceptibles de ser aprovechadas para producir energías renovables. Así, establece una base sólida a nivel nacional que permitirá avanzar en materia de estrategias bioenergéticas consistentes y precisas para promover, así, la viabilidad de proyectos que utilicen energía derivada de biomasa.



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

---

# 1. INTRODUCCIÓN



---

---

## Esta actualización del balance de la oferta y la demanda de biomasa en la Argentina permitirá alcanzar una mayor certeza en el planeamiento de políticas y el desarrollo de proyectos bioenergéticos.

---

El sistema energético nacional está basado principalmente en combustibles fósiles, que superan el 85% de la matriz energética nacional. Durante las últimas décadas, esta matriz ha evidenciado limitaciones tanto desde el punto de vista prospectivo como ambiental. En este sentido, su diversificación es clave para evitar o minimizar los efectos de una crisis energética local e internacional.

La transformación del sector energético argentino requiere de grandes inversiones de capital, el acondicionamiento del sistema eléctrico nacional y la identificación y cuantificación de los recursos renovables. Es por ello que resulta indispensable la generación de información cuantitativa y cualitativa que permita proyectar diferentes escenarios. Dentro de este contexto, las energías renovables generadas a partir de la biomasa, disponible en todo el territorio nacional, se presentan como una alternativa posible y eficaz, al mismo tiempo que se convierten en importantes fuentes de generación empleo.

El presente documento tuvo como objetivo actualizar el *Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina – WISDOM Argentina* (FAO, 2009), realizado por el Gobierno de la República

Argentina junto con la FAO<sup>1</sup>. Aquel trabajo estimó por primera vez espacialmente la oferta y la demanda de biomasa con fines energéticos a escala nacional, con el fin principal de promocionar su uso energético a través de la cuantificación de su disponibilidad.

Para ello, se utilizó la metodología WISDOM, desarrollada por la FAO en cooperación con el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que permite identificar, cuantificar y localizar el consumo y la disponibilidad de biomasa dentro de un área geográfica específica. Si bien inicialmente esta metodología solo contemplaba la evaluación de la biomasa leñosa proveniente del bosque nativo, de las forestaciones y de la industria forestal, su enfoque fue ampliado ya en el WISDOM Argentina para considerar otros tipos de biomasa no leñosa, como los residuos y subproductos agrícolas y los agroindustriales, con el objetivo estratégico de mejorar los conocimientos previos y analizar las perspectivas y el potencial para el desarrollo de la bioenergía en el país.

---

<sup>1</sup> Proyecto de Cooperación Técnica TCP/ARG/3103.

Las utilidades de esta herramienta son:

- Facilitar la formulación de políticas públicas y la toma de decisiones mediante la elaboración de mapas temáticos de oferta y demanda de biomasa para uso energético.
- Ofrecer información actualizada y homogeneizada del potencial de biomasa existente con fines energéticos según fuentes de aprovisionamiento. La información es provista por fuentes primarias (encuestas y censos) y secundarias (entes gubernamentales, organismos descentralizados y estudios científicos).
- Conocer la disponibilidad de recursos de biomasa, lo que es de gran utilidad para promotores de proyectos de energías renovables.
- Localizar la demanda de energía derivada de biomasa y su relación con la disponibilidad, bajo sistemas de aprovechamiento sustentable.
- Orientar las investigaciones en tecnología de conversión energética sobre la base del tipo de recurso y la disponibilidad geográfica.

### **Ejecución de los WISDOM provinciales**

Con la metodología WISDOM ampliada, en una primera instancia, el componente Fortalecimiento Institucional del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA) llevó adelante el balance energético de biomasa con fines energéticos en las provincias de Tucumán, Salta, La Pampa, Mendoza y Córdoba (FAO, 2016a, b, c; 2017a y b). En virtud de ello, se construyó una base de datos geoespacial, con información brindada por diferentes organismos nacionales y de cada provincia, de carácter público y privado.

El análisis espacial de la oferta y la demanda de bioenergía en cada provincia fue el resultado de un largo proceso interinstitucional, que generó conocimiento y redes de trabajo, indispensables en la formulación de políticas públicas y en la promoción de proyectos. Se firmaron cartas de intención entre el Proyecto y cada gobierno provincial y, luego, se crearon las Unidades Provinciales Ejecutoras (UPE), con la función de identificar y facilitar

la recolección de la información necesaria y recibir la capacitación sobre la metodología, para poder replicarla y actualizarla. Cada UPE se conformó por un punto focal institucional que actuaba como nexo entre el Proyecto y los distintos organismos de la provincia, un punto focal técnico y un grupo de apoyo técnico de carácter multidisciplinario e interinstitucional. Se desarrollaron diversas reuniones de trabajo con referentes provinciales en materia bioenergética, tanto del sector público como privado, donde se identificaron las principales actividades generadoras y consumidoras de biomasa con fines energéticos, así como las posibles fuentes de información para incorporar al WISDOM. Asimismo, en cada provincia, se dictó el “Curso-Taller para la implementación de la metodología WISDOM”, que tuvo como objetivos presentar a técnicos de instituciones provinciales la primera versión del Modelo de Oferta y Demanda de Biomasa de la provincia; capacitar a los profesionales en la lógica y en la estructura de la metodología WISDOM y en el empleo de las aplicaciones informáticas utilizadas; y consensuar y programar mejoras en los modelos.

### **Carta Acuerdo con el INTA**

En una segunda instancia, con el fin de institucionalizar el procedimiento de análisis espacial de los recursos biomásicos, se realizaron capacitaciones y transferencia metodológica a expertos de diferentes organismos, y se firmó una Carta Acuerdo con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), para llevar a cabo otros siete análisis espaciales del balance energético de biomasa, en las provincias de Corrientes, Santa Fe, Chaco, Buenos Aires, Entre Ríos, Misiones (FAO, 2018a, b, c, d, e, y 2019a) y Chubut.

En ese marco, cada Centro Regional del INTA organizó un equipo técnico especializado en las provincias asignadas para llevar adelante el estudio y actuó como nexo entre el Proyecto y los distintos organismos provinciales. Las tareas de estos equipos técnicos fueron identificar, compilar y estandarizar la información necesaria para la aplicación de los modelos de análisis espacial, adaptando la metodología a cada realidad productiva,

energética y sociodemográfica provincial. Así, con el trabajo conjunto entre el INTA y el Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa, se finalizaron y publicaron los análisis WISDOM de las provincias mencionadas, lo que generó una base de datos geoespacial y una transferencia de la metodología para que periódicamente se puedan actualizar los modelos y la información.

La aplicación de la metodología WISDOM requiere la definición del área de estudio y una unidad administrativa/espacial mínima de análisis. Se definió a la República Argentina como el área a ser analizada y a la división por departamentos la unidad mínima de análisis.

Las fuentes de biomasa seca se clasificaron en oferta directa (la potencialmente disponible dispersa en el terreno) y oferta indirecta (proveniente de residuos de industrias forestales y/o agroindustriales). Una vez obtenida la distribución de la oferta directa en el área de estudio, se calculó la accesibilidad física (dependiente de los niveles de elevación del terreno y de las vías de comunicación terrestres) y legal (teniendo en cuenta las restricciones legales para su utilización). Por lo tanto, la disponibilidad de la biomasa estimada se redujo en función de la accesibilidad a la misma.

### Actualización del WISDOM Argentina

Mediante la integración de los diagnósticos de los WISDOM provinciales y nueva información a nivel nacional, se elaboró la actualización de la disponibilidad de biomasa con fines energéticos en la Argentina del presente informe, con el objetivo de

alcanzar un mayor grado de certeza con vistas al planeamiento estratégico y operacional en el sector bioenergético.

Para el análisis de la demanda, se llevó adelante un trabajo de búsqueda y tratamiento de la información detallado debido a la dificultad para obtener datos concretos referidos al consumo de biomasa con fines energéticos (Ramos y Fidalgo, 2018). Por un lado, se consideró la demanda de biomasa por parte de los sectores residencial (hogares) y público (escuelas rurales), que la utilizan como bien de consumo final para calefacción, cocción o calentamiento de agua (energía térmica). Por otro lado, se calculó el consumo de biomasa en los sectores productivos y de la actividad comercial (panaderías y parrillas), que la utilizan para generar energía térmica como parte de sus procesos. Finalmente, se calculó la demanda de biomasa para generación de energía eléctrica y biogás, como también la transformación de insumos leñosos en otros productos de mayor poder calorífico (chips, carbón vegetal, *pellets*). La demanda de estos productos finales se tuvo en cuenta en el análisis por sectores.

---

**Los mapas elaborados con la metodología WISDOM brindan información sobre la oferta potencial de biomasa con fines energéticos según fuentes de aprovisionamiento, y sobre la localización de la demanda. Entre otras cosas, esto permite orientar las investigaciones en tecnología de conversión energética sobre la base del tipo de recurso y la disponibilidad geográfica.**

---

---

## 2. BIOENERGÍA



---

---

**En los últimos años, el empleo de biomasa con fines energéticos va ganando espacio a nivel global, ya que agrega valor, genera empleo y convierte en energía pasivos ambientales, entre otras ventajas.**

---

El término bioenergía hace referencia a la energía generada a partir de combustibles biomásicos. Se considera biomasa a toda la materia orgánica de origen biológico, no fósil, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. Desde el punto de vista de su aprovechamiento energético, en este documento, solo se considerará biomasa a aquellos productos que son susceptibles de ser utilizados de manera sostenible, es decir, por debajo de su tasa de renovación natural (Secretaría de Energía, 2009).

La bioenergía es versátil, engloba gran diversidad de materiales a partir de los cuales pueden obtenerse combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, utilizando procesos más o menos sofisticados, y para diversas aplicaciones. Sin embargo, esta misma diversidad genera un panorama complejo, que adquiere matices propios en función del contexto sociocultural, económico, político-institucional y ambiental, de un sitio dado, en un momento histórico determinado (Manrique *et al.*, 2011).

Es necesario tener en cuenta que la biomasa es una fuente de baja densidad energética, que se encuentra ampliamente dispersa y tiene una alta dependencia geográfica. Esto hace que el costo de transporte constituya una parte significativa del costo total de producción, de entre 33 y 50% (Sultana y Kumar, 2012). Por ello, es indispensable conocer espacialmente su disponibilidad, para lo cual las herramientas de los sistemas de información geográfica (SIG) son particularmente apropiadas.

A nivel global, durante los últimos años, el empleo de biomasa con fines energéticos ha ido ganando espacio en las agendas públicas de todos los países. El estímulo a las energías limpias renovables por parte de los gobiernos nacionales y locales se ha convertido en prioridad si se tiene en cuenta no solo la dependencia de los combustibles fósiles en la matriz energética actual, sino también las externalidades negativas (ambientales, sociales y económicas) derivadas de utilizar estos últimos.

En este sentido, el uso de energías renovables presenta diversas ventajas, tales como:

- agregado de valor al sector agropecuario, forestal y foresto-agroindustrial;
- generación de empleo;
- disponibilidad local;
- aumento de la eficiencia productiva;
- conversión de pasivos ambientales (residuos, efluentes) en materia prima energética;
- redistribución de ingresos hacia el sector rural;
- facilidad de conservación y almacenamiento.

El Cuadro 1 muestra la clasificación de los biocombustibles de acuerdo con sus características: los “dendrocombustibles” se circunscriben a las fuentes de biomasa leñosa, mientras que los “agrocombustibles” se relacionan con la biomasa herbácea, de frutas y semillas, y la categoría “varios/mezclas” corresponde a los subproductos de la actividad agropecuaria.

Con relación a su humedad, la biomasa puede clasificarse en dos grandes grupos. Aquella que puede obtenerse en forma natural con un tenor de humedad menor al 60%, como la leña y el residuo agrícola de cosecha (RAC), se denomina “biomasa seca” y se utiliza energéticamente mediante procesos termoquímicos o físicoquímicos, que producen energía térmica de manera directa, o productos secundarios en la forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Por otro lado, se llama “biomasa húmeda” a la que supera el 60% de humedad, en su mayoría proveniente de residuos animales y efluentes industriales tratados mediante procesos biológicos, de los que se obtienen principalmente combustibles gaseosos.

## 2.1 La bioenergía en la Argentina

La bioenergía se puede utilizar para producir calor, electricidad o combustible para transporte. En la actualidad, este tipo de energía tiene una participación significativa en la matriz energética mundial, ya que representa aproximadamente el 9% del suministro mundial total de energía primaria.

Se estima que más de la mitad se utiliza para cocinar o calentar mediante fogones abiertos o estufas simples muy ineficientes (IEA, 2017).

La composición de la matriz energética en la República Argentina presenta un fuerte predominio de los combustibles de origen fósil. Según las cifras del Balance Energético Nacional (BEN), en 2018, esos combustibles (petróleo, gas y carbón) generaron el 85,8% de la oferta de energía primaria del país. En tanto, las fuentes bioenergéticas aportaron el 6,7% del total, sumando el 3,0% de los aceites vegetales, el 1,4% del bagazo, el 1,0% de la leña, el 0,8% de los alcoholes vegetales y el 0,5% de otros subproductos primarios, como cáscara de girasol, licor negro, marlo de maíz, cáscara de arroz y residuos pecuarios. Por otra parte, las otras energías renovables, como la hidráulica, la nuclear, la eólica y la solar, representaron en conjunto el 7,4% del consumo total de energía primaria (Gráfico 1).

## 2.2 Programa RenovAr

El programa de abastecimiento de energía eléctrica RenovAr fue lanzado en 2016 y está orientado a la contratación a largo plazo de energía eléctrica de fuentes renovables. Este programa constituye el principal instrumento para cumplimentar la Ley N.º 27191, al impulsar convocatorias abiertas de carácter nacional e internacional. Cuenta con un esquema que articula distintos niveles de garantías, de pago y soberanas, estructuradas en el Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER) creado por la ley, junto con el aval del Banco Mundial, con lo que ofrece seguridad a los proyectos adjudicados.

El Decreto reglamentario N.º 531/2016 prevé dos vías para cumplir con las metas impuestas en la Ley N.º 27191: por un lado, el mecanismo de compras conjuntas desarrollado por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA) e instrumentado a través del RenovAr, y, por el otro, la habilitación a los grandes usuarios de energía eléctrica para contratar energía renovable y/o autogenerarse (Subsecretaría de Energías Renovables, 2018).

En el marco del programa RenovAr, se realizaron dos convocatorias para la presentación de

**Cuadro 1.** Clasificación de las fuentes de biocombustibles

Clasificación de fuentes biocombustibles		Biomasa leñosa	Biomasa herbácea	Biomasa de frutas y semillas	Varios/Mezclas
		Dendrocombustibles	Agrocombustibles		
Cultivos energéticos	Directos	Árboles de bosques energéticos	Plantas herbáceas energéticas	Cereales energéticos	
		Árboles de plantaciones energéticas	Cultivos energéticos de cereales enteros		
Subproductos		Subproductos de desmonte	Subproductos de cultivos agrícolas		Subproductos animales y hortícolas
		Subproductos de operaciones de raleo y poda	Pajilla, tallos	Carozos, cáscaras, vainas	
	Indirectos	Subproductos de industria maderera	Subproductos de elaboración de fibras	Subproductos de la industria alimentaria	Desechos de lechería y <i>feedlots</i>
		Licor negro			Efluentes citrícolas
Materiales derivados de otros usos	De recuperación	Madera usada	Productos usados de fibra	Productos de frutas y semillas usadas	Residuos sólidos urbanos (RSU)

Fuente: Elaborado por los autores adaptado de FAO (2004).

proyectos: la Ronda 1, que fue ampliada en una segunda etapa (Ronda 1.5), y la Ronda 2.

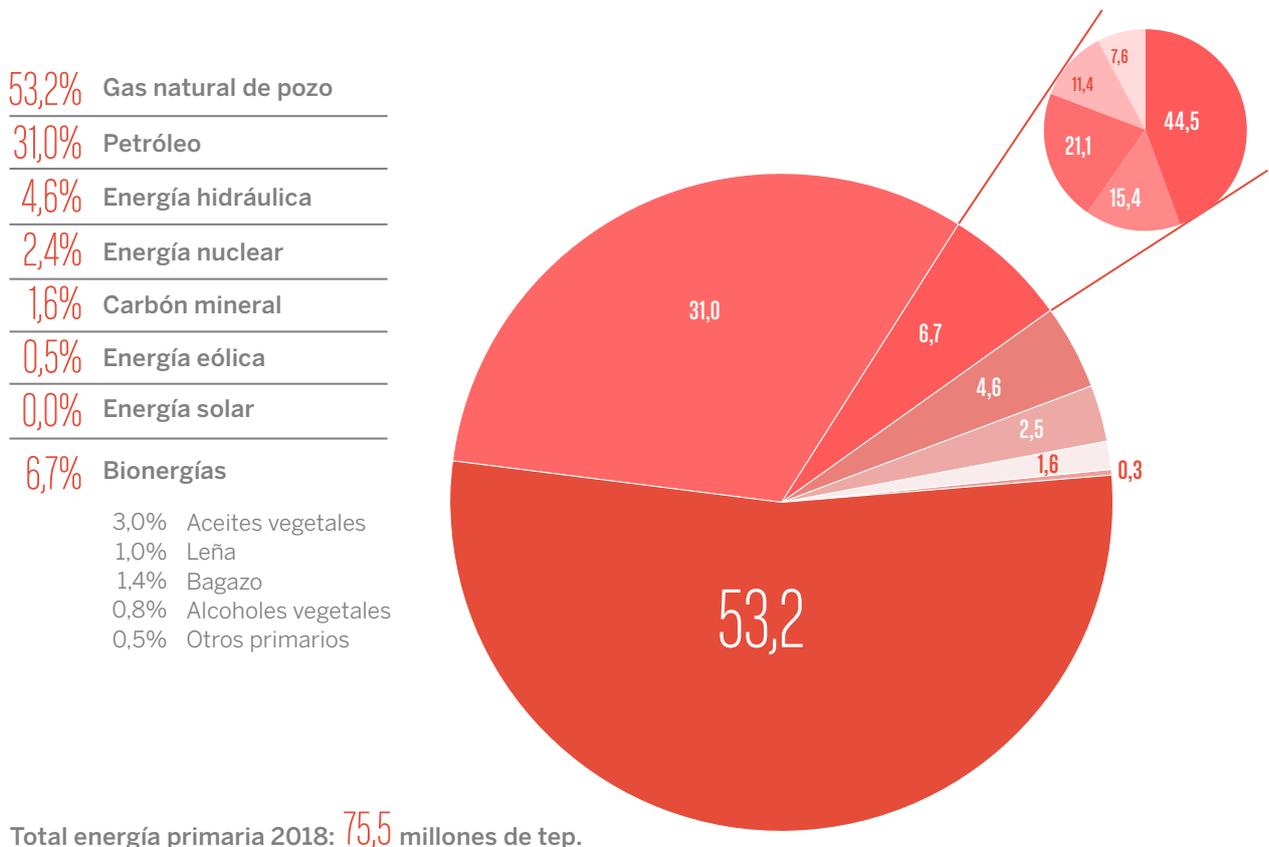
La Ronda 1 dispuso un cupo de 1 000 MW de potencia para adjudicar. Se presentaron 123 ofertas, que sextuplicaron el cupo inicial y totalizaron 6 343 MW, de las que se adjudicaron 29 por un total 1 142 MW. De estos proyectos, dos fueron de biomasa, con un potencial de 15 MW en las provincias de Corrientes y Misiones, y seis de biogás, con un potencial de 9 MW en las provincias de Santa Fe, San Luis y Córdoba.

La Ronda 1.5 tuvo como objetivo sumar 600 MW de potencia, y fue destinada exclusivamente a proyectos de generación eólica y solar, manteniendo el objetivo federal del programa.

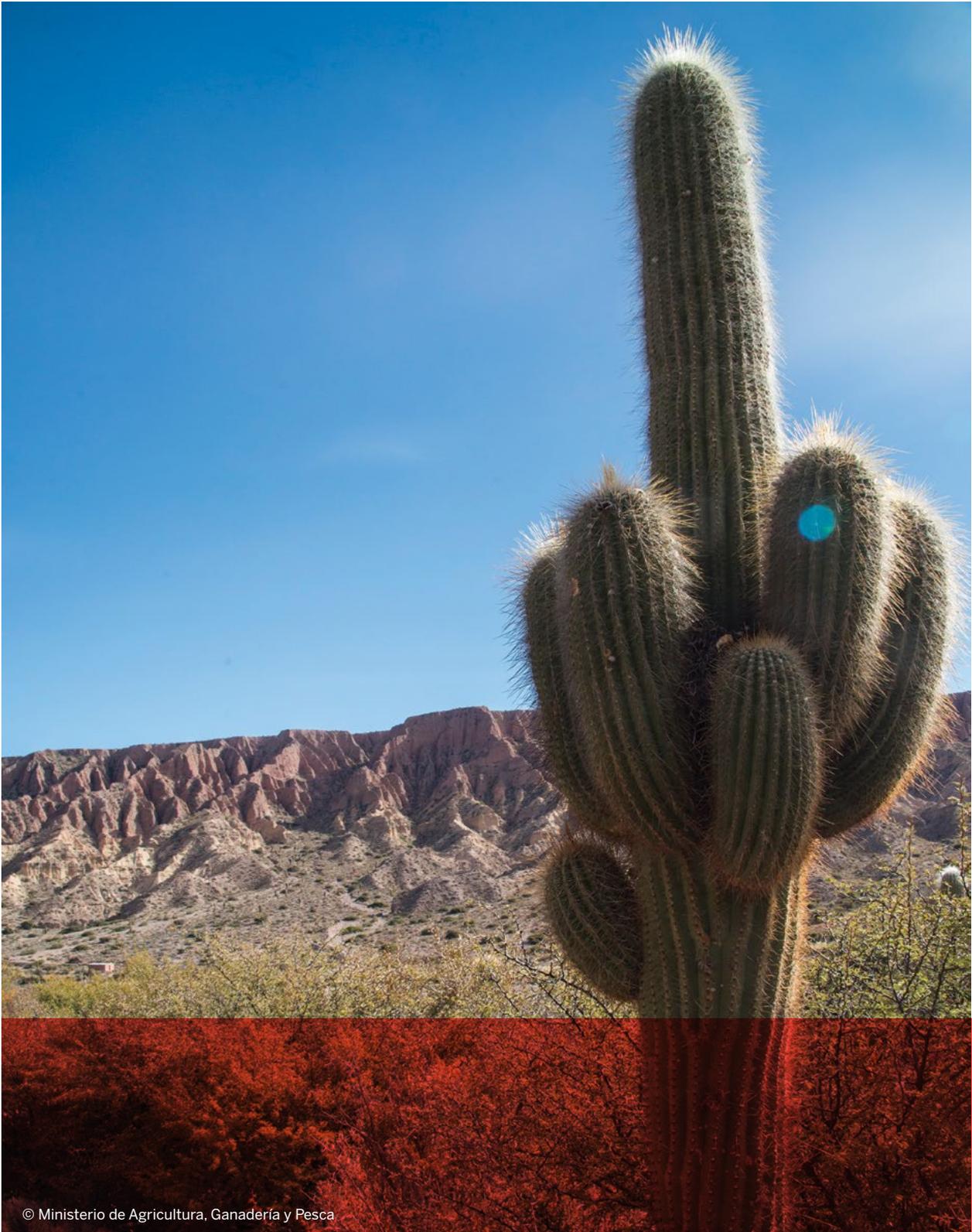
Durante la Ronda 2, se recibieron 228 ofertas, por un total de 9 400 MW, de las que resultaron adjudicados 88 proyectos, ubicados en 18 provincias, por un total de 2 043 MW.

De los proyectos adjudicados, 31 corresponden a biogás, con un potencial de 56,2 MW, en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, San Luis, La Pampa, Santa Fe, Santiago del Estero y Tucumán. Otros 16 proyectos adjudicados fueron de biomasa, en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Chaco, Corrientes, Formosa, Misiones, Santa Fe y Tucumán, con un potencial de 143,2 MW.

**Gráfico 1.** Composición de la oferta interna de energía primaria en la Argentina



Fuente: Secretaría de Energía de la Nación (2019).



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

---

# 3. METODOLOGÍA WISDOM



---

---

**La metodología WISDOM surgió de la necesidad de contar con herramientas que permitieran unir políticas de energía, forestales y agropecuarias para promover proyectos sustentables a largo plazo.**

---

### **3.1 Sistemas bioenergéticos**

Un sistema bioenergético comprende todas las fases y operaciones que se requieren para la producción, la preparación, el transporte, la comercialización y la conversión del biocombustible en energía. Por ello, estos sistemas deben ser entendidos en toda su complejidad y de manera integral si se pretende abordar los diversos procesos y variables que se constituyen y articulan en las esferas de la producción, la distribución y el consumo de combustibles biomásicos.

De acuerdo con estudios locales y nacionales, una particularidad de estos sistemas es su carácter heterogéneo, que se evidencia en algunas características esenciales (FAO, 2009):

- **Multisectorialidad:** involucran diferentes sectores, tales como el forestal, el industrial, el energético, el agrícola, el residencial y el comercial, que deben ser concebidos en sus interrelaciones si se pretende realizar una planificación pública de largo plazo.
- **Interdisciplinariedad:** el análisis de los sistemas bioenergéticos requiere la concurrencia de una multiplicidad de ciencias y técnicas, como la gestión forestal y la silvicultura, las ciencias ambientales, la ingeniería, la agronomía, la geografía, entre otras.
- **Especificidad geográfica:** la oferta de recursos biomásicos presenta una disponibilidad variada y una extensa distribución a lo largo del territorio. A su vez, se caracteriza por una baja oferta en superficie si se compara con otras altamente concentradas, como las industrias procesadoras de materia prima. En cuanto a la demanda, las características productivas regionales y las pautas de consumo residencial, combinadas con el acceso diferencial a las redes eléctricas y de gas, generan diferentes patrones espaciales. Por ello, es necesario comprender los sistemas bioenergéticos a diferentes escalas haciendo énfasis en estudios sitio-específicos.

© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca



- Heterogeneidad en las fuentes de oferta de biomasa: abarca forestaciones implantadas o sistemas de silvicultura de corta rotación, el incremento medio anual (IMA) de formaciones vegetales nativas, residuos agrícolas de cosecha, la poda urbana y de frutales, estiércol pecuario, entre las más importantes. Conocer la disponibilidad y el tipo de recurso para ser utilizado facilita la planificación estratégica de proyectos con fines energéticos.
- Heterogeneidad en los sectores de demanda de biomasa: la demanda involucra sectores disímiles tanto cualitativa como cuantitativamente. Así, hay grandes consumidores industriales que producen energía para su propia producción y también para vender a la red; consumidores comerciales, como panaderías y parrillas, y pequeños consumidores residenciales que utilizan la leña, el carbón vegetal o los residuos vegetales y animales para cocinar, calefaccionar o calentar el agua con fines sanitarios.
- Adaptabilidad de los usuarios: los sistemas bioenergéticos y su complejo patrón de oferta y demanda generan la necesidad de un alto grado de flexibilidad en el manejo y aprovechamiento de los recursos biomásicos.

Otro rasgo distintivo de los sistemas bioenergéticos tradicionales es su alto grado de informalidad, con la consecuente dispersión y falta de información. Entre los recursos biomásicos con fines energéticos se ha destacado históricamente la leña, ya que ha sido la primera fuente en abastecer usos energéticos como la cocción y calefacción. Dado que aún existen regiones no abastecidas por fuentes modernas de distribución comercial, como la electricidad, los combustibles fósiles u otras tecnologías alternativas, el uso tradicional de la leña continúa siendo un elemento vital para satisfacer las necesidades energéticas diarias de más de 2 000 millones de personas en los países en desarrollo (FAO, 2010a).

Asimismo, un aspecto crítico de los sistemas bioenergéticos, y que se relaciona directamente con la especificidad geográfica, es el acceso y traslado de los recursos biomásicos. La baja densidad

energética de la biomasa y su alta dispersión geográfica hacen que los grandes volúmenes para transportar generen altos costos logísticos, por lo que es importante contemplar su accesibilidad.

Como consecuencia de las características mencionadas, y dada la complejidad de la generación de energía a partir de biomasa, surgió la necesidad de contar con herramientas metodológicas que sirvieran de apoyo para aunar políticas energéticas, forestales y agropecuarias capaces de generar proyectos sustentables y perdurables a largo plazo. En este sentido, el Programa de Dendroenergía de la FAO desarrolló e implementó la metodología WISDOM, que aborda con una visión sistémica esta problemática y ofrece respuestas a los diferentes niveles gubernamentales y a los sectores de la energía, forestal, industrial y agrícola, generando sinergias e interrelaciones.

La metodología WISDOM está basada en sistemas de información geográfica (SIG) que permiten integrar y analizar datos estadísticos y espaciales sobre la producción (oferta) y consumo (demanda) de combustibles biomásicos (leña, carbón vegetal, residuos de cosecha, residuos de las industrias forestal y agropecuaria, entre otros). Esta técnica es accesible, fácil de aplicar y permite presentar los resultados del análisis espacial de manera comprensible no solo para especialistas del sector, sino también para funcionarios y público en general. Al no conformar una estructura rígida ni valerse de un *software* predeterminado, permite un alto grado de flexibilidad y adaptabilidad a lo heterogéneo, a la fragmentación de los datos y a la información referente a la producción y el consumo de bioenergía. Además, el enfoque WISDOM tiene la ventaja de considerar el contexto completo de la oferta y la demanda, lo que brinda un apoyo consistente para el objetivo de definir zonas de oferta sustentable o sitios específicos de consumo, tales como las principales ciudades o centros poblados, y la identificación de áreas prioritarias en las que sea necesario potenciar alguna fuente de recursos biomásicos (FAO, 2009).

### 3.2 Pasos analíticos

Para realizar el análisis espacial integrado de la oferta de biomasa con fines energéticos en la Argentina

se utilizaron diversos programas de código abierto: *R*, *Quantum Gis* y *Dinamica EGO* (*Environment for Geoprocessing Objects*, por sus siglas en inglés).

El programa *R* se usó para sistematizar las bases de datos geográficos vectoriales (*shapes*), convirtiendo a formato *raster* los que no lo estuvieran, y para homogeneizar y estandarizar la base de datos completa. Esto último se realiza para que todos los archivos *raster* con los que se va a trabajar presenten la misma extensión y tamaño de celda, el mismo número de filas y columnas, y para que las celdas de las diferentes capas coincidan en el espacio.

El *Quantum Gis* se utilizó para editar archivos vectoriales, enmascarar y recortar las capas *raster* y producir los mapas temáticos presentados en este informe. Por último, el *EGO* se usó para integrar la información y para desarrollar todo el análisis espacial a través de sucesivos modelos.

De esta manera, la aplicación de la metodología WISDOM para representar el balance de biomasa con fines energéticos a nivel nacional implicó cuatro pasos analíticos principales:

1. Definición de la unidad administrativa/espacial mínima de análisis.
2. Desarrollo del módulo de oferta (oferta directa, oferta indirecta y accesibilidad).
3. Desarrollo del módulo de demanda.
4. Desarrollo del balance o módulo de integración.

En este informe se actualizó el balance de biomasa con fines energéticos a partir del análisis del módulo de la oferta de biomasa seca teniendo en cuenta la disponibilidad potencial de cultivos y de bosques nativos (oferta directa), y de los residuos del procesamiento de materias primas (oferta indirecta), y la demanda de biomasa, mediante estimaciones para el uso residencial, comercial e industrial.

Además, se desarrolló otro capítulo correspondiente al análisis del potencial energético a partir de la oferta de biomasa húmeda (efluentes de origen orgánico) generada por establecimientos agropecuarios.

En el Gráfico 2 se muestran de manera ilustrativa los módulos y las principales capas utilizadas.

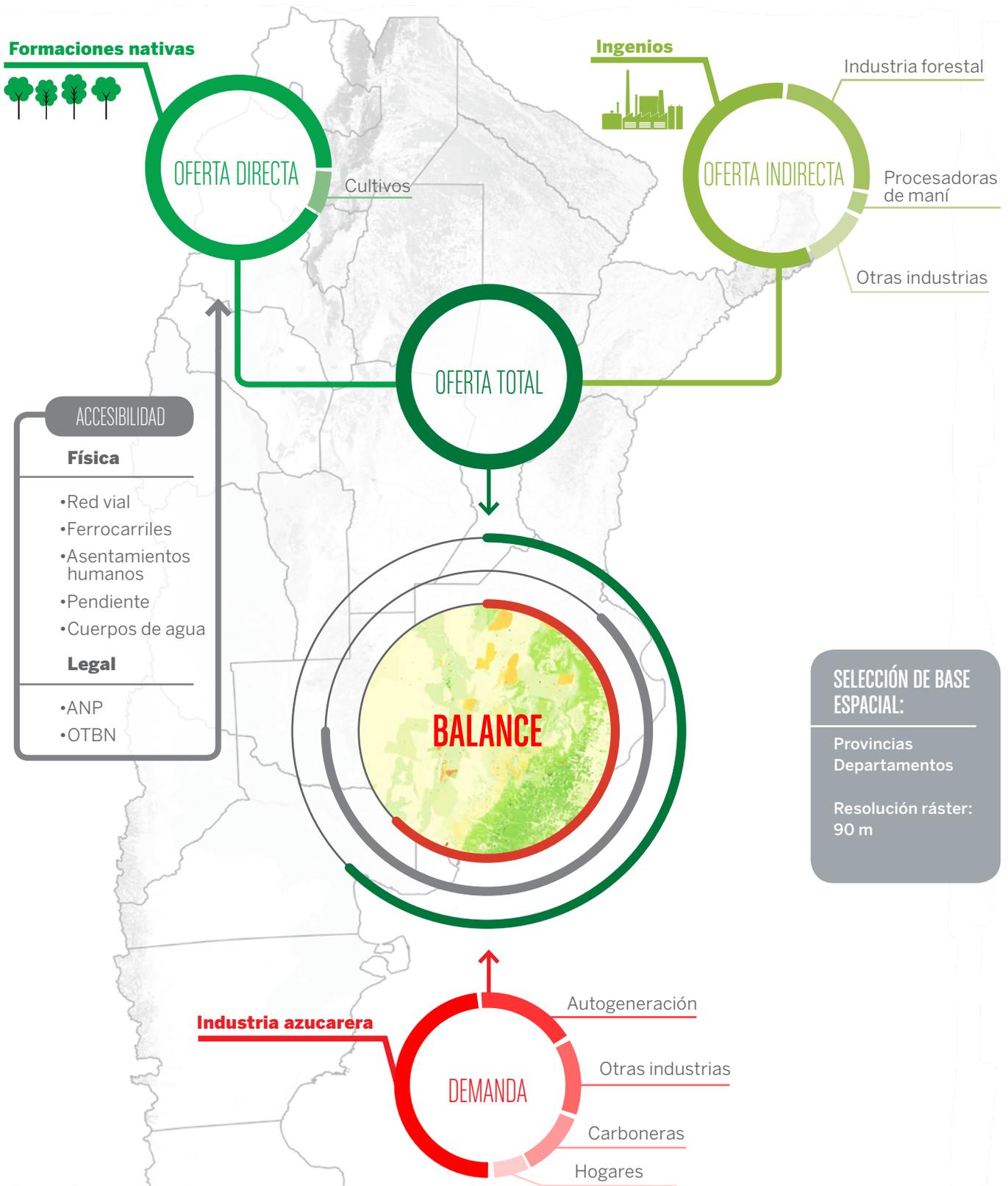
### 3.3 Unidad de análisis y resolución espacial

El nivel mínimo de análisis utilizado fue el radio censal, correspondiente a la unidad censal de mayor desagregación cartográfica, con el objeto de lograr el más alto nivel de detalle y garantizar la correspondencia con los datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (CNPHyV) (INDEC, 2010). No obstante, se trabajó a escala departamental cuando la información y datos estadísticos se encontraban disponibles a este nivel de detalle. De esta manera, la estructura administrativa considerada presenta 23 provincias con 724 departamentos.

En cuanto a la unidad de análisis *raster*, la resolución espacial empleada fue de 90 m (0,81 ha), lo que mejora el nivel de detalle de la primera versión del WISDOM Argentina (FAO, 2009), en la que se utilizó una resolución espacial de 250 m (6,25 ha). En la mayoría de los casos, la información disponible se encuentra expresada en toneladas de biomasa seca por hectárea. Para adaptar estos valores a la resolución utilizada, todas las capas se multiplicaron por un valor constante de 0,81, que representa la superficie en hectáreas de cada píxel.

El sistema de coordenadas empleado fue Gauss Krüger Faja 3 POSGAR 98 WGS84. Los límites provinciales y departamentales se definieron a partir de la información disponible en el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Gráfico 2. Modelo conceptual WISDOM Argentina



Fuente: Elaborado por los autores

---

# 4. OFERTA DIRECTA TOTAL



---

---

**Las forestaciones son los cultivos con mayor oferta directa de biomasa, con casi 4,7 millones de toneladas al año, es decir, el 43% del total. La caña de azúcar aporta el 20%, y el té, el 11%.**

---

Como se indicó, con el objetivo de estimar la disponibilidad de biomasa con fines energéticos se aplicó la metodología de análisis espacial WISDOM a nivel nacional. De esta manera, siguiendo el procedimiento ejecutado en la elaboración del WISDOM Argentina (FAO, 2009), se desarrollaron los principales pasos analíticos.

Se entiende por oferta directa la biomasa que se encuentra en campo, una de cuyas características es la dispersión territorial. Entre las fuentes directas de biomasa potencialmente disponibles en la Argentina para usos energéticos se analizaron el residuo agrícola de cosecha (RAC) de la caña de azúcar y del tabaco; la biomasa resultante de la poda, el raleo y los residuos de cosecha de las plantaciones forestales; el IMA del bosque nativo; las podas y/o renovación de plantas provenientes del manejo de frutales, de la vid, y otros casos. Se consideraron las fuentes y provincias de las que había datos disponibles.

No han sido considerados para uso energético los residuos de cosecha de cultivos agrícolas extensivos, como la soja o el maíz, ya que bajo la práctica del sistema de siembra directa estos se mantienen en el campo para conservar la fertilidad y estructura de los suelos, debido a su alto nivel de mineralización. Por otro lado, para el análisis, en los casos en que existía superposición entre distintas capas geográficas, se priorizaron aquellas que tenían una mayor resolución y ajuste espacial.

#### **4.1 Cultivos** **Arándanos**

Las tres regiones principales del cultivo de arándanos en la Argentina son el NOA (Tucumán, Salta y Catamarca), el NEA (Corrientes y Entre Ríos) y el Centro (Buenos Aires), donde se concentra el 90% del total de la superficie cultivada. También hay plantaciones de menor relevancia en Córdoba, San Luis, Santa Fe, Río Negro y Chubut. Para este análisis se

pudo disponer de la distribución geográfica de este cultivo en las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos (APAMA, 2015).

Para la estimación de la biomasa del cultivo de arándanos en Buenos Aires, se tomaron datos del INTA según los cuales, en 2009, la provincia generaba el 28% de la producción nacional de esta fruta, de 12 500 t anuales. Considerando un residuo de poda de 2 t/ha.año, de acuerdo con estimaciones de especialistas (FAO, 2018d), de las 704 ha cultivadas con arándano en Buenos Aires se obtendrían 1408 t/ha.año.

Respecto de la provincia de Entre Ríos, se estimó una superficie cultivada de 1 040 ha (FAO, 2018e) y un residuo de poda de 6,2 t/ha.año, de lo que surge un potencial de 6 448 t/año de biomasa.

Del conjunto de Buenos Aires y Entre Ríos se obtendría así un total de 7 856 t/año de residuos de poda.

### Arroz

Las principales provincias productoras de arroz son Corrientes, Entre Ríos, Santa Fe, Formosa y Chaco, con un total de 207 600 ha en la campaña 2016/17 (De Bernardi, 2017).

En Corrientes, la cobertura de este cultivo se realizó digitalizando los lotes con imágenes del satélite LANDSAT 8, en el período de cultivo correspondiente a septiembre 2015/febrero 2016. Según referentes técnicos del grupo de investigación de Cultivos Extensivos de la Estación Experimental INTA Corrientes, el rendimiento de las variedades utilizadas en la provincia es de 6 t/ha, como así también los rastrojos (FAO, 2018a).

En la provincia de Chaco, los lotes de cultivos de arroz fueron digitalizados aprovechando la concentración espacial del cultivo en el departamento de Bermejo, a través de interpretación visual sobre imágenes de alta resolución (Image 2016 DigitalGlobe). Se consideró que la biomasa potencialmente disponible del cultivo de arroz es de 4 t/ha.año según referentes del cultivo en la zona (FAO, 2018c).

Para Entre Ríos, Santa Fe y Formosa no se disponía de la localización espacial de los cultivos de arroz, por lo que no se incluyó en el análisis espacial,

pero se estimó el residuo biomásico de cosecha en función de las hectáreas cultivadas en cada provincia según un informe de esta cadena (MINAGRO, 2016). Se consideró un coeficiente de residuo de 4 t/ha.año. En el Cuadro 2 se presentan las estimaciones para estas tres provincias.

En total, en todo el país, se generan estimativamente 599 452 t/año de residuos de arroz.

### Banana

El cultivo de banana se desarrolla en áreas subtropicales, con baja probabilidad de heladas. Deja una gran cantidad de residuos en campo, con un alto potencial de aprovechamiento energético.

En la Argentina, las principales zonas productoras de banana se encuentran en las provincias de Formosa (50%), Salta (47%) y Jujuy (1,8%) (Colamarino, 2017). Esta fruta no se exporta; la producción local alcanza para cubrir el 25% del consumo interno, y el resto se importa.

En 2016, en Salta se cultivaron 3 500 ha, con un rendimiento de 25-30 t/ha; en Formosa, se cultivaron 1 400 ha, con un rendimiento de 22-23 t/ha, mientras que, en Jujuy, se cultivaron 335 ha, con un rendimiento de 25-30 t/ha (Colamarino, 2017).

Debido a que no se dispone de información parcelaria para este cultivo, el análisis se realizó por departamento en las tres provincias mencionadas. Se estima que el valor de residuos disponible para ser aprovechado asciende a 89,38 t/ha por año.

**Cuadro 2.** Superficie cultivada de arroz y estimación del residuo potencial de biomasa en Entre Ríos, Formosa y Santa Fe

Provincia	Superficie cultivada (ha)	Residuo de biomasa (t)
Entre Ríos	78 800	315 200
Formosa	45 050	180 200
Santa Fe	8 240	32 960

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de MINAGRO (2016).

En total, en todo el país, los residuos de banana generan 467 503 t/año.

### Caña de azúcar

El cultivo de la caña de azúcar es una fuente importante de biomasa con potencial energético, tanto si se considera el RAC, como la generación de bagazo y vinaza en la etapa industrial. Estos residuos y subproductos pueden transformarse para generar o cogenerar calor de proceso y/o energía eléctrica. La cantidad de energía teórica que puede obtenerse de una tonelada de caña de azúcar utilizando el bagazo, el RAC, el alcohol y la vinaza es equiparable a la que puede obtenerse de un barril de petróleo (EEAOC, 2011).

El volumen de RAC de caña de azúcar factible de recolección por hectárea cultivada depende del rendimiento, la tecnología empleada y las características y necesidades edáficas de la zona. Por recomendación de técnicos regionales, se empleó un promedio potencial de 5 t/ha.año.

Este cultivo se analizó en Tucumán, Salta, Jujuy y Misiones, con diferente grado de detalle en función de la información disponible en cada provincia.

Para Tucumán, se dispuso de una capa geográfica de distribución del cultivo de caña de azúcar brindada por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC, 2013a), que contaba con tres niveles de rendimiento. Por lo tanto, la capa fue categorizada en tres niveles: rendimiento alto, medio y bajo, para los que se consideraron los distintos valores de RAC de caña, partiendo de un valor medio de 5 t/ha.año (Cuadro 3).

Para el análisis espacial de la oferta de biomasa de caña en Salta y Jujuy, el INTA brindó una capa geográfica elaborada a partir de un relevamiento realizado en 2012, con parcelas implantadas con caña de azúcar. Para estas provincias se consideró una disponibilidad de RAC promedio de 5 t/ha.año.

En Misiones, el cultivo abarca aproximadamente 2 100 ha, y su distribución se restringe a la zona de influencia del ingenio azucarero San Javier; al no disponer de una capa espacial con la localización del cultivo, se asignó el coeficiente de aporte de biomasa a un radio de acción de dicha industria. Se estima que el rendimiento promedio del cultivo en esta

**Cuadro 3.** RAC de caña de azúcar en función del rendimiento del cultivo en Tucumán

Rendimiento (t/ha.año)	RAC (t/ha.año)
Bajo (<56)	4
Medio (entre 57 y 75)	5
Alto (>76)	6

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de EEAOC (2013a).

provincia es de 50 t/ha, y el 30% de este rendimiento queda como residuo (FAO, 2019a). Estos valores dan como resultado un valor de RAC de 31 500 t por año para la provincia de Misiones. No se pudo realizar el análisis espacial por no disponer de información sobre la superficie cultivada, pero sí se contempló el valor estimado en las estadísticas.

En el conjunto del país, el aporte de la caña de azúcar a la oferta es de 2 198 583 t/año, más del 20% de la oferta directa total.

### Cítricos

Los cítricos son el principal grupo de especies dentro de la fruticultura nacional, con alrededor del 50% del total de frutas cultivadas.

Esta actividad se desarrolla principalmente en tres regiones del país: la región del noreste argentino (NEA), que comprende las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones; la región del noroeste argentino (NOA), integrada por Jujuy, Salta, Tucumán y Catamarca; y el nordeste de la provincia de Buenos Aires. En conjunto, los cítricos se cultivan en 131 000 ha. Las tres regiones mencionadas concentran casi el 99% de la producción: 61,2% el NOA, y 37,7% el NEA y nordeste de Buenos Aires, mientras que en algunas zonas puntuales de las provincias de Formosa y Chaco también se desarrollan estos cultivos (MECON, 2016a).

La oferta de biomasa seca del cultivo de cítricos proviene de los residuos de poda y el reemplazo de plantas.

Para estimar el residuo con fines energéticos en Buenos Aires, se trabajó a partir de una capa de

2010 (realizada por el INTA San Pedro), que se superpuso a imágenes más actualizadas de Google Earth. Así, se estimó un total de 2 600 ha de cultivos de cítricos para esta provincia. Se consideró un residuo de poda de 3 t/ha.año.

En Corrientes, el cultivo de cítricos se concentra principalmente en los departamentos de Monte Caseros y Bella Vista. La superficie se obtuvo digitalmente a partir de la interpretación visual de imágenes del Google Earth. El valor de residuo biomásico, a partir de la poda de cítricos, se determinó en 3 t/ha.año (Rosúa y Pasadas, 2012; FAO, 2009; Valentini y Arroyo, 2003).

Para estimar los residuos de la poda en la provincia de Entre Ríos, se utilizó información suministrada por el INTA Concordia, que consideró un valor promedio de 4,4 t/ha.año. Se estimaron 6 880 ha cultivadas de cítricos, en función de información de los lotes y la cantidad de plantas por lote del censo citrícola provincial 2015/2016 (FECIER, 2016).

La provincia de Misiones produce el 2,3% de los cítricos del país, de lo que un 69,5% son mandarinas. Para el análisis se utilizó información relevada en 2014 por la Universidad Nacional de Misiones. Se consideró un residuo de poda de 3 t/ha.año.

Respecto de Salta, los cítricos representan aproximadamente un 7% del total cultivado en la Argentina, con predominio del limón, la naranja y el pomelo. La superficie se estimó a partir de interpretación visual de imágenes de Google Earth, y se consideró un residuo de 3 t/ha.año.

En Tucumán la distribución de cítricos se obtuvo a partir de una capa provista por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes correspondiente a la campaña 2012 (EEAOC, 2013b). Se consideró como residuo de la poda y el reemplazo de plantas un coeficiente de 3 t/ha.año.

En conjunto, para todas las provincias analizadas, se estimó un residuo biomásico de 276 564 t/año.

### Frutas de carozo

La provincia de Mendoza es la principal productora de frutas de carozo del país, cuyo destino principal es el uso industrial y, en menor medida, el consumo en fresco. El 28% de las tierras que se cultivan corresponde a frutales.

Para estimar la biomasa disponible para uso energético de los frutales, se consideró el residuo de poda. Para ello, se utilizó una capa de usos del suelo provista por el Instituto de Desarrollo Rural (IDR), que identifica los cultivos de frutales.

A partir del dato del volumen de residuo de poda de ciruelos (5,4 t/ha.año) y del valor promedio para otros frutales (4,2 t/ha.año), se estimó un promedio ponderado considerando la superficie cultivada. El valor resultante de la ponderación por superficie plantada de frutales es de 4,7 t/ha.año de residuos de poda para la provincia de Mendoza.

Para identificar la distribución de los cultivos de frutales en Buenos Aires, se actualizó una capa del INTA de San Pedro de 2010 con imágenes superpuestas de Google Earth. Así, se estimaron unas 1 550 ha, y se consideró un residuo de cosecha de 4 t/ha.año.

En La Pampa, la distribución de los cultivos de frutales se digitalizó manualmente a partir de Google Earth. Se consideró un residuo de poda de 5,4 t/ha.año.

En conjunto, se obtuvo como resultado un total de 300 348 t/año de biomasa de frutales disponible.

### Forestaciones

Las actividades de poda y raleo y los residuos de cosecha de las plantaciones forestales representan una oferta importante de biomasa potencialmente utilizable con fines energéticos.

Para los estudios de biomasa suelen dividirse los árboles en partes o compartimientos homogéneos: la madera del tronco, la corteza, las ramas vivas, las ramas muertas, las hojas, las raíces gruesas y medianas, y, por último, las raíces finas (Brown, 1997). La biomasa es un volumen multiplicado por una densidad.

Tradicionalmente, las forestaciones cuyo objetivo era obtener madera promovieron el uso de ecuaciones de volumen que solo tomaban en cuenta la porción comercial del árbol, el fuste. Sin embargo, el manejo de forestaciones con destino energético ha estimulado el uso de ecuaciones de biomasa, en las que se incluyen los diferentes compartimientos del árbol (Henry *et al.*, 2011).

Para la determinación del volumen de un rodal es necesario conocer su ubicación y superficie, atributos que se encuentran implícitos en una capa de un sistema de información geográfica. Además, se requiere que esto esté acompañado de atributos como edad, especie, densidad y, si es posible, diámetro cuadrático medio.

Para el presente trabajo, a fin de conocer la superficie de los bosques implantados, se recurrió a la cobertura generada y cedida por la Dirección de Producción Forestal (2017) de la Nación. Dicha cobertura brinda información de la especie implantada, edad, densidad y tratamientos culturales.

Para procesar la información, se requirió una revisión bibliográfica de ecuaciones que relacionaran la edad de las plantaciones con valores del IMA para cada especie considerada, es decir, que vincularan una variable del crecimiento, como puede ser el diámetro a la altura del pecho (DAP), con la edad.

A la vez, fue necesario recopilar ecuaciones alométricas de biomasa por especie, a fin de separar los compartimientos que aportan biomasa sin destino maderero, como la corteza, las ramas menores a 5 cm de diámetro y los frutos. No se tomó en cuenta la biomasa foliar dado que contiene gran porcentaje de nutrientes, por lo que conviene dejarla en el campo para favorecer el ciclo bio-geoquímico del sitio. De la misma manera, se desestimó en este estudio el fuste, ya que actualmente tiene destino maderero a un mayor valor.

En primer lugar, para las provincias de Misiones, Corrientes, Entre Ríos y Tucumán, se aplicaron ecuaciones alométricas que permitieron estimar directamente la fracción dendroenergética; para el resto de las provincias, se siguió la metodología aplicada en los análisis WISDOM respectivos y, por último, para las que según la cobertura forestal presentaban plantaciones, se aplicó un factor de expansión de biomasa (FEB) respecto del incremento en volumen del fuste. El resultado se muestra en el Cuadro 4.

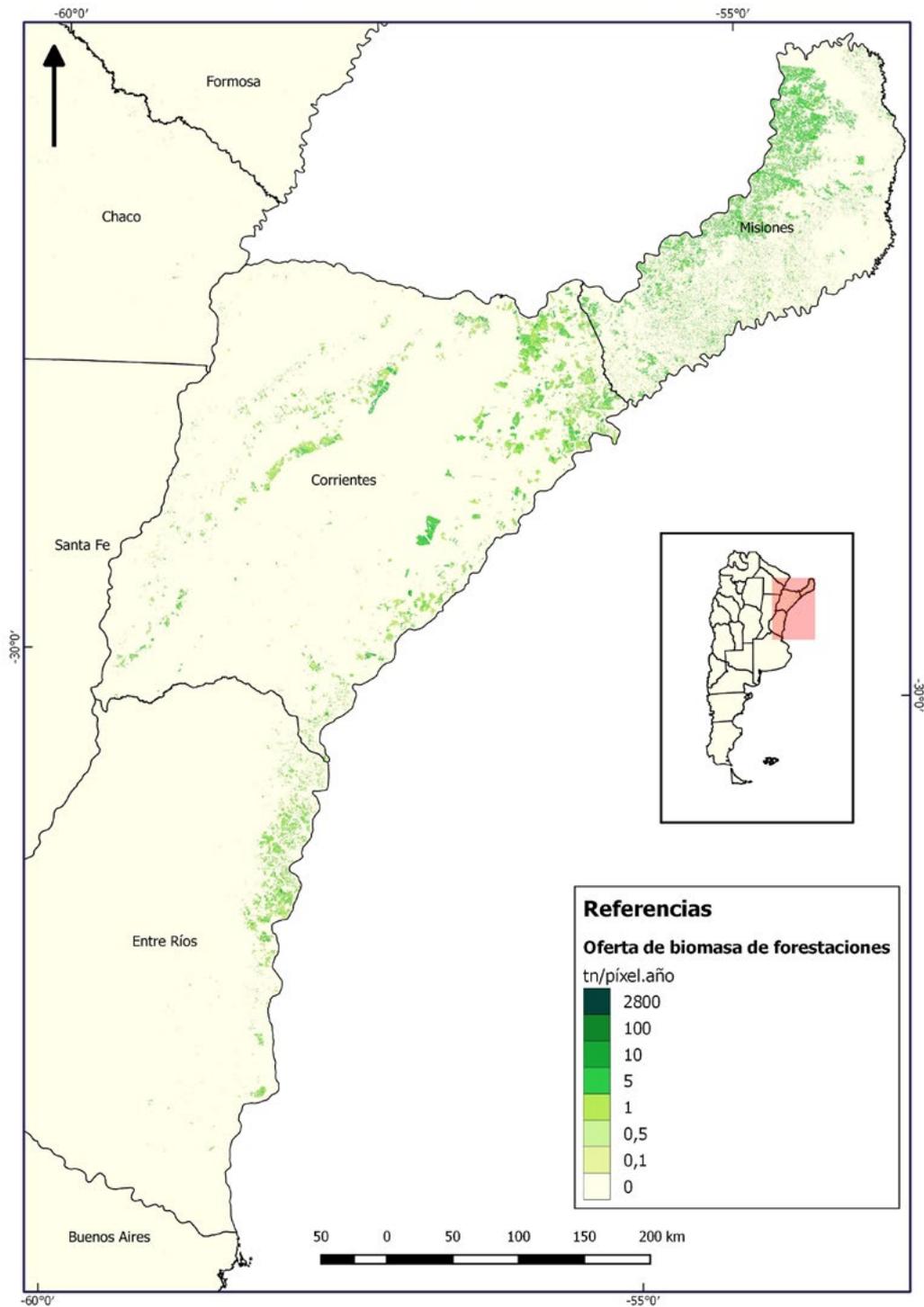
Cabe destacar que, si se suman las cantidades existentes en Misiones y Corrientes, abarcan el 76% de la biomasa total de forestaciones; en tercer lugar se encuentra Entre Ríos, con un valor mucho menor, cercano al 8% (Mapa 1).

**Cuadro 4.** Biomasa forestal potencialmente disponible para fines energéticos, por provincia

Provincia	Biomasa forestal (t/año)	Aporte relativo (%)
Buenos Aires	97 420	2,1
Catamarca	63	0,0
Chaco	14 357	0,3
Chubut	100 617	2,1
Córdoba	33 874	0,6
Corrientes	1 441 660	31,2
Entre Ríos	379 500	7,9
Formosa	8 674	0,2
Jujuy	44 052	0,9
La Pampa	1 451	0,0
La Rioja	431	0,0
Mendoza	20 633	0,4
Misiones	2 063 167	44,5
Neuquén	198 088	4,2
Río Negro	40 617	0,9
Salta	110 027	2,3
San Juan	7 004	0,1
San Luis	396	0,0
Santa Cruz	23	0,0
Santa Fe	67 157	1,4
Santiago del Estero	17 154	0,4
Tierra del Fuego	0	0,0
Tucumán	23 327	0,5
<b>Total</b>	<b>4 669 692</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaborado por los autores.

**Mapa 1.** Oferta directa de forestaciones de la Mesopotamia



Fuente: Elaborado por los autores.

En el Mapa 2 se puede observar la distribución espacial de la oferta directa de forestaciones en las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut, que en total suman 339 322 t/año.

En todo el país, las forestaciones aportan más de 4,6 millones de t/año de residuos potenciales para fines energéticos, lo que las convierte en la mayor fuente de oferta directa de biomasa seca.

### **Kiwi**

El kiwi se cultiva principalmente en la provincia de Buenos Aires, con epicentro en Sierra de los Padres. Se identificaron aproximadamente 200 hectáreas cultivadas y se estimó un residuo de poda de 4 t/ha.año.

El análisis espacial se realizó solamente para esta provincia por la disponibilidad de datos, y dio como resultado un total de 865 t/año de residuos.

### **Nuez pecán**

En los últimos años ha crecido la producción y comercialización de nuez pecán a nivel nacional. La provincia de Entre Ríos es la principal productora en la Argentina.

Para este cultivo se tuvo en cuenta como oferta directa el residuo proveniente de la poda de las plantas. Sobre una superficie de alrededor de 2 000 ha, se consideró un coeficiente de poda de 0,7 t/ha.

La oferta de este cultivo, relevado solo en Entre Ríos, da un aporte de biomasa residual de 170 t/año.

### **Olivos**

Mendoza cuenta con 19 014 ha de olivares, ubicadas principalmente en los Oasis Norte y Sur de la provincia (según datos proporcionados por el IDR), que representan cerca del 23% de la superficie de este cultivo en la Argentina. En Salta, los olivos se cultivan en la zona de los Valles Calchaqués, mientras que en Córdoba se concentran en el departamento de Cruz del Eje.

El valor de los residuos de poda de olivos considerado en el análisis fue de 2,5 t/ha.año (FAO, 2009) para todas las provincias, de lo que se obtiene un total de 52 832 t/año de biomasa.

### **Vid**

Según el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV, 2017), la superficie de vid implantada en la Argentina era de 223 944 ha en 2016, de las que el 92,2% correspondía a viñedos aptos para elaboración, el 5,7% a variedades para consumo fresco y el 1,9% a pasas (un 0,2% quedó sin determinar). En cuanto a la distribución geográfica, la provincia de Mendoza abarca el 71% y San Juan el 21% del total nacional.

La poda de la vid se realiza en forma manual, principalmente en los sistemas de espaldero alto y/o mixto y en los de conducción del tipo parrales. En los sistemas tipo espaldero la poda puede ser mecánica (Araniti *et al.*, 2012). Se calculó un valor único de residuo de poda de sarmiento por hectárea, ponderando la superficie que tiene cada tipo de sistema. El valor de residuo de poda fue estimado en 3,5 t/ha.año.

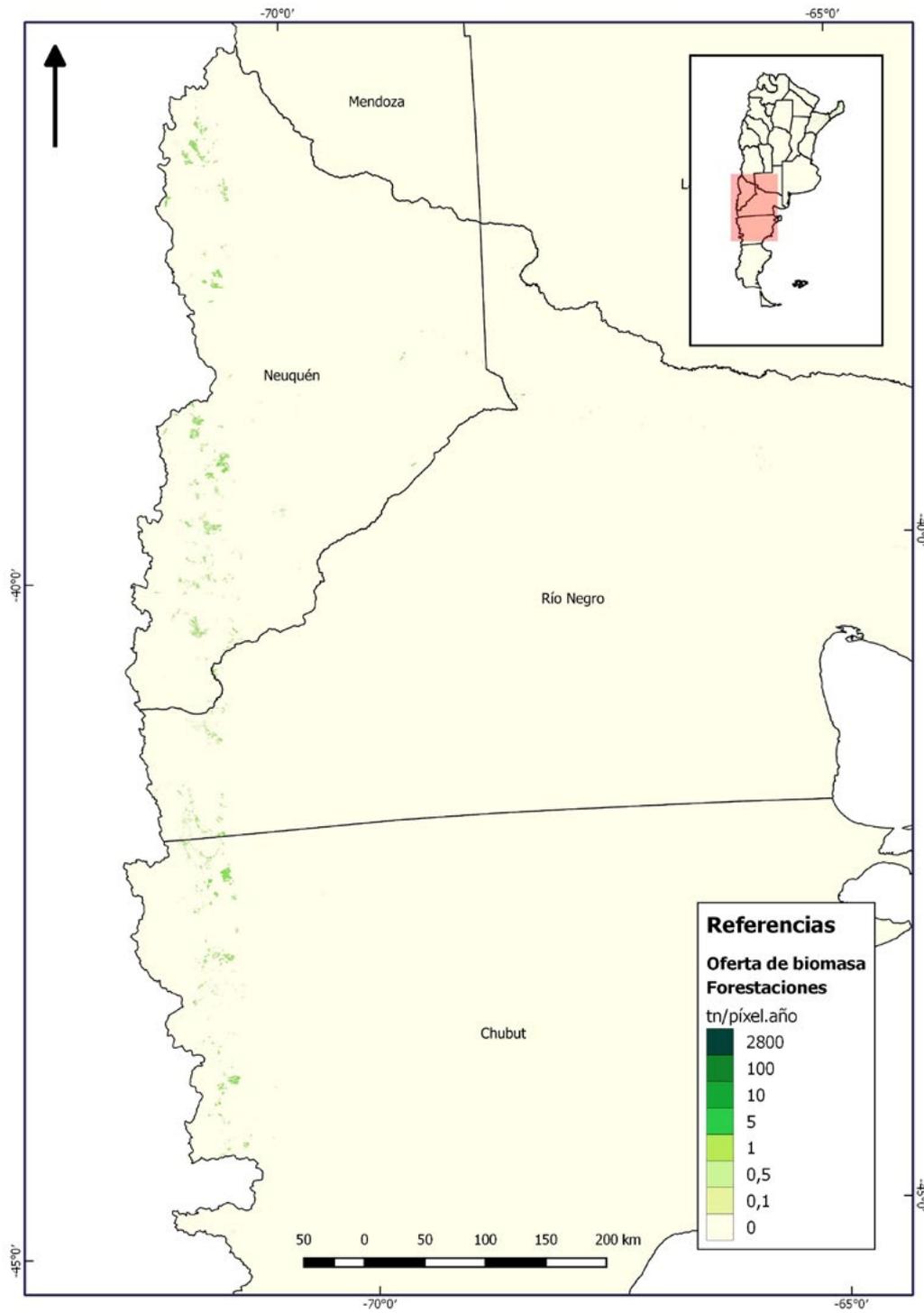
Para el presente análisis se contó con información de las provincias de Mendoza, San Juan y Buenos Aires. En el caso de Mendoza, el IDR proveyó una capa con los polígonos de cultivos de vid del año 2015, a partir de la que se analizó la disponibilidad de residuos de poda. Para San Juan no se disponía de la distribución espacial de este cultivo, pero se obtuvo la cantidad de hectáreas cultivadas por departamento del informe de viñedos publicado por el INV (2017), por lo que se estimó el residuo de poda para cada departamento. En cuanto a Buenos Aires, se identificaron 50 ha cultivadas de vid. El tipo de conducción predominante en los viñedos de la provincia es el espaldero alto, por lo que se consideró un residuo medio de 1,7 t/ha.año (INV, 2017).

En total, se obtuvo para las tres provincias analizadas un total de 684 593 t/año de biomasa residual.

### **Tabaco**

El tabaco en la Argentina se produce en su mayoría en las provincias de Salta y Jujuy, donde se cultiva exclusivamente la variedad Virginia, y en Misiones, donde se trabaja con tabaco tipo Burley. Estas tres provincias concentran más del 80%

**Mapa 2.** Oferta directa de forestaciones de la Patagonia



Fuente: Elaborado por los autores.

de la producción del país. El resto proviene de Tucumán, Catamarca, Chaco y Corrientes, donde predominan las variedades tipo Burley y Criollo, aunque también se cultiva, en menor proporción, tabaco Virginia en Chaco y Corrientes. La actividad tabacalera tiene importancia a nivel regional, tanto desde el punto de vista de la producción como por su relevancia en la generación de empleo.

Para este análisis, se tuvo en cuenta únicamente la producción del tabaco tipo Virginia, debido a que la cosecha de esta variedad se realiza hoja por hoja, con lo que el resto de la planta queda en el campo como residuo biomásico, a diferencia de las variedades Burley y Criollo, de las que se cosecha la planta entera y el corte de las hojas se realiza en los secaderos (los residuos que se generan en estos establecimientos se analizan en el módulo de oferta indirecta de biomasa).

Los datos de producción de tabaco correspondientes a la campaña 2015/16 se obtuvieron a partir del informe sobre el cultivo publicado por el Fondo Especial del Tabaco (2017).

Se utilizó un valor estimado de residuo disponible para fines energéticos de 0,95 t/ha.año (Manrique y Franco, 2008). El análisis abarcó las provincias de Chaco, Corrientes, Salta y Jujuy.

En conjunto, el tabaco aporta 28 297 t/año de residuos de biomasa potencialmente aptos para destino energético.

### **Yerba mate**

El cultivo de la yerba mate se desarrolla principalmente en las provincias de Misiones y Corrientes, por sus características agroecológicas.

Misiones tiene aproximadamente 144 000 ha plantadas con yerba mate. La producción promedio de esta provincia es de 5,07 t/ha.año. Como la cantidad de residuos se aproxima al 25% de lo producido, se consideró que este cultivo deja en el campo 1,27 t/ha.año de biomasa.

En Corrientes, la superficie cultivada alcanzó las 21208 hectáreas en 2016, y la producción de yerba mate canchada llegó a 39 125 t/año, información cedida por el Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM). Se estableció que la producción promedio de la provincia es de 5,47 t/ha.año, por lo que la

cantidad de residuos que quedan en el campo se estimó en 1,37 t/ha.año.

Con estos valores, la oferta directa de biomasa de la yerba mate se estimó en 140 969 t/año.

### **Algodón**

El algodón se cultiva principalmente en las provincias de Chaco, Santiago del Estero, Formosa y Santa Fe.

Los residuos de cosecha de este cultivo no han sido considerados para usos energéticos, ya que, por un lado, bajo el sistema de siembra directa se mantienen sobre el suelo para conservar su fertilidad y estructura, y, por otro, el rastrojo se debe destruir por disposición del SENASA (Resolución N.º 74/2010) para evitar la dispersión del picudo algodonero (*Anthonomus grandis*), declarado plaga en 1993.

### **Síntesis de oferta directa de cultivos**

Los resultados de las estimaciones de residuos posibles de aprovechamiento energético correspondientes a los 13 cultivos descritos se integraron y dieron como resultado el Mapa 3. Allí, puede verse que en la Mesopotamia el mayor volumen de oferta directa proviene de las forestaciones; en el NOA, de los cultivos de caña de azúcar y cítricos, y en el centro y oeste del país, de manera más diversificada, de los cultivos de vid, olivos y otros frutales.

El Cuadro 5 muestra que las forestaciones son los cultivos que mayor aporte realizan a la oferta directa, con 4 669 692 t/año, lo que equivale al 43% del total nacional. El cultivo de caña de azúcar en las provincias de Tucumán, Jujuy, Salta y Misiones representa el 20% del total estimado, mientras que el de té aporta el 11% (Gráfico 3).

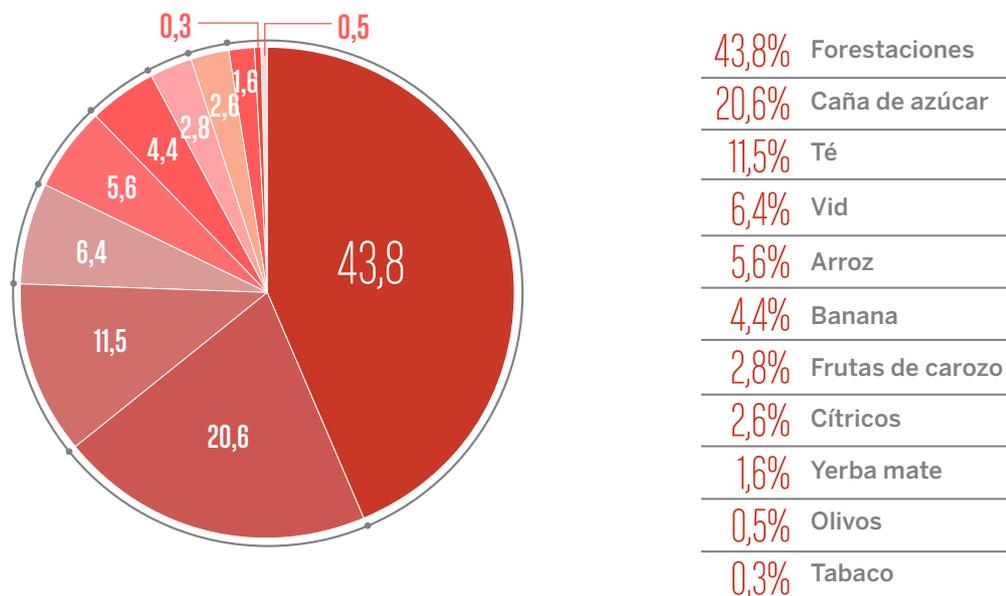
Considerada por provincia, la mayor oferta directa de biomasa proviene de Misiones, con el 32% del total, seguida de Corrientes, con el 20%, y Tucumán, con el 14%.

## **4.2 Formaciones nativas**

### **Bosques nativos**

Los análisis espaciales realizados por el Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA) contemplan un uso sostenible

**Gráfico 3.** Aporte relativo de biomasa con fines energéticos por cultivo a nivel nacional



Fuente: Elaborado por los autores.

de los bosques nativos. Por esto, se trabajó teniendo en cuenta las restricciones legales para su aprovechamiento, entre las que resalta el Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos (OTBN, Anexo I).

Solo se consideró como biomasa disponible el incremento medio anual (IMA) del bosque, con el fin de evitar extraer más de lo que crece por año en cada rodal forestal, y asegurar así la sustentabilidad del recurso. El hecho de que se considere el IMA de cada rodal no implica que se extraiga esa cantidad todos los años (para ver en qué momento se pueden extraer productos del bosque es necesario hacer un plan de manejo forestal), pero permite observar cuál es el potencial del bosque en su conjunto. En relación con el OTBN, se contempló una restricción total del IMA del bosque nativo en las zonas de Categoría I (Rojo); un manejo restringido al 50% del IMA en la Categoría II (Amarillo)<sup>2</sup> y el uso total del IMA en la Categoría III (Verde).

<sup>2</sup> El valor del 50% constituye una estimación teórica, ya que el uso del bosque nativo en las áreas correspondientes a la Categoría II queda sujeto a la aprobación de planes de manejo forestal.

Para conocer la superficie de bosques nativos de las provincias se recurrió a las capas correspondientes al Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos, otorgadas por la Dirección de Bosques de la ex Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS, 2005), y su actualización al año 2016 (SAyDS, 2017), que contempla la pérdida de bosques. Asimismo, para evitar distribuir los valores del IMA de manera homogénea en cada estrato de cobertura de bosque, se utilizaron las capas de cobertura arbórea *Tree Cover*, *Lossyear* y *Gain* generadas por Hansen *et al.* (2013), con el fin de mejorar la precisión del análisis. La capa *Tree Cover* contiene estimaciones del porcentaje de cobertura de la vegetación leñosa mayor a 5 m de altura respecto de cada píxel de 30 m de terreno horizontal para el año 2000. Esta capa fue actualizada con la pérdida anual de cobertura arbórea hasta el año 2012 mediante la capa *Lossyear*, mientras que la regeneración del bosque (reclutamiento), en el mismo período, se incorporó con la capa *Gain*.

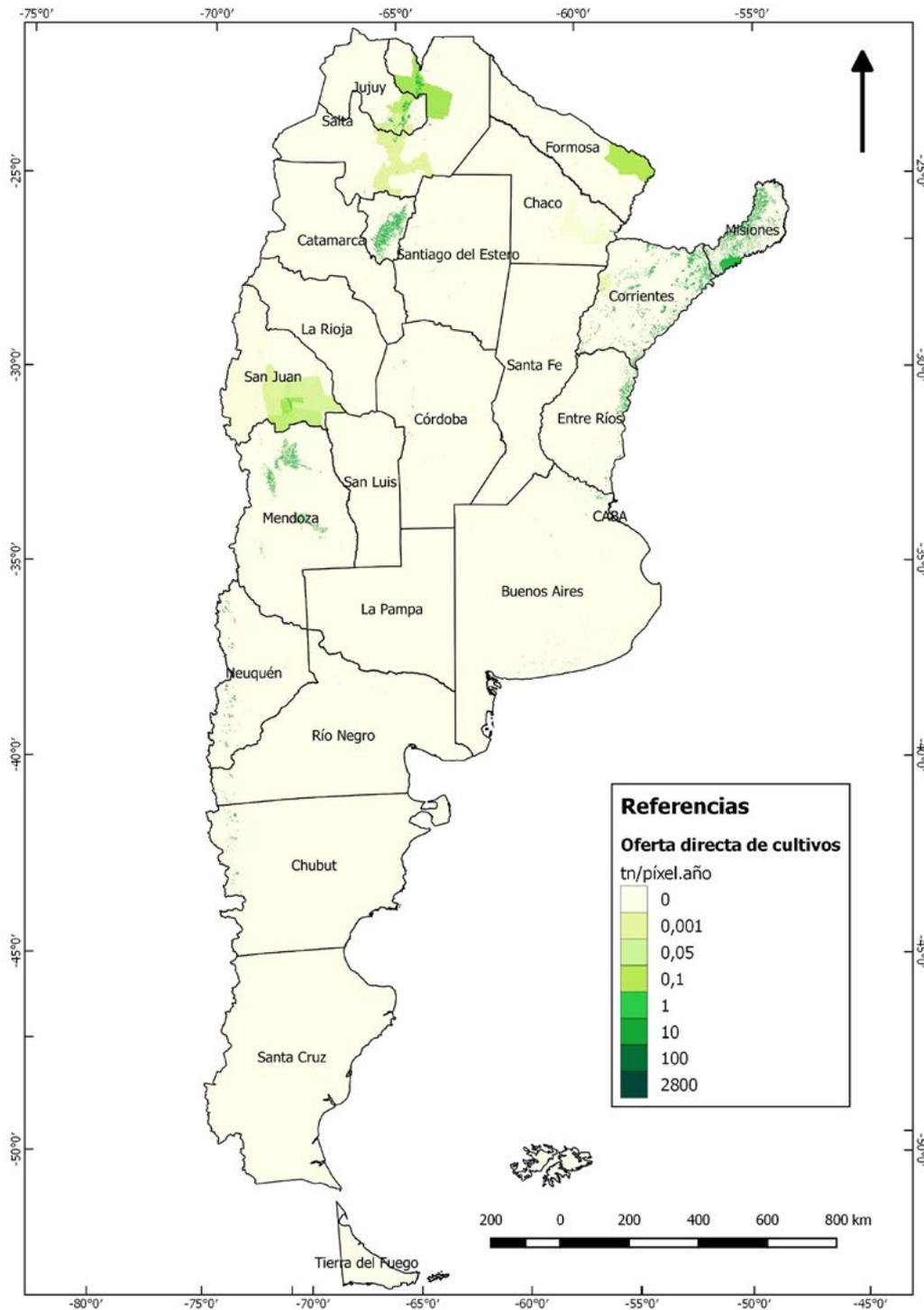
Los valores de IMA incluidos en el modelo son los presentados en el WISDOM Argentina (FAO, 2009)

**Cuadro 5.** Oferta directa total de cultivos por provincia

Provincia	Oferta directa de cultivos (t/ha)														Aporte relativo (%)	
	Forestaciones	Caña de azúcar	Té	Vid	Arroz	Banana	Frutas de carozo	Cítricos	Yerba mate	Olivos	Tabaco	Arándanos	Kiwi	Nuez pecán		Total
Buenos Aires	97420	-	-	81	-	-	6150	7776	-	-	-	1408	865	-	113700	1,1
Catamarca	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	0,0
Chaco	14357	-	-	-	18672	-	-	-	-	-	250	-	-	-	33279	0,3
Chubut	100617	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100617	0,9
Córdoba	33874	-	-	-	-	-	-	-	-	6707	-	-	-	-	40581	0,4
Corrientes	1441660	-	64444	-	580780	-	-	83351	21994	-	139	-	-	-	2192368	20,6
Entre Ríos	379500	-	-	-	-	-	-	43221	-	-	-	6448	-	170	429338	4,0
Formosa	8674	-	-	-	-	124775	-	-	-	-	-	-	-	-	133449	1,3
Jujuy	44052	425291	-	-	-	33720	-	-	-	-	12440	-	-	-	515503	4,8
La Pampa	1451	-	-	-	-	-	6793	-	-	-	-	-	-	-	8244	0,1
La Rioja	431	-	-	388	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	819	0,0
Mendoza	20633	-	-	513679	-	-	283633	-	-	46049	-	-	-	-	863994	8,1
Misiones	2063167	31500	1161419	-	-	-	-	19294	118976	-	-	-	-	-	3394356	31,9
Neuquén	198088	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	198088	1,9
Río Negro	40617	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40617	0,4
Salta	110027	317990	-	4868	-	309008	-	18881	-	77	15468	-	-	-	776318	7,3
San Juan	7004	-	-	165185	-	-	3773	-	-	-	-	-	-	-	175962	1,7
San Luis	396	-	-	392	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	788	0,0
Santa Cruz	232	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	0,0
Santa Fe	67157	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67157	0,6
Santiago del Estero	17154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17154	0,2
Tierra del Fuego	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tucumán	23327	1423803	-	-	-	-	-	104040	-	-	-	-	-	-	1551170	14,6
<b>Total</b>	<b>4669692</b>	<b>2198583</b>	<b>1225862</b>	<b>684593</b>	<b>599452</b>	<b>467503</b>	<b>300348</b>	<b>276564</b>	<b>140969</b>	<b>52832</b>	<b>28297</b>	<b>7856</b>	<b>865</b>	<b>170</b>	<b>10653585</b>	
Aporte relativo (%)	43,8	20,6	11,5	6,4	5,6	4,4	2,8	2,6	1,3	0,5	0,3	0,1	0,0	0,0		

Fuente: Elaborado por los autores.

**Mapa 3.** Oferta directa de cultivos a nivel nacional



Fuente: Elaborado por los autores.

para cada una de las clases de cobertura de bosque consideradas (Cuadro 6). Las distintas categorías se basaron principalmente en la cobertura de copas, continuidad y características fisonómicas. Se utilizó la clasificación propuesta por la FAO mediante el FRA 2010 (FAO, 2010b), adaptada a las características y particularidades de la Argentina (Anexo II, Cuadro 31).

A fin de evitar conflictos con otros usos maderables de los bosques nativos, se dedujeron del mapa

de IMA los volúmenes correspondientes a las extracciones registradas por la Dirección de Bosques (Cuadro 7). Los rubros contemplados fueron carbón, durmientes, estacones, leña, medios postes, postes de alambrados, postes cabañeros, postes telefónicos, puntales, rodrigones, rollizos, trocillos, varas, varejones, varillas y varillones.

La provincia que realiza mayor aprovechamiento de biomasa de sus bosques es Chaco, que explica por sí sola el 63,6% de estas extracciones a

**Cuadro 6.** Valores de IMA de bosque nativo utilizados en el modelo diferenciado por provincias fitogeográficas

Provincia fitogeográfica	Primer nivel	Tercer nivel	IMA mínimo	IMA
Selva Misionera	Tierras forestales		3,3	4,9
Selva Misionera	Otras tierras forestales		0,8	1,3
Selva de las Yungas	Tierras forestales		2,5	3,8
Selva de las Yungas	Otras tierras forestales		0,6	1,0
Parque Chaqueño	Tierras forestales		1,5	2,4
Parque Chaqueño	Otras tierras forestales		0,4	0,6
Bosque Andino Patagónico	Tierras forestales		1,5	2,4
Bosque Andino Patagónico	Otras tierras forestales		0,4	0,6
Espinal	Tierras forestales	Ñandubay – Espinillo	1,2	2,0
		Ñandubay – Espinillo con otras especies	1,2	2,0
		Caldén cerrado	1,19	1,95
		Caldén abierto con pastos	0,418	0,684
		Caldén abierto con arbustos	0,413	0,678
	Otras tierras forestales	Bosque de transición	1,2	2,0
		Ñandubay - Bosques en galería	1,2	2,0
		Otras especies arbóreas	0,3	0,5
		Caldén tipo parque	0,3	0,4
		Ñandubay tipo parque	0,3	0,4
		Arbustales	0,3	0,4
	Palmares	0,3	0,4	
Monte	Otras tierras forestales		0,1	0,3

Fuente: FAO (2009).

nivel nacional, seguida, en orden de importancia (aunque con cantidades considerablemente menores), de Santiago del Estero (8,2%), Formosa (7,4%) y Salta (4,8%). El principal producto obtenido es la leña, de la que se generan 978 569 t/año a nivel nacional.

Finalmente, se redujo el valor de IMA aplicando un factor de fracción dendroenergética que contempla el porcentaje de la biomasa que se deja en el campo para que cumpla las funciones de protec-

ción de suelos, como práctica de manejo sustentable. En este sentido, se aplicaron dos valores, uno para formaciones densas (0,88) y otro para formaciones abiertas (0,83) (FAO, 2009).

Asimismo, la Dirección de Bosques brindó las capas geoespaciales con la deforestación ocurrida entre los años 2006 y 2016; con las pérdidas detectadas, se actualizó la capa de bosques nativos. Para integrar los tres insumos, se aplicó una resolución espacial de 90 m por píxel.

La distribución de la oferta directa potencial de bosques nativos se presenta en el Mapa 4, que muestra que la mayor disponibilidad se encuentra en las provincias del norte y el NEA. El valor final de la disponibilidad de biomasa de bosques nativos se obtuvo luego de contemplar las restricciones legales y de accesibilidad física (analizadas en el Capítulo 5).

**Cuadro 7.** Extracción de productos forestales por provincia (promedio anual 2012-2015)

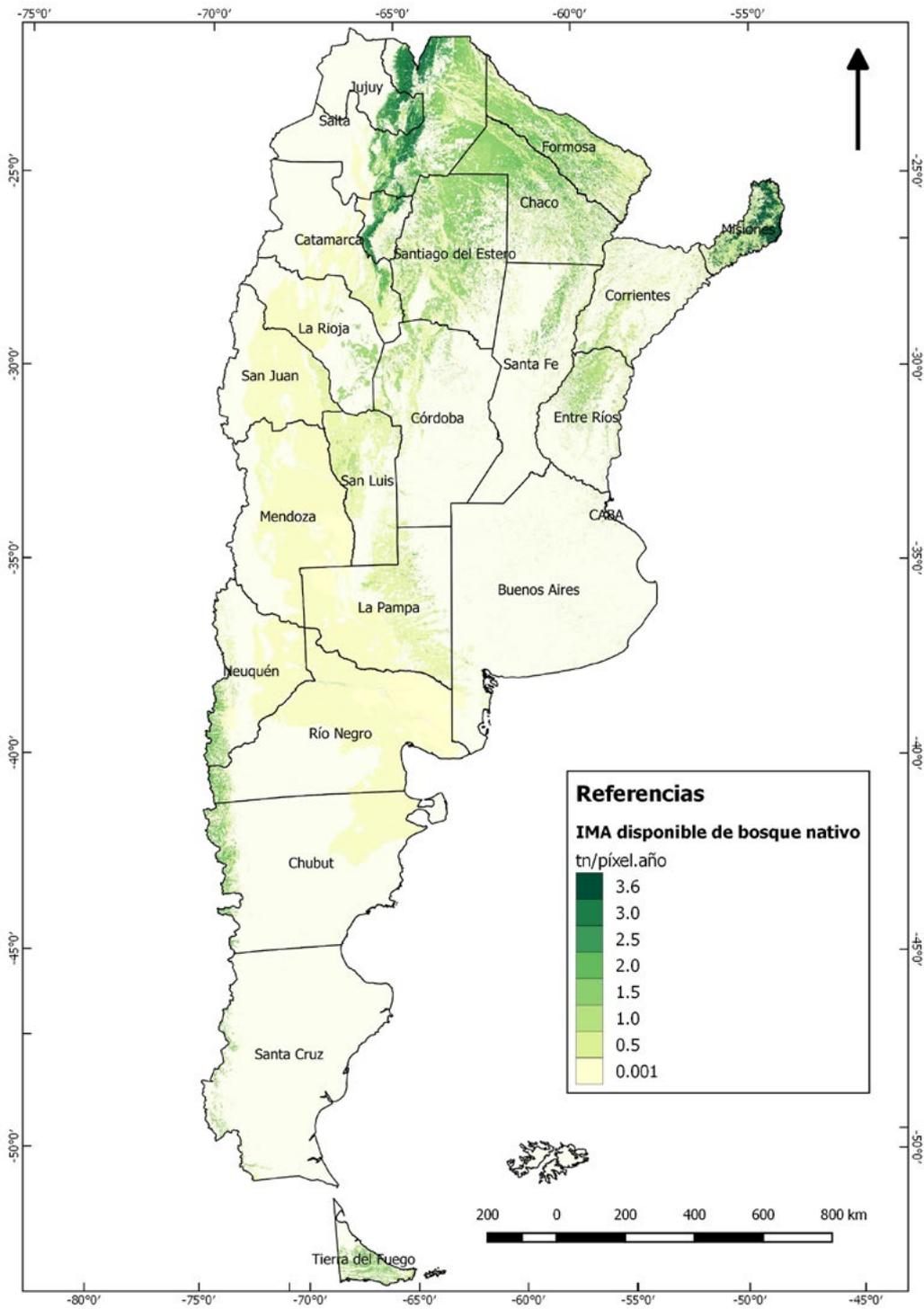
Provincia	Total de productos forestales (t/año)
Catamarca	28 296
Chaco	1 392 413
Chubut	24 848
Córdoba	13 951
Corrientes	1 611
Formosa	162 562
Jujuy	27 842
La Pampa	11 268
La Rioja	6 375
Mendoza	8 100
Misiones	43 465
Neuquén	8 307
Parques Nacionales	6 443
Río Negro	6 878
Salta	105 982
San Juan	98
San Luis	92 955
Santa Cruz	1 335
Santa Fe	7 769
Santiago del Estero	179 161
Tierra del Fuego	50 480
Tucumán	9 701
<b>Total</b>	<b>2 189 840</b>

Fuente: Elaborado sobre la base de información de la Dirección de Bosques (SAyDS, 2017).

#### 4.3 Síntesis de oferta directa total

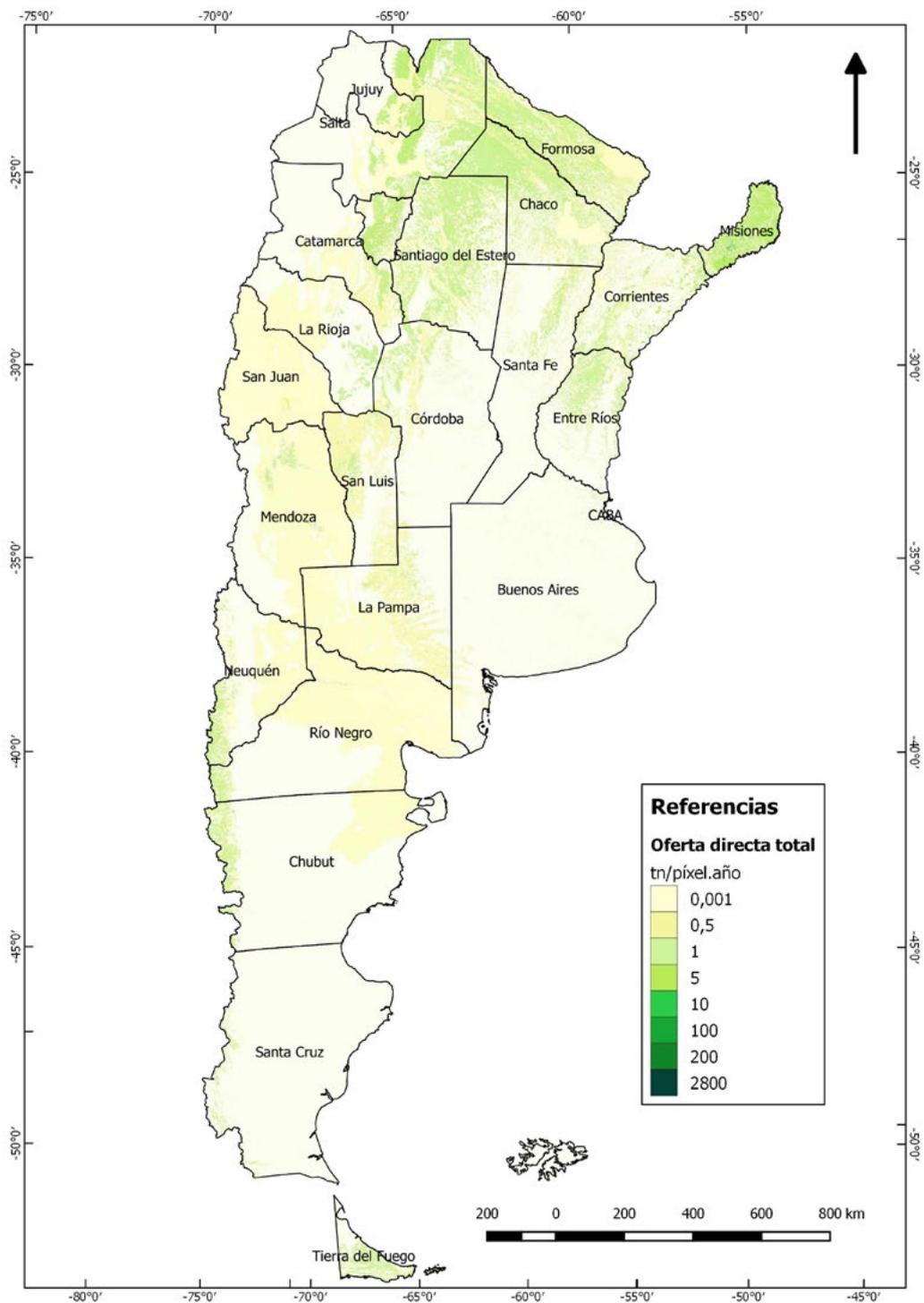
La distribución de la oferta de biomasa total estimada se representa en el Mapa 5. Los bosques nativos, las forestaciones y el cultivo de caña de azúcar son las mayores fuentes de biomasa a nivel nacional, y las provincias de Misiones, Corrientes y Tucumán son las que presentan los valores más altos de esta oferta.

Mapa 4. IMA disponible de bosques nativos



Fuente: Elaborado por los autores.

Mapa 5. Oferta directa total



Fuente: Elaborado por los autores.



© FAO

---

# 5. OFERTA DIRECTA ACCESIBLE



---

---

**A la oferta directa total de biomasa estimada se la ponderó en función tanto de limitaciones físicas de acceso como de restricciones legales, lo que permitió precisar qué parte de ese potencial resulta accesible.**

---

### **5.1 Accesibilidad física**

La metodología WISDOM contempla la incorporación de una variable limitante que tiene relación con la topografía y la distancia que existe entre un lugar poblado o vías de comunicación y la localización del recurso biomásico analizado. Esencialmente, la metodología propone aplicar esta restricción o limitante a la oferta directa de biomasa proveniente de bosques nativos, forestaciones y otros cultivos, dado que estos recursos se encuentran dispersos en el territorio. El desplazamiento entre dos puntos del espacio implica una fricción, que puede expresarse en términos de costos económicos, energéticos (transporte, combustible, mano de obra) y tiempo, dependiendo de la distancia y pendientes que separan a estos puntos.

La accesibilidad física es un parámetro espacial que define la posibilidad de acceder a un determinado recurso biomásico en función de la distancia del lugar más cercano y de fácil acceso y de un factor de costo basado en características del terreno (FAO, 2009). De esta manera, para calcular

la accesibilidad al recurso biomásico se incorporaron al análisis las capas de red vial, de red ferroviaria y de centros poblados (con sus respectivas ponderaciones) en función del Modelo Digital de Elevaciones (MDE). En este caso, el costo expresa la resistencia ofrecida por el medio físico para desplazarse a través de él en un punto concreto. Las superficies de fricción contienen valores de costo que expresan la resistencia que presenta una celda para ser recorrida.

Por esta razón, se creó un mapa de accesibilidad que contempla los factores mencionados en relación con el mapa de fricción. Este análisis se realizó usando valores continuos, por lo que un píxel 58,7% accesible, tendrá un 58,7% de su IMA potencial disponible con fines bioenergéticos.

A diferencia de la función lineal utilizada en el WISDOM Argentina (FAO, 2009), en el presente análisis espacial se aplicó una función exponencial para calcular el costo acumulado para llegar a un determinado píxel. Con esta función exponencial, los píxeles experimentan un rápido incremento del

costo acumulado a medida que se alejan del lugar de origen, sea la red vial, ferroviaria o un centro poblado. En otras palabras, los píxeles muy accesibles conservarían una fracción significativa de su IMA, mientras que los píxeles medianamente o poco accesibles tendrían poco IMA disponible para utilizar.

### Red vial

El análisis de la red vial se realizó empleando la capa vectorial correspondiente al SIG250 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La misma fue codificada sobre la base de bibliografía específica acerca de relaciones entre el tipo de calzada y la dificultad de desplazamiento (Banco Mundial, 1995). De este modo, para realizar el análisis espacial se ponderó la accesibilidad en función de las características de la red vial y, por ello, considerando los atributos de la capa, se asignaron cuatro coeficientes, tal como se detalla en el Cuadro 8.

### Ferrocarriles

En relación con los ferrocarriles, la capa vectorial que se utilizó también fue la SIG250 suministrada por el IGN. La ponderación otorgada a las vías férreas fue de 0,46 (46% de accesibilidad), equivalente a una calzada de camino de tierra.

### Ejididos urbanos

La capa de centros poblados urbanos se generó a partir de la selección de los radios censales de tipo urbano del CNPHyV del año 2010 (INDEC, 2010).

En el análisis espacial, se consideró que la accesibilidad a los recursos biomásicos en los ejidos urbanos es del 100% (coeficiente 1).

### Parajes rurales

Con el objetivo de complementar la capa de ejidos urbanos se recurrió a la Base de Asentamientos Humanos de la República Argentina (BAHRA), de modo de incorporar al análisis aquellos parajes rurales a los que se les asignó una accesibilidad del 100%.

### Pendiente del terreno

Se creó un mosaico a partir de diferentes escenas correspondientes al MDE, provistas por el IGN. Este modelo fue utilizado como insumo para calcular un mapa de pendientes (mapa de fricción o impedancia) que sirvió para estimar el costo acumulado de las distintas variables (red vial, ferrocarriles, ejidos urbanos y parajes rurales).

### Cuerpos de agua

Se recortó el MDE por los cuerpos de agua correspondientes a lagos, embalses, estrechos y diques, con el fin de no contemplarlos en el análisis de accesibilidad.

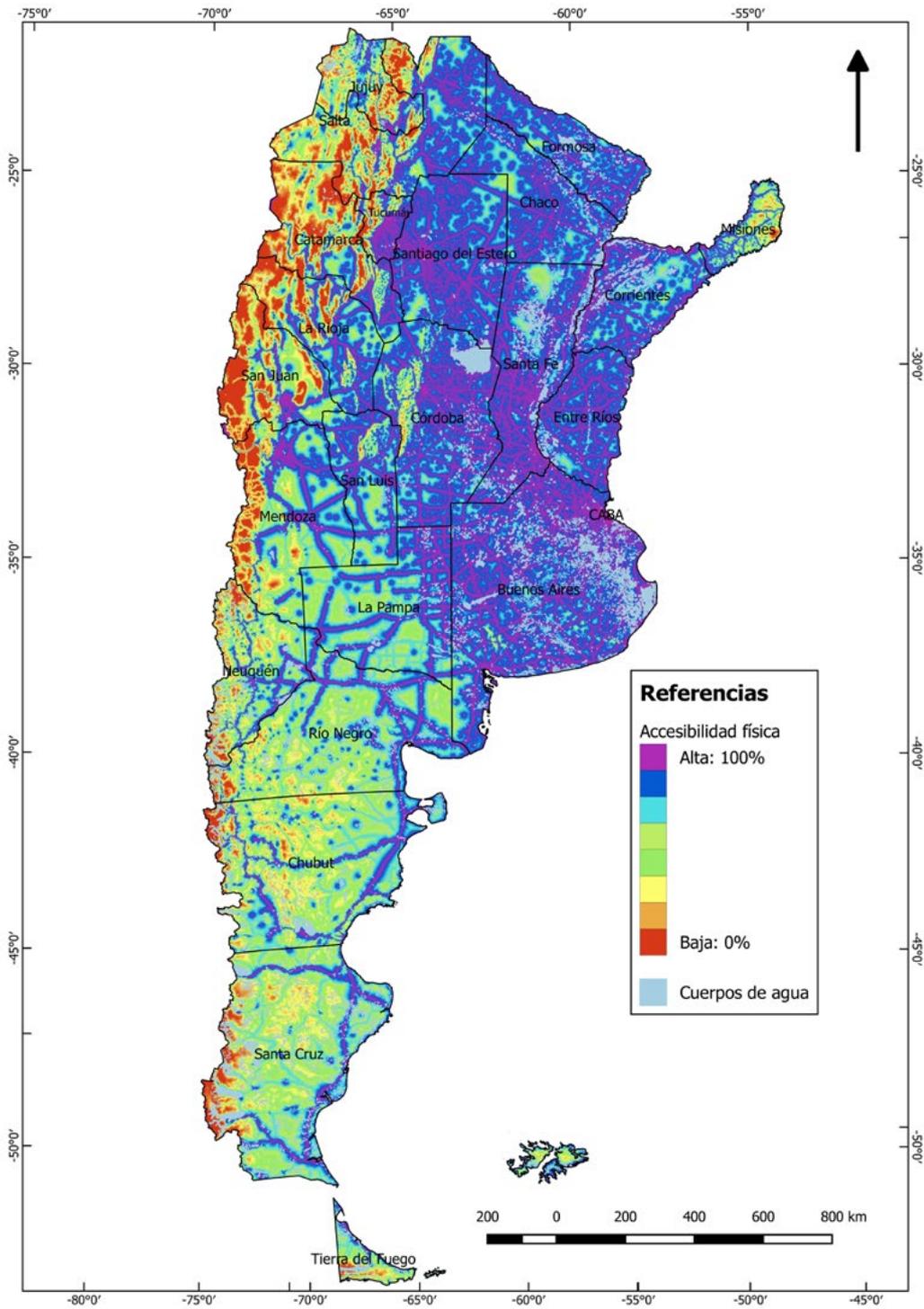
En el Mapa 6 se observa que la accesibilidad física es alta en toda la región de la Pampa Húmeda, cubriendo gran parte de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe. Esto es consecuencia del entramado de centros poblados y

**Cuadro 8.** Coeficientes asignados por tipo de red vial

Red vial		Coeficiente
Tipo	Clase	
Todos	Pavimentado	1,00
Todos	Consolidado	0,72
Ruta	Toda la que no sea pavimentada o consolidada	0,72
Camino	Tierra	0,46
Huella, senda o picada	Todos	0,36

Fuente: Adaptado sobre la base de Banco Mundial (1995).

Mapa 6. Accesibilidad física



Fuente: Elaborado por los autores.

redes viales y, también, de la escasa pendiente del terreno. Más allá de esos territorios, el 100% de accesibilidad se extiende siguiendo el trazado de las principales rutas nacionales y las zonas de influencia de los grandes aglomerados urbanos.

Por otra parte, a lo largo de la diagonal árida se observa una accesibilidad media a baja debido a la falta de una infraestructura vial entramada (prevalece el sentido este-oeste) y a la escasez de centros poblados.

Los impedimentos naturales generan zonas con baja o nula accesibilidad. De esta manera, la Cordillera de los Andes junto con el resto de los sistemas montañosos (sierras subandinas, sierras pampeanas, sierras de Córdoba, entre otras) resultan zonas de escasa accesibilidad a causa de las dificultades relacionadas con la orografía. Asimismo, generan áreas de baja accesibilidad los anegamientos presentes en las provincias mesopotámicas (ríos, bañados, esteros, cañadas).

## 5.2 Accesibilidad legal

La accesibilidad legal es un parámetro espacial que define la posibilidad de acceder a un determinado recurso biomásico en función de las restricciones legales a las que está sujeta su explotación y su gestión comercial. Estas restricciones están impuestas sobre las áreas protegidas para la conservación de la naturaleza, tal como fue considerado en el

WISDOM Argentina (FAO, 2009). Adicionalmente, en esta actualización se incluyó el el Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos (OTBN). Así, el mapa de accesibilidad legal a los recursos biomásicos se constituyó integrando las distintas categorías de las áreas protegidas y del OTBN (Anexo I), con sus respectivas ponderaciones.

### Áreas protegidas

Para generar la capa de restricción legal para las áreas protegidas, se utilizó la capa respectiva brindada por la SAyDS. Según el tipo de área, se asignaron los valores del Cuadro 9. Se asume que las áreas naturales protegidas estrictas se encuentran contempladas en OTBN.

### Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos

La Ley de Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos N.º 26331/07 define tres categorías de conservación de la biodiversidad (Anexo I). A estas categorías de bosques nativos se les asignó la ponderación de accesibilidad que se presenta en el Cuadro 10.

Las áreas comprendidas dentro de la categoría Rojo, que circunscribe sectores de muy alto valor de conservación que no pueden transformarse, en el análisis espacial han sido restringidas totalmente. En cuanto a la categoría Amarillo, que admite un aprovechamiento sostenible del recurso,

**Cuadro 9.** Coeficientes asignados a cada tipo de área natural protegida

Tipo	Ponderación	Accesibilidad (%)
Parque Nacional	0,0	0
Áreas naturales protegidas provinciales	0,2	20
Sitios Ramsar	0,5	50
Reservas de biósfera	0,5	50

Fuente: Elaborado por los autores.

**Cuadro 10.** Coeficientes según OTBN

Categoría	Coeficiente
Rojo	0
Amarillo	0,5
Verde	1

Fuente: Elaborado por los autores.

se le asignó una disponibilidad del 50% del IMA, en tanto que a la categoría Verde se le asignó un 100% de accesibilidad legal, ya que comprende sectores de bajo valor de conservación y pueden transformarse parcial o totalmente dentro de los criterios de la ley.

Cabe señalar que para hacer un aprovechamiento de los bosques nativos en áreas definidas como Amarillo se debe tener aprobado un plan de manejo forestal por parte de la autoridad local de aplicación. Para hacer uso del bosque nativo en zonas verdes, según la ley, se deberá cumplir con el procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

A partir de los elementos mencionados, se elaboró el mapa de accesibilidad legal, que muestra el acceso a los recursos biomásicos disponibles en la Argentina de acuerdo con las reglamentaciones vigentes.

En el Mapa 7 se observa que las áreas con mayor superficie restringida para el aprovechamiento de biomasa corresponden a las zonas donde predominan las formaciones nativas, y esta restricción legal está asociada a las categorías definidas por el OTBN y a las áreas naturales protegidas.

### 5.3 Accesibilidad total

A partir de las restricciones físicas y legales se multiplicaron los coeficientes a efectos de construir el mapa de accesibilidad total, de modo de incluir todas las limitaciones. Las áreas no restringidas por ninguna de estas variables permanecen en el mapa con valores de accesibilidad del 100%, mientras que aquellas donde la restricción es total fueron consideradas de accesibilidad nula.

Así, la accesibilidad física estimada (Mapa 6) quedó restringida luego de integrarla con la accesibilidad legal (Mapa 7), lo que dio como resultado el mapa de accesibilidad total (Mapa 8). Las zonas que presentan mayor accesibilidad son las del centro y noreste del país, que no tienen restricciones físicas referidas a la orografía ni a la red de caminos y ferrocarriles. Las zonas con mayor dificultad de acceso se encuentran en las provincias de la Patagonia y en la región andina. La presencia de una densa red de infraestructura vial pavimentada y de centros poblados permite que los

---

**Por su red vial y centros poblados, Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe, Corrientes y gran parte de Córdoba son las provincias que presentan mayor accesibilidad, excepto en las zonas con restricciones legales.**

---

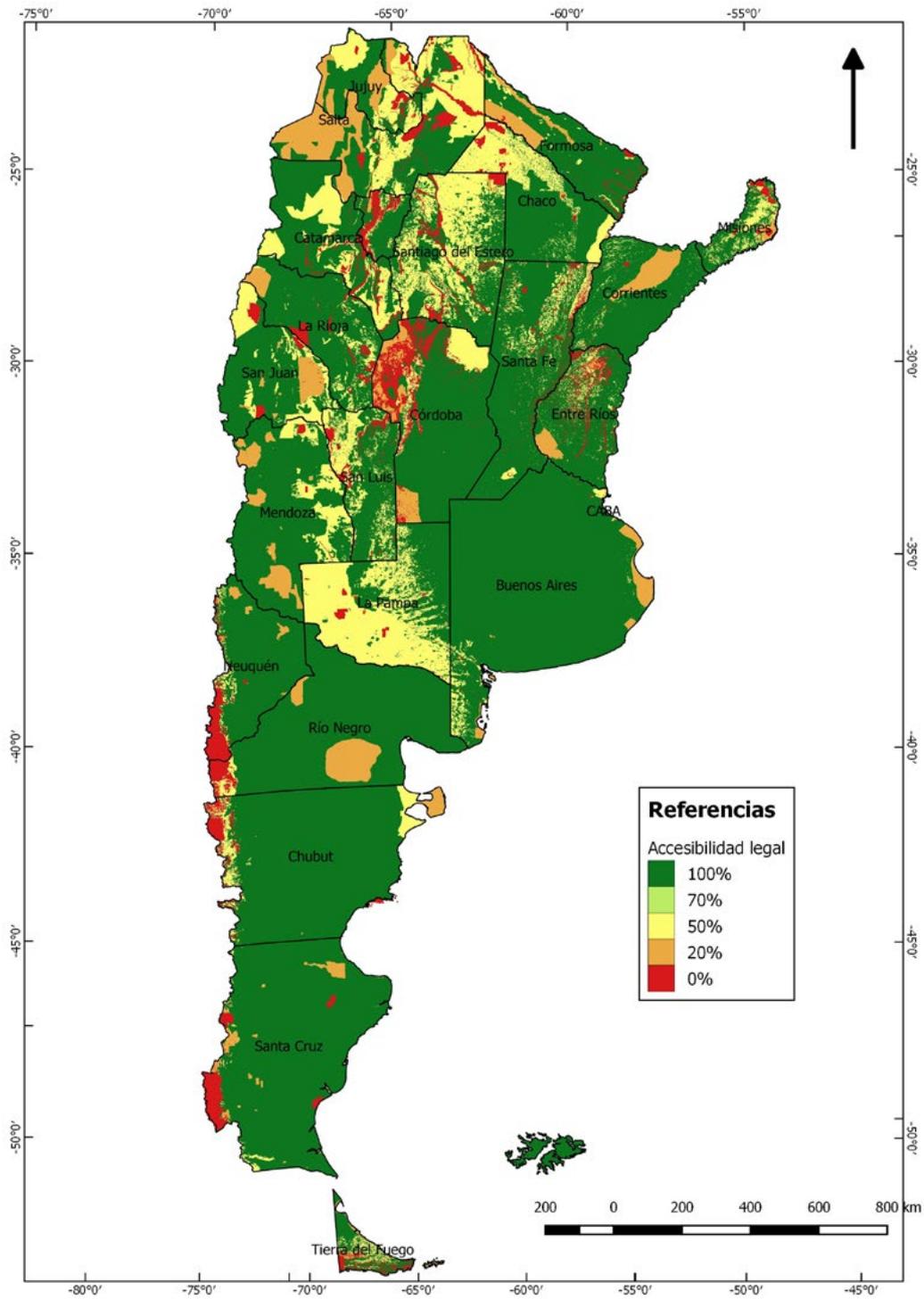
niveles de accesibilidad se encuentren siempre por encima del 70% en las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe, Corrientes y gran parte de Córdoba, a excepción de las zonas comprendidas dentro de las restricciones legales.

### 5.4 Oferta directa accesible

En función de la accesibilidad total, se recalculó la oferta directa de biomasa, restringiendo así las zonas con dificultad de acceso por falta de vías de comunicación, grandes pendientes en el terreno y/o con limitaciones legales. El resultado de la oferta directa accesible se presenta en el Mapa 9, donde se observa una reducción de la disponibilidad de biomasa con fines energéticos respecto de la oferta total, principalmente en relación con los bosques nativos, debido a las fuertes restricciones legales que derivan de la ley de Bosques, y también de las áreas naturales protegidas. También influye el factor de accesibilidad física, como la distancia a caminos y cuestiones naturales asociadas al relieve. En el Cuadro 11 se presentan los valores potenciales de oferta de biomasa accesible de los cultivos a nivel nacional.

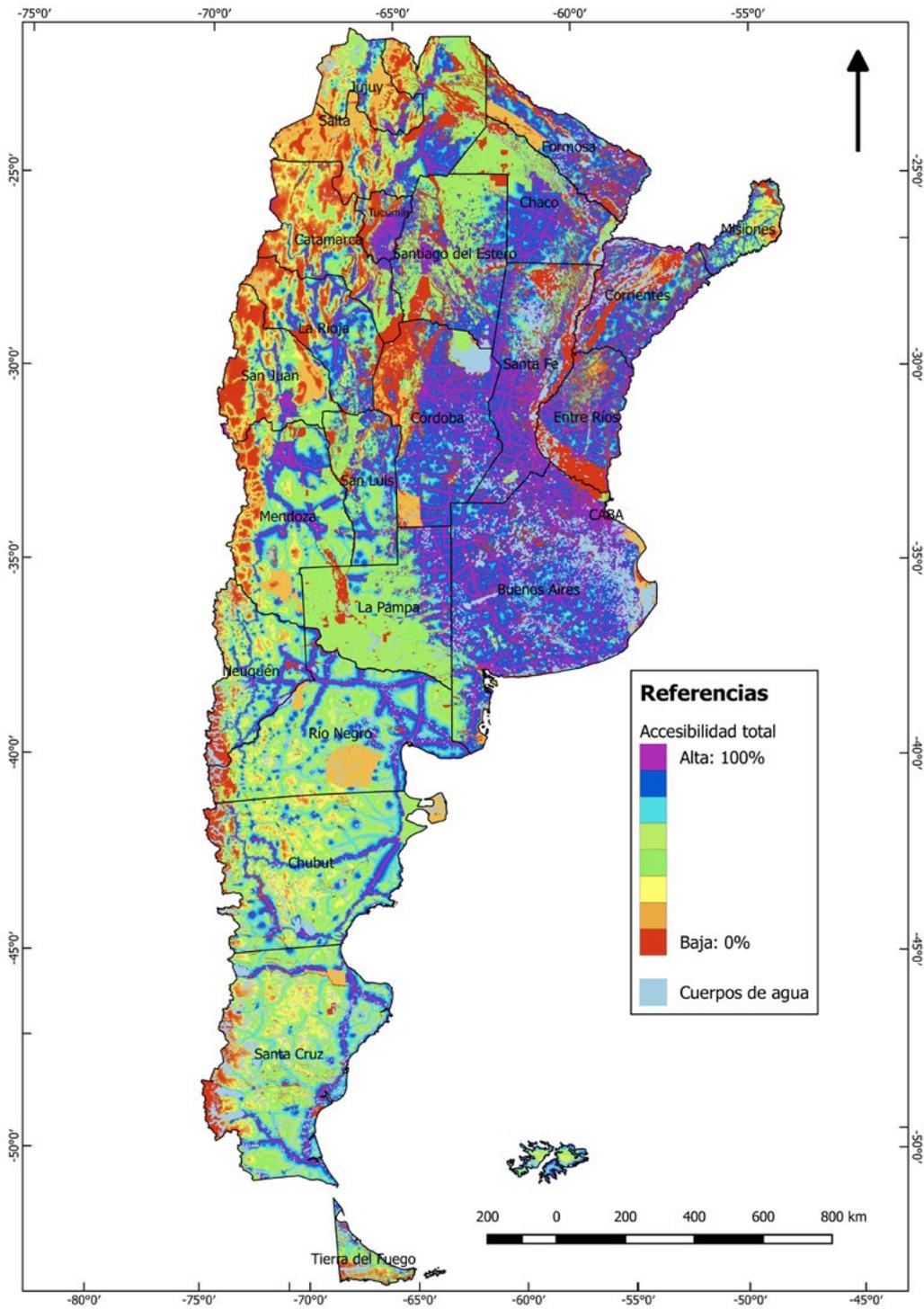
En cuanto a la oferta potencial de formaciones nativas, en el Cuadro 12 se observa que las restricciones de accesibilidad afectan a más del 50% de la biomasa estimada.

Mapa 7. Accesibilidad legal



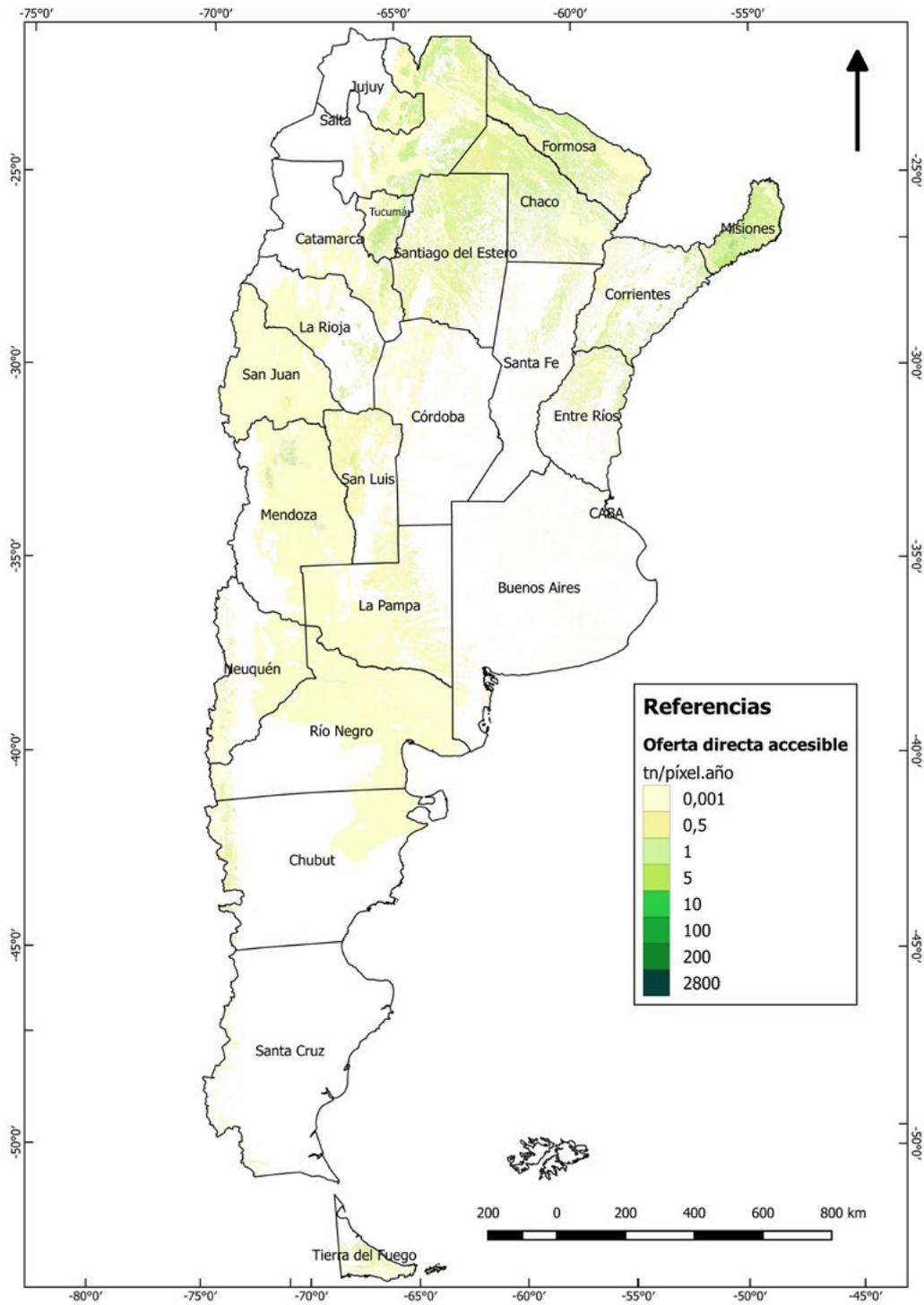
Fuente: Elaborado por los autores.

Mapa 8. Accesibilidad total



Fuente: Elaborado por los autores.

Mapa 9. Oferta directa accesible



Fuente: Elaborado por los autores.

**Cuadro 11.** Oferta directa accesible de cultivos por provincia

Provincia	Oferta directa accesible de cultivos (t/año)													Aporte relativo (%)	
	Forestaciones	Caña de azúcar	Té	Vid	Arroz	Banana	Frutas de carozo	Cítricos	Yerba mate	Olivos	Arándanos	Kiwi	Nuez pecán		TOTAL
Buenos Aires	44071	-	-	79	-	-	6096	7541	-	3272	1380	846	-	63285	0,7
Catamarca	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51	0,0
Chaco	11924	-	-	-	9336	-	-	-	-	-	-	-	-	21260	0,3
Chubut	65989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65989	0,8
Córdoba	18532	-	-	-	-	-	-	-	-	1134	-	-	-	19666	0,2
Corrientes	993593	-	53344	-	428396	-	-	76770	18874	-	-	-	-	1570977	18,5
Entre Ríos	318156	-	-	-	-	-	-	39650	-	-	6028	-	154	363988	4,3
Formosa	4535	-	-	-	-	124775	-	-	-	-	-	-	-	129310	1,5
Jujuy	24677	374058	-	-	-	33720	-	-	-	-	-	-	-	432455	5,1
La Pampa	741	-	-	-	-	-	2893	-	-	-	-	-	-	3634	0,0
La Rioja	339	-	-	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	434	0,0
Mendoza	18721	-	-	484353	-	-	268201	-	-	43393	-	-	-	814667	9,6
Misiones	1442577	31500	942842	-	-	-	-	17980	163038	-	-	-	-	2597937	30,7
Neuquén	99718	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99718	1,2
Río Negro	17828	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17828	0,2
Salta	91765	200746	-	4749	-	309008	-	14640	-	74	-	-	-	620983	7,3
San Juan	6595	-	-	102494	-	-	3254	-	-	-	-	-	-	112343	1,3
San Luis	316	-	-	162	-	-	-	-	-	-	-	-	-	478	0,0
Santa Cruz	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	0,0
Santa Fe	61583	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61583	0,7
Santiago del Estero	13621	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13621	0,2
Tierra del Fuego	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Tucumán	11511	1355097	-	-	-	-	-	98895	-	-	-	-	-	1465503	17,3
<b>Total</b>	<b>3246863</b>	<b>1961401</b>	<b>996186</b>	<b>591932</b>	<b>437732</b>	<b>467503</b>	<b>280444</b>	<b>255476</b>	<b>181912</b>	<b>47873</b>	<b>7408</b>	<b>846</b>	<b>154</b>	<b>8475731</b>	

Fuente: Elaborado por los autores.

**Cuadro 12.** Oferta directa y oferta directa accesible de formaciones nativas por provincia

Provincia	Formaciones nativas		
	Oferta directa (t/año)	Oferta directa accesible (t/año)	Aporte relativo (%)
Buenos Aires	488624	359347	1,1
Catamarca	1318531	568547	1,7
Chaco	8690421	4671384	14,2
Chubut	1835544	510053	1,6
Córdoba	1924559	273723	0,8
Corrientes	1710951	1191955	3,6
Entre Ríos	2331782	1088167	3,3
Formosa	7322613	4381024	13,4
Jujuy	2907550	596664	1,8
La Pampa	1894204	942456	2,9
La Rioja	1073760	518051	1,6
Mendoza	841395	580927	1,8
Misiones	5901055	4067097	12,4
Neuquén	1782309	358380	1,1
Río Negro	1489267	641307	2,0
Salta	14053966	4327840	13,2
San Juan	665795	123922	0,4
San Luis	1689341	968892	3,0
Santa Cruz	525890	100641	0,3
Santa Fe	1734374	676447	2,1
Santiago del Estero	9299614	4627368	14,1
Tierra del Fuego	1301171	399572	1,2
Tucumán	2227291	827002	2,5
<b>Total</b>	<b>73 010 007</b>	<b>32 800 764</b>	

Fuente: Elaborado por los autores.



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

---

## 6. OFERTA INDIRECTA



---

---

**Para calcular la oferta indirecta de biomasa, se relevaron 17 fuentes de residuos de industrias o elaboradoras, que superaron los 10 millones de toneladas anuales, concentradas en el NOA y el NEA.**

---

Se entiende por oferta indirecta de biomasa la que resulta de un proceso de transformación industrial, como residuo o subproducto. Esta biomasa, a diferencia de la considerada como oferta directa, se encuentra concentrada espacialmente.

La oferta indirecta está conformada por subproductos como el bagazo, que se genera en los ingenios a partir de la transformación de la caña de azúcar; los residuos de la industria forestal, como costaneros, despuntes, virutas, aserrín, corteza y astillas; los subproductos del proceso de vinificación; los residuos del desmote del algodón, del acopio de tabaco y de la producción de pasta y aceite de maní, entre otros.

El objetivo de este apartado es evaluar la disponibilidad de este tipo de biomasa para producción de energía, a partir de la información disponible de las actividades productivas mencionadas. Los resultados de la oferta indirecta no son filtrados por los mapas de accesibilidad ya que, al encontrarse en establecimientos industriales, se presupone que se encuentran 100% accesibles.

## **6.1 Industrias**

### **Bodegas**

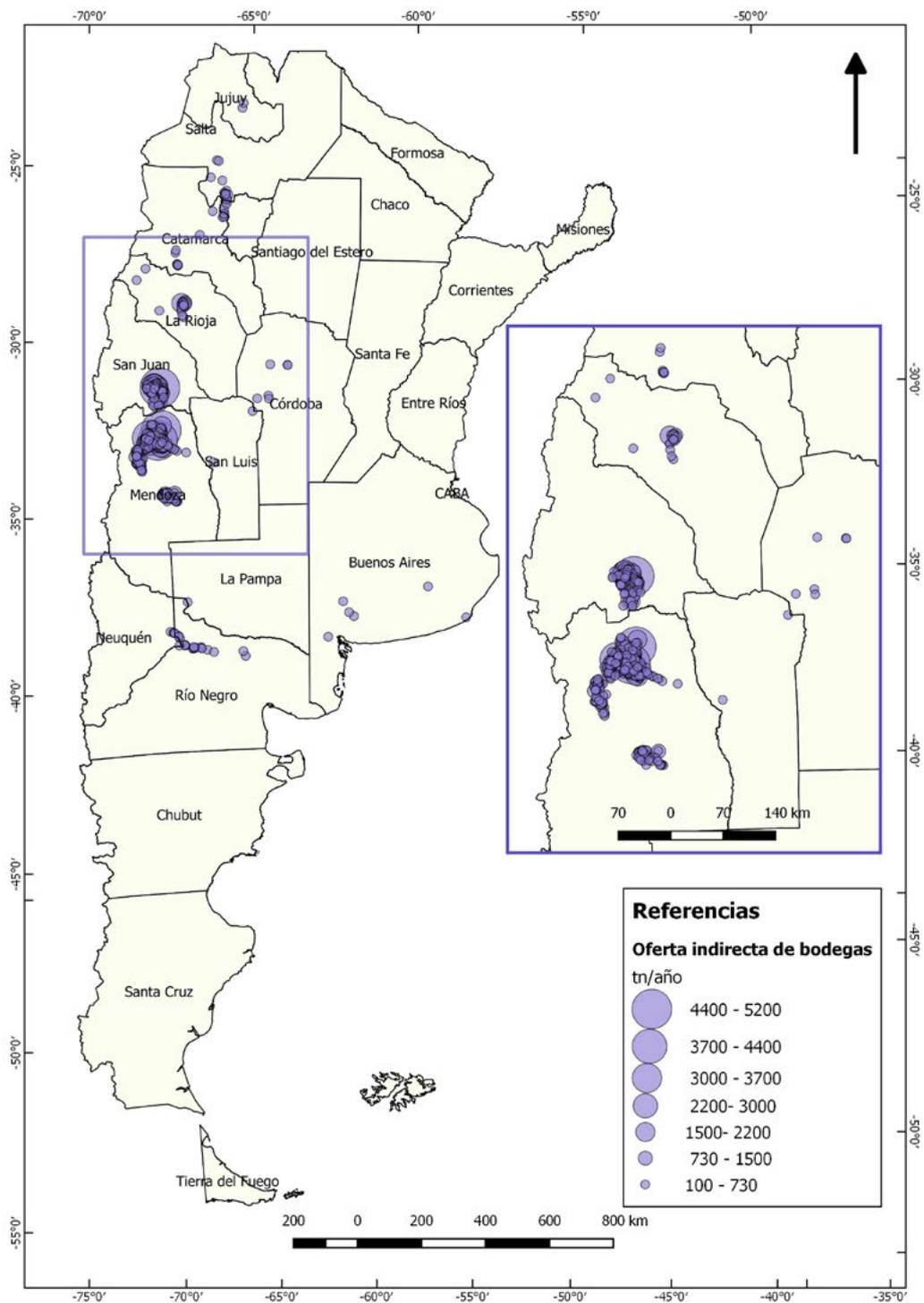
Del proceso de vinificación, se tienen en cuenta en este análisis los residuos sólidos orgánicos, como orujos, borras y escobajos, producto del prensado de la uva; el despalillado de racimos, y el precipitado sólido del vino.

Mendoza, San Juan, Salta y Neuquén son las provincias con mayor cantidad de bodegas. Según información del Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV) sobre la ubicación de establecimientos registrados en 13 provincias y la cantidad de producto elaborado en 2014, la biomasa residual potencialmente disponible constituye un 7,85% del volumen de uva procesado en cada bodega. Por lo tanto, se estimó un total de 201 809 t/año de estos residuos (Mapa 10).

### **Industria azucarera**

En la Argentina operan 22 ingenios azucareros, de los cuales 15 se encuentran en Tucumán, tres en

**Mapa 10.** Oferta indirecta a partir de residuos generados por bodegas



Fuente: Elaborado por los autores.

Jujuy, dos en Salta, dos en Santa Fe y uno en Misiones.

Los tallos verdes de la caña de azúcar son molidos en el trapiche, donde se extrae un jugo azucarado que se separa de la fibra de la caña, denominada bagazo. Este residuo fibroso contiene un 50% de humedad y corresponde al 30% de la caña molida (INTA, 2013; Roca Alarcón *et al.*, 2006; FAO, 2009). El bagazo puede ser utilizado para la elaboración de papel o para la generación de energía, tanto eléctrica como térmica.

Para incorporar este residuo biomásico en el análisis espacial, se georreferenciaron todos los ingenios registrados por el Centro Azucarero Argentino (CAA) y se utilizaron sus datos sobre la cantidad de caña molida por ingenio correspondiente a la zafra del año 2016. Así, se determinó que la cantidad de bagazo generado por estas industrias en las provincias de Tucumán, Salta, Jujuy, Misiones y Santa Fe fue de 5 530 822 t/año.

### Industrias forestales

La transformación primaria y secundaria de la madera genera residuos tales como costaneros, despuntes, virutas, aserrín, corteza y astillas. La mayor parte del consumo nacional de madera corresponde a bosques implantados en 1,2 millones de hectáreas con especies exóticas de rápido crecimiento. En 2013, se extrajeron 12,23 millones de toneladas de madera, de la que el 96,1% correspondió a rollizos, el 2,5% a postes, el 1,0% a leña y el resto a otros productos.

Entre las especies cultivadas sobresale el pino (60%), en menor medida el eucalipto (34%), y luego las salicáceas, como álamo (3%) y sauce (2%), entre otras (MECON, 2016b).

Para obtener la información de ubicación geográfica y volumen de producción de las industrias forestales del país, así como un rendimiento estimado, se contó con los datos del informe nacional del relevamiento censal de aserraderos (MINAGRO, 2017).

Con esos datos, se estimó que la oferta de biomasa proveniente de las industrias forestales totalizaba un volumen de 6 258 719 m<sup>3</sup> sólidos de residuos de madera por año, que, convertido a biomasa, resulta en 3 129 360 t/año. En el Cuadro 13,

se puede observar que las provincias que mayor oferta disponible tienen son Misiones, Corrientes y Entre Ríos. Entre las tres representan el 87% del total nacional.

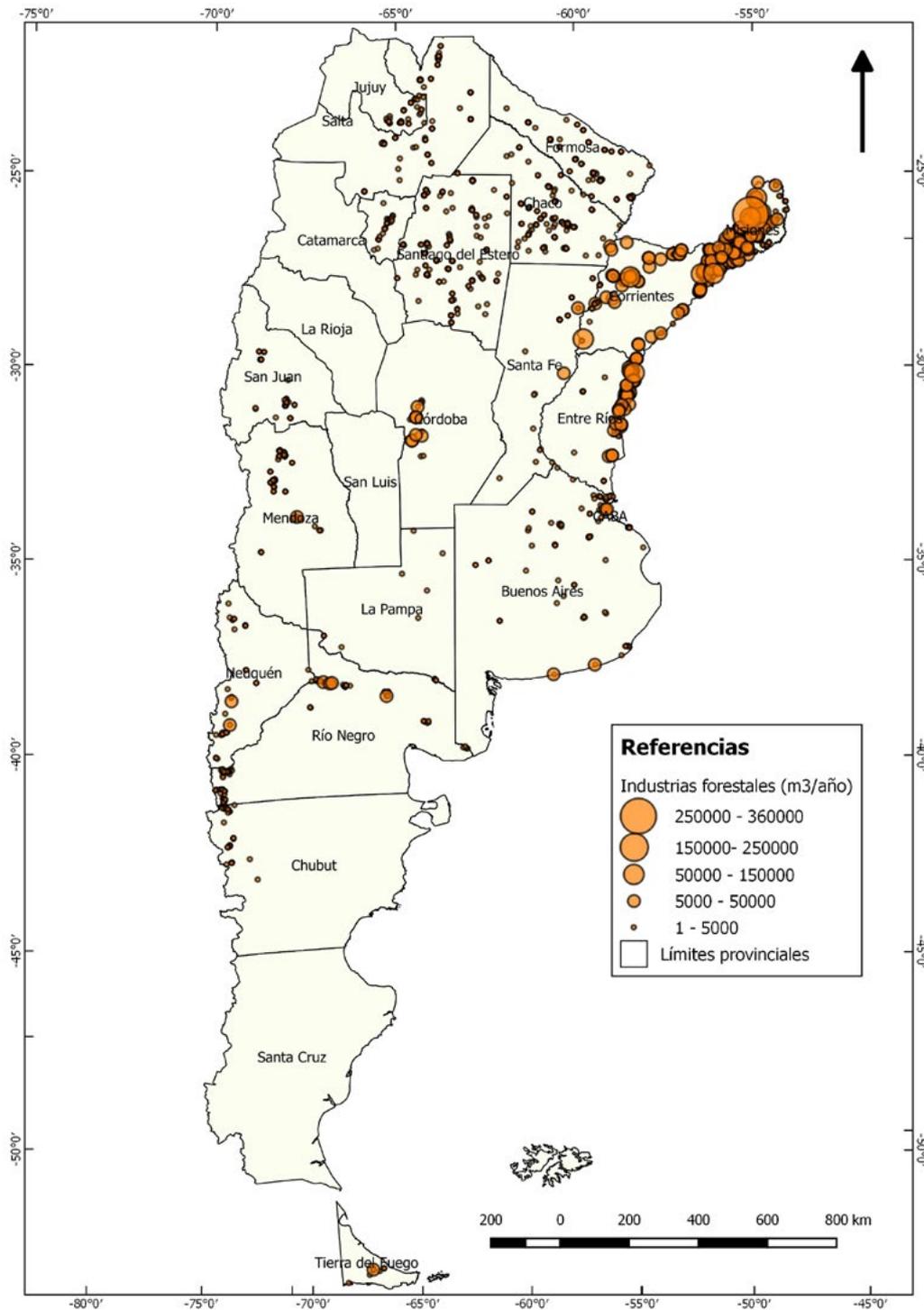
Por otro lado, en el Mapa 11, se presenta la distribución de las industrias forestales y el volumen de residuos generados por las mismas, relacionado de manera directa con el tamaño de los círculos.

**Cuadro 13.** Oferta indirecta de las industrias forestales por provincia

Provincia	Residuos de madera	
	m <sup>3</sup> /año	t/año
Buenos Aires	122 843	61 422
Chaco	257 960	128 980
Chubut	17 806	8 903
Córdoba	116 123	58 062
Corrientes	1 486 356	743 178
Entre Ríos	1 352 378	676 189
Formosa	51 715	25 858
Jujuy	21 189	10 595
La Pampa	2 539	1 270
Mendoza	55 110	27 555
Misiones	2 372 052	1 186 026
Neuquén	34 351	17 176
Río Negro	148 238	74 119
Salta	42 145	21 073
San Juan	7 750	3 875
Santa Fe	30 870	15 435
Santiago del Estero	55 476	27 738
Tierra del Fuego	60 939	30 470
Tucumán	22 879	11 440
<b>Total</b>	<b>6 258 719</b>	<b>3 129 360</b>

Fuente: Elaborado por los autores.

**Mapa 11.** Distribución y volumen de producción de las industrias forestales



Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de MINAGRO (2017).

### **Procesadoras de maní**

La actividad agroindustrial del maní se concentra en la provincia de Córdoba y se enfoca en la exportación, con más del 90% de la producción destinado a este fin, con Europa como principal destino, de acuerdo con las estadísticas de la Cámara Argentina del Maní (CAM, 2018).

El residuo aprovechable de las procesadoras es la cáscara del maní, que representa aproximadamente el 30% del volumen cosechado. Este residuo solía incinerarse, aunque en los últimos años se está utilizando para generar energía eléctrica junto con la cáscara de girasol.

Según la CAM (2018), hay 23 empresas radicadas en Córdoba y dos en Salta. En función de la cantidad de hectáreas cultivadas de maní y el rinde estimado para la temporada 2017/18 por la CAM, se calculó la producción para estas dos provincias.

Sobre datos de las toneladas procesadas por empresa en 2012, se actualizaron los volúmenes de 2018 asignados proporcionalmente a cada establecimiento. Así, se estimó que el residuo total de esta industria es de 325 811 t/año.

### **Desmotadoras de algodón**

La industria procesadora de algodón genera residuos potencialmente aprovechables con fines energéticos, tales como carpelos, palos, hojas y restos de bochas maduras.

Para las provincias de Salta y Córdoba, la información se recabó a partir del Anuario 2015 de J.J. Hinrichsen, empresa que oficia de corredora en el mercado del algodón. En Córdoba se identificó una desmotadora ubicada en Cruz del Eje que procesó 55 t/día, mientras que en Salta se encontró la desmotadora Liag, que procesó 500 t/día de algodón en 2014. En la provincia de Chaco, sobre datos de la EEA Sáenz Peña del INTA, se contabilizaron 28 desmotadoras, con un promedio de procesamiento de 255 t/día en 2014.

Sobre la base de estimaciones de técnicos referentes del INTA Sáenz Peña, se consideró que se descarta el 18% de la materia prima ingresada a los establecimientos, que queda disponible como residuo. De esta manera, en el estudio realizado se multiplicó el valor diario de residuo por 150, que es

la cantidad de días promedio que operan los establecimientos durante un año calendario, lo que deja los residuos disponibles desde marzo hasta septiembre.

El total estimado de biomasa de desmotadoras fue de 207 776 t/año.

### **Jugueras**

Las plantas que procesan cítricos para la extracción de jugo, aceite y pulpa tienen como residuo las cáscaras de las frutas, que frecuentemente se utilizan en las propias calderas para generar energía térmica.

En Corrientes existen cuatro industrias jugueras, tres de ellas ubicadas en los alrededores de la ciudad de Bella Vista, y la otra en Colonia San Francisco, departamento de Monte Caseros. El aporte que realizan estas industrias es de 15 525 t/año de cáscara seca.

En Entre Ríos, se identificaron seis empresas, con valores de producción de entre 12 000 y 25 300 t/año, que generan en total 108 123 t de cáscaras anuales.

En todo el país, la estimación de residuos de jugueras alcanzó las 123 648 t/año.

### **Molinos arroceros**

En los molinos arroceros, habitualmente, se limpia y seca el arroz cáscara y se lo almacena para procesar durante la temporada. En la elaboración, el arroz cáscara se transforma en arroz blanco o arroz integral, junto con varios subproductos como el arroz quebrado, el afrecho de arroz y la cáscara de arroz (Calzada y Frattini, 2016). Este último subproducto es el que este análisis considera como residuo pasible de aprovechamiento energético.

En la provincia de Entre Ríos, este residuo se utiliza casi en su totalidad para cama de pollos, por lo que no se consideró como oferta.

En Corrientes hay 28 molinos arroceros. A cada uno se le asignó un residuo de cáscara de arroz ponderado a partir del valor registrado por departamento dividido por la cantidad de molinos ubicados en el departamento, información brindada por técnicos de distintas agencias del Centro Regional

INTA Corrientes y de la Asociación Correntina de Plantadores de Arroz (ACPA). De acuerdo con el Informe de la campaña 2015-2016, la producción total de arroz fue de 557 289 t, de las que se consideró una oferta indirecta de residuos de 161487 t/año.

La provincia del Chaco cuenta con dos molinos arroceros ubicados en el departamento de Bermejo. Según información facilitada por el Ministerio de Industria, Trabajo y Empleo del Chaco, se estima que los molinos arroceros producen un 22% de cáscara y un 10% de afrecho; así, para el modelo espacial se tomó un valor de 32% de residuos de esta industria. El volumen de arroz procesado en la provincia, según lo declarado por las firmas arroceras, es de 57 000 t/año, con lo que el total de residuos se estimó en 18 240 t/año.

El total de residuo de biomasa de esta industria se estimó en 179 727 t/año.

### **Molinos de yerba**

En etapa secundaria o industrial de la producción yerbatera se produce la yerba mate canchada; luego de pasar por un período de estacionamiento, el producto ingresa a la fase de molienda, de la que resulta la yerba mate elaborada, para consumo final (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016).

Corrientes cuenta con cinco molinos yerbateros concentrados en los departamentos de Santo Tomé e Ituzaingó, los únicos en la provincia donde se produce yerba mate. El Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM) aportó los datos sobre los residuos de la industria yerbatera por departamento para el año 2016. Esos valores se ponderaron de acuerdo con el número de molinos yerbateros existentes en cada departamento para estimar la cantidad de residuos generados por molino, de lo que resultó un valor total de 3356 t/año.

Para la provincia de Misiones, según el INYM, la producción de yerba mate fue de 711 000 t de hoja verde en el año 2016. Se estima que el residuo de biomasa en la industria yerbatera es del 3% sobre el total de hoja verde que ingresa a los secaderos, de lo que se obtuvo un valor de 21323 t/año.

Cabe aclarar que los productores aprovechan los residuos de varias industrias como abono para sus chacras.

En total, en el país se estimaron 24 679 t/año de residuos de yerba mate.

### **Secaderos y acopiadores de tabaco**

En el proceso de secado del tabaco se generan desperdicios que pueden ser aprovechados para producir energía, como el descarte de hojas y los tallos de algunas variedades, como Burley.

La Red de Información para el Desarrollo Productivo (RIDES) de Tucumán brindó la ubicación de los 805 secaderos que se encuentran en la provincia. Se estimó un volumen de residuos de 4,6 t/año por cada establecimiento.

En Misiones, la producción de tabaco ronda las 20 000 t/año, concentrada en una sola región, donde una única industria procesa más del 90% del total. Según datos de integrantes de la Cooperativa Agroindustrial de Misiones (CTM), los residuos son aproximadamente el 20% de la materia prima procesada, por lo que alcanzarían cerca de 4 000 t/año, y los productores se llevan una parte para utilizar como abono. No obstante, en el presente informe se considera el total de residuos, sin descontar ese porcentaje.

Por otra parte, luego de cosechado y secado, el tabaco se enfarda y envía a centros de acopio, en donde se realizan tareas de clasificación, acondicionado y descarte, que generan residuos biomásicos aprovechables con fines energéticos. Tales labores incluyen, entre otras, despallado, corte de puntas, enfardado y descartes por defectos en las hojas, como también polvo debido al procesamiento de las hojas.

Para incorporar al análisis espacial los residuos resultantes, se georreferenciaron las empresas acopiadoras de tabaco de siete provincias: Catamarca, Chaco, Corrientes, Jujuy, Misiones, Salta y Tucumán. A partir del Programa de Reconversión de Áreas Tabacaleras se tomaron los valores de acopio disponibles para la campaña 2016-2017. Se planteó una generación de residuos de aproximadamente el 5% de la materia prima ingresada a los centros de acopio (Plaza *et al.*, 1999). Como resultado, se estimó un total de 5858 t/año de biomasa.

Según lo informado por los técnicos responsables de la industria tabacalera, parte del residuo

que se genera es utilizado por los productores de la región como abono para el suelo, aunque para el presente informe se tomó el valor total de los residuos generados en estas industrias.

### **Frigeríficos y secaderos de fruta**

Mendoza es la principal productora de frutas del país, en particular de pepita, de carozo y secas. En los eslabones superiores de la cadena productiva, la infraestructura de almacenamiento y de frío se concentra en los oasis productivos, con 242 galpones de empaque (IDR, 2010), de los cuales 143 cuentan con cámaras frigeríficas. La mitad se ubica en el Oasis Sur (MECON, 2014). Se estima que el porcentaje de residuos es del 20% del volumen procesado.

En cuanto al secado de fruta, en 2009, en Mendoza se contabilizaron 498 establecimientos. El 90,6% del volumen secado correspondió a ciruelas y el 9,4% restante se distribuyó entre duraznos, damascos, peras, uvas y tomates (IDR, 2009). En el mismo relevamiento fueron digitalizados los secaderos de frutas y registrados sus valores de producción.

Para el secado de ciruela se estima un residuo de entre 2 y 3% del volumen de frutas procesado, según las consultas realizadas a productores del Oasis Sur. Los secaderos de otras frutas como durazno, pera y damasco generan un porcentaje mayor de residuos (entre 7 y 8%) dado que en muchos casos la fruta se pela, se parte y se descorza; no obstante, son muy pocos estos secaderos. Por ello, para este análisis espacial se aplicó un coeficiente del 0,03 sobre el total de fruta procesada en cada establecimiento.

En conjunto, se estima que frigeríficos y secaderos de fruta generan residuos biomásicos por 21761 t/año.

### **Procesadoras de mandioca**

En Misiones se encuentran 11 plantas procesadoras de mandioca. No obstante, para este análisis se tuvieron en cuenta solamente aquellas que no producen biogás con sus residuos (FAO, 2019a), es decir, las plantas ubicadas en las localidades de Andresito y Puerto Rico. Se estima que el

---

**Casi el 80% de la oferta indirecta de biomasa proviene de los ingenios azucareros y los aserraderos.**

**Sin embargo, gran parte la usan los mismos establecimientos para generar energía térmica en las calderas y para fabricar papel.**

---

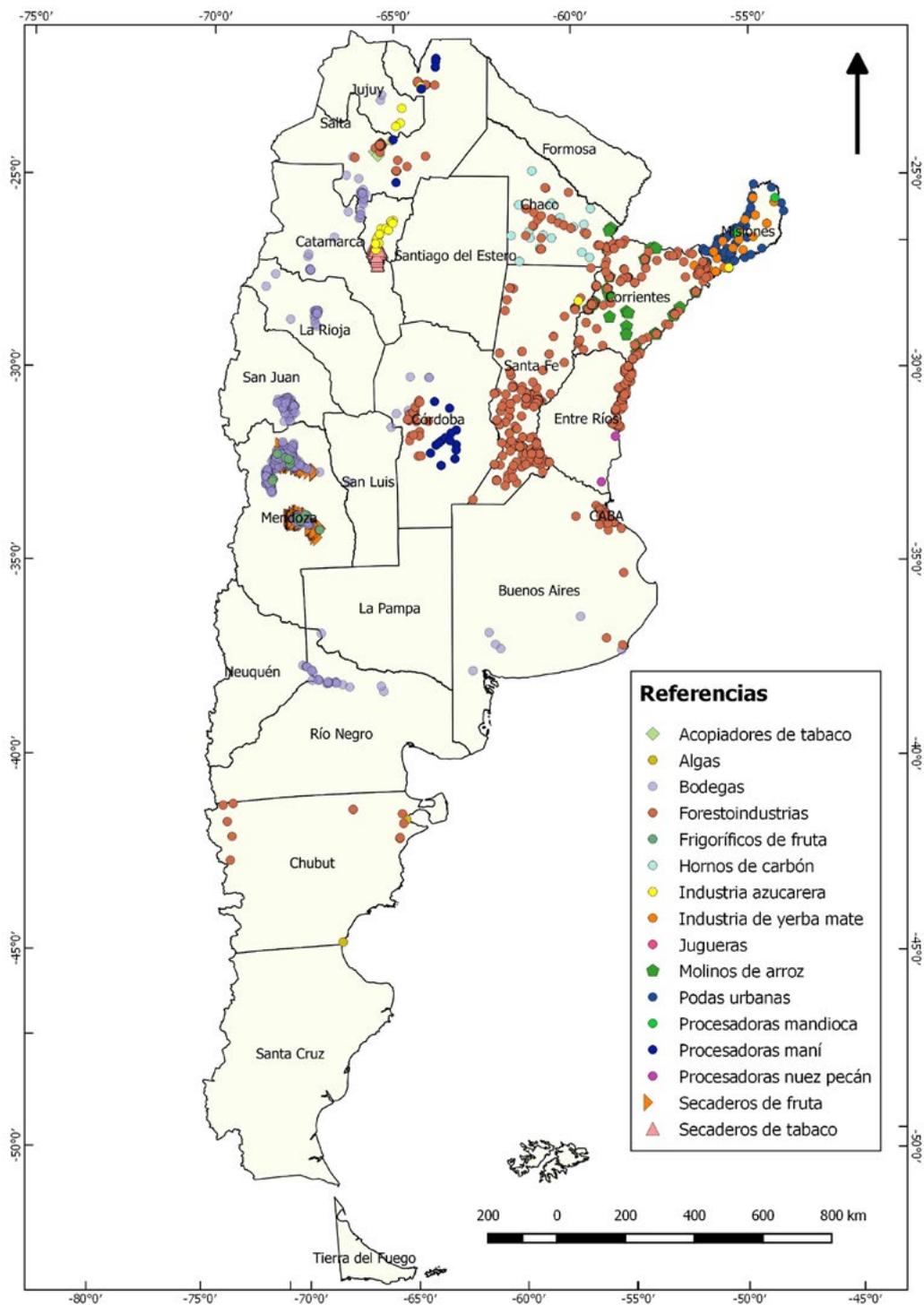
residuo que se genera durante el procesamiento de la mandioca es el 30% del producto que ingresa a los establecimientos, lo que arroja un resultado total de 22000 t/año, aproximadamente.

### **6.2 Síntesis de oferta indirecta**

Para los cálculos de la oferta indirecta de biomasa con fines energéticos se obtuvo información de 17 tipos de fuentes distribuidas en todo el país (Mapa 12). En total se estimaron 10 131 740 toneladas anuales de residuos provenientes de industrias o del procesamiento de la biomasa (Cuadro 14).

La oferta indirecta de biomasa se encuentra concentrada principalmente en el NOA y el noreste del país. Los ingenios azucareros, con más de 5 millones de toneladas por año, son las industrias que mayor cantidad de residuos generan, junto con los aserraderos, que superan los 3 millones de toneladas anuales. Sin embargo, gran parte de esta biomasa, principalmente el bagazo, es utilizada en los mismos establecimientos como materia prima para la generación de energía térmica en las calderas y como pulpa para la manufactura del papel. Las provincias con mayor oferta potencial de biomasa son Tucumán, que concentra el 30% total de la oferta; Misiones, con el 19%, y Corrientes, con el 12%.

**Mapa 12.** Distribución de las fuentes de oferta indirecta



Fuente: Elaborado por los autores.

## Oferta indirecta

Cuadro 14. Oferta indirecta total por fuente y por provincia

Provincia	Oferta indirecta (t/año)														Total
	Industria azucarera	Industrias forestales	Procesadoras de maní	Bodegas	Desmotadoras	Molinos arroz	Hornos de carbón	Procesadoras de jugo	Poda urbana	Semilleros	Molinos de yerba mandioca	Frigoríficos y sacaderos fruta	Otras fuentes*		
Buenos Aires	-	61421	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61443	
Catamarca	-	-	-	1162	-	-	-	-	-	-	-	-	40	1202	
Chaco	-	128980	-	-	192780	18240	168729	-	-	-	-	-	46	508774	
Chubut	-	8903	-	-	-	-	-	-	8586	-	-	-	910	18399	
Córdoba	-	58061	325805,0	60	1496	-	-	-	-	-	-	-	-	385423	
Corrientes	-	743178	-	-	-	161487	-	15525	-	-	3356	-	66	923612	
Entre Ríos	-	676189	-	-	-	-	-	108123	-	-	-	-	150	784462	
Formosa	-	25858	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25858	
Jujuy	1182834	10594	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2029	1195460	
La Pampa	-	1270	-	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1326	
La Rioja	-	-	-	8007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8007	
Mendoza	-	27555	-	141579	-	-	-	-	-	-	-	21762	-	190896	
Misiones	19500	1186026	-	-	-	-	-	-	52057	-	21323	22178	5719	1306803	
Neuquén	-	17176	-	617	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17793	
Río Negro	-	74119	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74128	
Salta	468060	21072	5,8	2528	13500	-	-	-	-	-	-	-	1616	506782	
San Juan	-	3875	-	47733	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51608	
San Luis	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
Santa Cruz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
Santa Fe	15025	15435	-	-	-	-	-	-	93539	26634	-	-	-	150634	
Santiago del Estero	-	27738	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27738	
Tierra del Fuego	-	30470	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30470	
Tucumán	3845402	11439	-	29	-	-	-	-	-	-	-	-	4045	3860916	
<b>Total</b>	<b>5530822</b>	<b>3129360</b>	<b>325811</b>	<b>201809</b>	<b>207776</b>	<b>179727</b>	<b>168729</b>	<b>123648</b>	<b>154182</b>	<b>26634</b>	<b>24679,0</b>	<b>21761,5</b>	<b>14620</b>	<b>10131740</b>	

Fuente: Elaborado por los autores.

\*Otras fuentes: Acopiadores y secaderos de tabaco (Catamarca, Chaco, Corrientes, Jujuy, Misiones, Salta y Tucumán), procesadoras de nuez pecán (Entre Ríos) y de algas (Chubut).

---

# 7. DEMANDA



---

---

**Las provincias con mayor demanda son Tucumán, Misiones y Jujuy, principalmente por la presencia de la industria azucarera y de los autogeneradores de energía a partir de biomasa seca.**

---

La biomasa se ha utilizado como recurso energético a lo largo de la historia, por parte de diversos sectores sociales, para diferentes fines, respondiendo tanto a patrones tradicionales como a factores naturales, económicos y sociales. Actualmente, el uso de este recurso como fuente de energía está principalmente determinado por limitaciones en el tendido de las redes de gas y de electricidad, como también por la accesibilidad a estas fuentes de energía. Por ejemplo, la irregularidad en el abastecimiento de gas licuado envasado y su costo elevado, la dificultad de acceder a este por el estado de caminos y otros factores hacen del empleo de la biomasa una necesidad fundamental, ya que es una de las fuentes energéticas más accesibles en muchas regiones. Su utilización más generalizada es la combustión directa. En esta sección se analizaron los sectores residencial, industrial y comercial, en la medida en que se pudo contar con información. También se estimó el consumo de biomasa por parte de las escuelas rurales.

El análisis espacial del consumo de biomasa con fines energéticos se sustentó en la estimación rea-

lizada en el marco del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA) por Ramos y Fidalgo (2018), tarea que fue el corolario de las recomendaciones manifestadas en los WISDOM provinciales. En ese trabajo se analizan los diversos sectores consumidores de biomasa como combustible. En el presente informe, en relación con el tipo y la forma de la información obtenida, se alcanzaron distintas escalas espaciales; así, se trabajó con capas a escala provincial, departamental, de radio censal y con puntos concretos.

### **7.1 Consumo residencial, comercial, industrial y escolar** ***Autoproductores/cogeneradores de energía***

Diferentes sectores industriales utilizan recursos biomásicos con el fin de generar energía térmica y/o eléctrica. Mediante el Balance Energético Nacional (BEN) 2016 y el Informe Eléctrico del MINEM (2016), Ramos y Fidalgo (2018) obtuvieron la información a nivel provincial del consumo de biomasa de autoproducidos y cogeneradores eléctricos. Asimismo, contaron con información provista por

diversas entidades sectoriales, como la Asociación Forestal Argentina (AFOA), y con los datos presentados en los WISDOM provinciales de Tucumán, Salta, Córdoba, Corrientes, Santa Fe, Chaco, Buenos Aires y Misiones (FAO 2016a y b; 2017b; 2018a, b, c, d; 2019a).

Las fuentes de biomasa utilizadas por los autogeneradores son cáscara de girasol, cáscara de maní, corteza, aserrín, leña, bagazo (considerado en el apartado sobre los ingenios), chips y residuos del manejo silvícola.

En relación con el análisis espacial, se logró identificar la localización exacta de cada uno de los autogeneradores. De esta manera, el consumo de biomasa de cada industria se concentró en un punto concreto.

Cabe señalar que entre las Rondas 1 y 2 del Programa RenovAr llevado a cabo por el MINEM se adjudicaron proyectos por 158 MW de potencia de generación con biomasa. Como al momento de la redacción de este trabajo los proyectos aún se encuentran en etapa de desarrollo, no fueron considerados dentro del análisis.

El consumo total de biomasa con fines energéticos a nivel nacional se estimó en 2 079 283 t/año. Misiones, Tucumán, Jujuy, Santa Fe y Córdoba son las provincias que presentan una demanda significativa (Cuadro 15).

### Carboneras

La producción de carbón vegetal no solo genera un residuo potencialmente utilizable con fines energéticos, sino que también implica un consumo de biomasa, generalmente leña, para producir la combustión parcial de la madera en ausencia de aire dentro de los hornos y, de esta forma, lograr la carbonización. Los hornos utilizados por las carboneras con conocidos como “media naranja”.

Para establecer la cantidad de leña consumida durante el proceso de carbonización se adoptó el criterio aplicado en el WISDOM Chaco (FAO, 2018c). Este método partió del total de carbón vegetal producido; por cada tonelada de carbón, se aplicó una relación de 4 toneladas de leña; del resultado, se descontó 20%, correspondiente a los residuos que integran la oferta indirecta y el total de carbón generado.

**Cuadro 15.** Consumo de biomasa de autogeneradores por provincia

Provincia	Autogeneración (t/año)
Buenos Aires	42 819
Chaco	46 676
Córdoba	153 000
Corrientes	2 074
Jujuy	231 761
Misiones	927 097
Salta	35 004
Santa Fe	161 400
Tucumán	479 452
<b>Total</b>	<b>2 079 283</b>

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

Como generalmente los hornos se encuentran en las zonas periurbanas, cerca del origen de la materia prima, en el análisis, realizado con la información obtenida a nivel provincial y la de Chaco desagregada a nivel departamental, se espacializaron solo los radios censales mixtos, presuponiendo que en estas áreas es donde se concentra la producción de carbón vegetal.

Así, el consumo por parte de las carboneras a nivel nacional se estimó en 1167 046 t/año. Chaco y Santiago del Estero son las principales provincias productoras de carbón vegetal (Cuadro 16). En la primera, donde se logró desagregar el consumo a nivel departamental, se destacan los departamentos de Almirante Brown, Maipú, General Belgrano, Comandante Fernández, Independencia, 9 de julio y General Güemes.

### Cementeras

En la República Argentina se produce cemento principalmente en la provincia de Buenos Aires y, en menor medida, en las de Córdoba, San Luis y Mendoza. De acuerdo con la Asociación de Fabricantes

**Cuadro 16.** Consumo de biomasa de carboneras por provincia

Provincia	Carboneras (t/año)
Catamarca	56 243
Chaco	464 006
Jujuy	154 669
Salta	112 486
Santiago del Estero	379 642
<b>Total</b>	<b>1 167 046</b>

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

de Cemento Portland (AFCP), solamente en las plantas productoras de clínker (producto granulado de la calcinación de caliza y arcillas que se utiliza para fabricar el cemento) que se ubican en Buenos Aires y en San Luis se consumen recursos biomásicos para suplir los requerimientos energéticos.

Para estimar el consumo de cada una de las cementeras, Ramos y Fidalgo (2018) partieron de la producción total de clínker en 2016 y asumieron que el sector genera el 1,5% a partir de la utilización de biomasa, mientras que el resto se produce a partir de gas o coque. En este sentido, se adoptó un consumo promedio por planta cementera de 6 208 t/año. Tres son plantas que se ubican en la provincia de Buenos Aires, concentradas en los alrededores del partido de Olavarría, mientras que en la provincia de San Luis se localiza una planta, en el departamento de Belgrano.

De esa forma, se determinó que a nivel nacional se consumen 24 832 t/año de biomasa durante la producción de clínker (Cuadro 17).

### Escuelas rurales

Los establecimientos educativos rurales estatales consumen energía para cocinar y calefaccionar. Si bien el uso de gas licuado se generalizó en el país y la gran mayoría de los establecimientos rurales se han reconvertido hacia vectores energéticos

**Cuadro 17.** Consumo de biomasa de cementeras por provincia

Provincia	Cementeras (t/año)
Buenos Aires	18 624
San Luis	6 208
<b>Total</b>	<b>24 832</b>

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

convencionales, aún persisten escuelas rurales que demandan leña y carbón vegetal para satisfacer sus necesidades energéticas.

Para poder determinar el consumo de las escuelas rurales y distribuirlo se utilizó la información generada por el Ministerio de Educación de la Nación en el marco del Programa Mapa Educativo, por el que se realizaron distintos Relevamientos de Escuelas Rurales. En tales relevamientos se indagó, entre otros temas, sobre el combustible utilizado para cocinar. Con ello, y con información estadística de la matrícula escolar de 2008 a 2012, Ramos y Fidalgo (2018) proyectaron la matrícula de 2016, interpolando información actualizada a nivel provincial para cada establecimiento educativo.

Adicionalmente, para estimar el consumo de biomasa por alumno, se recurrió al estudio realizado por Luna (2010) y aplicado en los WISDOM provinciales. Según este, cada alumno consume en promedio 0,35 kg/día de biomasa, valor que se multiplicó por los 185 días del ciclo lectivo de 2016. Para enriquecer el análisis, el resultado se ajustó en cada una de las provincias (Cuadro 18) de acuerdo con la metodología aplicada para el caso del consumo per cápita de los hogares.

La estimación a nivel nacional arrojó que las escuelas rurales consumen un total de 18 316 t/año de biomasa con fines energéticos. Las provincias

**Cuadro 18.** Coeficiente de consumo de leña por alumno en cada provincia

Provincia	Consumo de leña por alumno (kg/día)
Buenos Aires	0,823
Catamarca	0,525
Chaco	0,350
Chubut	2,310
Córdoba	0,726
Corrientes	0,350
Entre Ríos	0,779
Formosa	0,350
Jujuy	0,464
La Rioja	0,569
Misiones	0,350
Salta	0,473
San Juan	0,560
San Luis	0,928
Santiago del Estero	0,350
Tucumán	0,446

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

que presentan mayor consumo son Santiago del Estero, Corrientes, Misiones, Tucumán, San Juan y Chaco.

### Hogares

En los hogares de muchas provincias argentinas es significativo el uso de biomasa para satisfacer las necesidades energéticas, como cocinar, calefactar, calentar agua con fines sanitarios e iluminarse.

Para determinar los hogares que utilizan leña o carbón vegetal se utilizó, por una parte, el último CNPHyV (INDEC, 2010), donde se informa cuál es el combustible principal para cocinar y otras necesidades. En este sentido, Ramos y Fidalgo (2018) utilizaron los consumos provinciales y la cantidad

de usuarios de gas natural que presenta ENARGAS para 2016. Así, establecieron un consumo promedio per cápita de biomasa con fines energéticos para cada provincia y luego, con los resultados obtenidos, determinaron el consumo provincial (Cuadro 19).

En cuanto al análisis espacial, para la distribución del consumo de los hogares, en los radios censales de tipo urbano se consideró toda la extensión abarcada; en cambio, en los radios censales de tipo mixto o rural, si contenían una/s base/s de asentamiento/s humano/s (BAHRA), se concentró el consumo allí, y si no, se distribuyó en toda el área abarcada por el radio censal.

Como resultado, se obtuvo un consumo residencial de 682 942 t/año de biomasa. Las provincias de Misiones, Salta, Santiago del Estero, Chaco, Corrientes y Formosa fueron las principales (Cuadro 19, Mapa 13). Es importante señalar que las zonas con mayor consumo de biomasa se encuentran en áreas periurbanas y también en áreas rurales, y esto mantiene una estrecha relación con la falta de acceso al gas en red y a la red eléctrica, y con la vulnerabilidad económica. Por otra parte, y por cuestiones climáticas, los valores de consumo per cápita más altos se encuentran en las provincias patagónicas.

### Ingenios

El consumo de biomasa por parte del sector azucarero consiste en el uso del bagazo para producir energía térmica y/o eléctrica para los procesos productivos de la industria. De acuerdo con las fuentes bibliográficas utilizadas (CAA, 2016; FAO, 2009; Valeiro *et al.*, 2017), alrededor del 30% del total de la caña molida consiste en bagazo.

En el análisis espacial se georreferenciaron todos los ingenios y se estimó el 30% de la caña molida por cada uno como residuo pasible de ser utilizado. Si bien los ingenios también usan chips y RAC para abastecer sus necesidades energéticas, la falta de datos no permitió cuantificar estas fuentes.

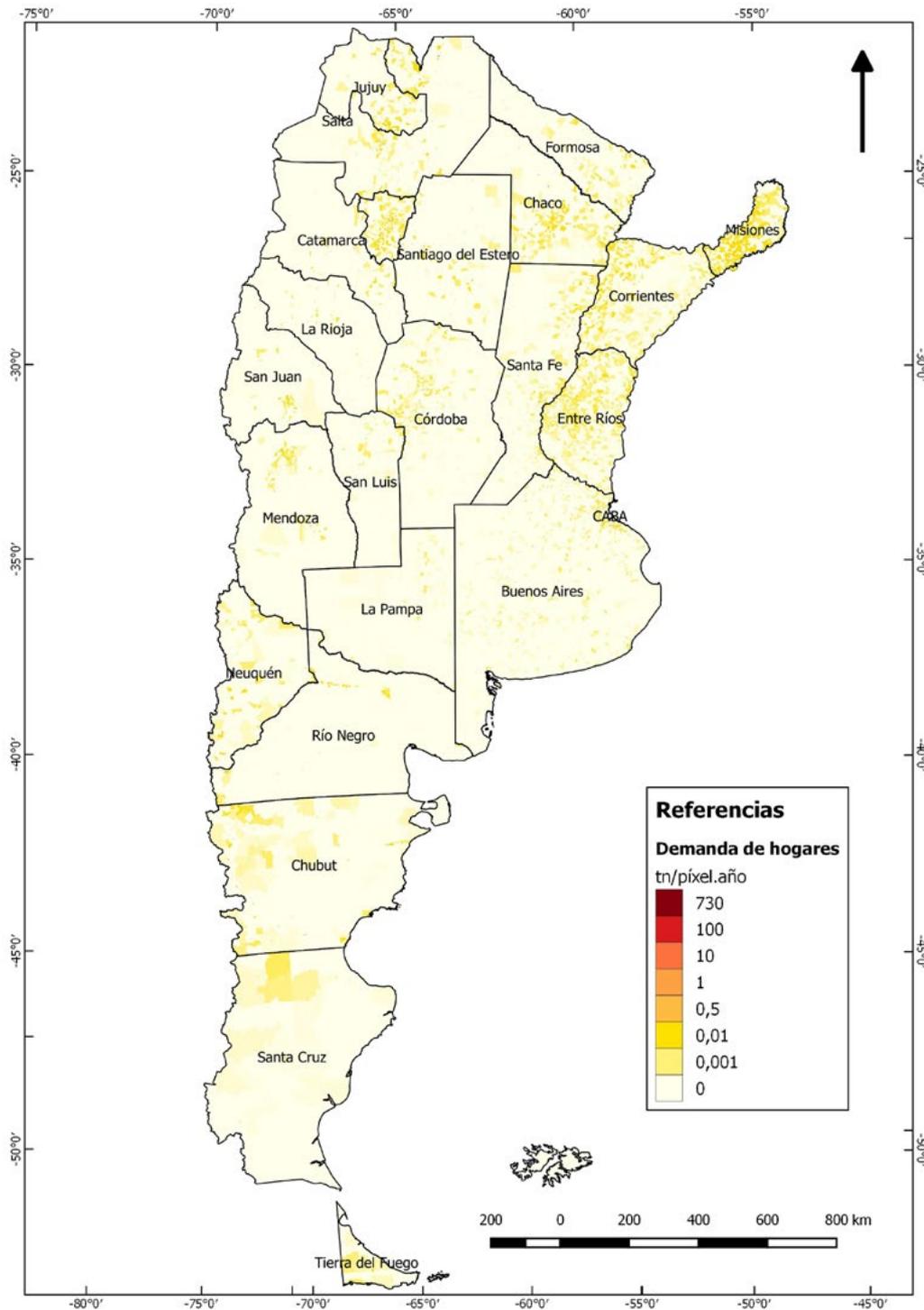
Así, el consumo de biomasa por parte de los ingenios se estimó a 5 530 824 t/año a nivel nacional. A nivel provincial, el 70% de este valor se

**Cuadro 19.** Coeficiente de consumo de leña per cápita y consumo residencial por provincia

Provincia	Consumo per cápita (t/año)	Consumo residencial (t/año)	Participación provincial (%)
Buenos Aires	0,94	24134	4
Catamarca	0,60	17002	2
Chaco	0,40	52711	8
CABA	1,03	879	0
Córdoba	0,83	19300	3
Corrientes	0,40	46166	7
Chubut	2,64	26213	4
Entre Ríos	0,89	23391	3
Formosa	0,40	37829	6
Jujuy	0,53	32549	5
La Pampa	1,45	1087	0
La Rioja	0,65	7838	1
Mendoza	1,00	10164	1
Misiones	0,40	113027	17
Neuquén	2,59	19409	3
Río Negro	2,39	27053	4
Salta	0,54	83538	12
San Juan	0,64	6242	1
San Luis	1,06	6002	1
Santa Cruz	4,69	10239	1
Santa Fe	0,79	16688	2
Santiago del Estero	0,40	70889	10
Tierra del Fuego	6,69	2414	0
Tucumán	0,51	28177	4
<b>Argentina</b>	<b>0,83</b>	<b>682942</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

**Mapa 13.** Demanda de hogares estimada a partir de radios censales



Fuente: Elaborado por los autores.

concentra en la provincia de Tucumán, el 21% en Jujuy, el 8% en Salta y el resto en Misiones y Santa Fe (Cuadro 20).

### Ladrilleras

La producción de ladrillos se realiza tanto de manera mecanizada como artesanal. En esta última, que representa el 1% de la producción nacional, se utiliza leña en los hornos de cocción de los ladrillos.

A partir del censo nacional de ladrilleras de 2010 (Secretaría de Minería de la Nación–Servicios Ambientales SRL, 2011), se estimó el consumo del sector en función de la frecuencia anual de quemas y el requerimiento de leña por quema. Dicha estimación fue ajustada al 2016 con la tasa de variación de la actividad del sector (Ramos y Fidalgo, 2018).

Con esa información, se pudo georreferenciar cada punto de consumo. Así, se contabilizó a nivel nacional un consumo total de 136 904 t/año de recursos biomásicos. La provincia de Buenos Aires es la principal consumidora, con 37 778 t/año, seguida de Mendoza, Córdoba, Tucumán, Chaco y Río Negro (Cuadro 21).

### Panaderías

La producción de panificados implica un consumo de energía térmica durante el proceso de cocción. Ante la falta de información, para poder saber qué

**Cuadro 20.** Consumo de biomasa de ingenios por provincia

Provincia	Consumo de los ingenios (t/año)
Jujuy	1 182 835
Misiones	19 500
Salta	468 060
Santa Fe	15 026
Tucumán	3 845 404
<b>Total</b>	<b>5 530 824</b>

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

**Cuadro 21.** Consumo de biomasa de ladrilleras por provincia

Provincia	Ladrilleras (t/año)
Buenos Aires	37 778
CABA	0
Catamarca	909
Chaco	7 310
Chubut	0
Córdoba	15 274
Corrientes	5 807
Entre Ríos	2 122
Formosa	6 470
Jujuy	1 850
La Pampa	3 929
La Rioja	1 824
Mendoza	21 016
Misiones	2 238
Neuquén	704
Río Negro	7 058
Salta	647
San Juan	6 557
San Luis	2 473
Santa Cruz	0
Santa Fe	1 685
Santiago del Estero	2 042
Tierra del Fuego	0
Tucumán	9 212
<b>Argentina</b>	<b>136 904</b>

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

panaderías son demandantes de leña, Ramos y Fidalgo (2018) las rastrearon a través del siguiente mecanismo: primero, identificaron los departamentos sin acceso a gas de red; luego, corroboraron mediante el CNPhyV (INDEC, 2010) que más del 10% de los hogares de cada uno de esos departamentos utilizara leña o carbón vegetal como combustible principal para cocinar; en tercera instancia, cuantificaron el consumo de pan fresco (no envasado) en dichos departamentos; por último, y considerando un coeficiente técnico de 1 kg de madera seca para cocinar 1 kg de pan (FAO, 1987), determinaron la demanda de leña a nivel departamental.

En cuanto al análisis espacial, al distribuir el consumo en el territorio, se vincularon los departamentos considerados con los radios urbanos, para focalizar el consumo de biomasa. Así, la demanda se distribuyó solo en los radios urbanos de los departamentos donde se identificaron panaderías consumidoras de leña.

El consumo nacional de biomasa con fines energéticos por parte de las panaderías se estimó en 458 387 t/año. Las provincias con mayor consumo son Santiago del Estero, Chaco, Corrientes, Salta y Misiones, cada una con más de 50 000 t/año. Formosa, Jujuy, Catamarca y Tucumán presentaron consumos de entre 20 000 y 50 000 t/año, en orden de jerarquía (Cuadro 22).

### Parrillas

En el país existen parrillas que asan la carne usando leña o carbón vegetal. Al no contar con un registro exhaustivo de dichos establecimientos y desconociendo su consumo de biomasa, Ramos y Fidalgo (2018) asumieron que un individuo mayor de 14 años consume 6 kg de carne fuera del hogar y que, de los distintos lugares de consumo (reuniones familiares o de amigos, cumpleaños y otras), el 27% corresponde a parrillas (IPCVA, 2005). De esta manera, conociendo la cantidad de habitantes de más de 14 años de cada departamento, se estableció el consumo de carne en parrillas, para luego convertirlo a los requerimientos de carbón vegetal (aplicando el coeficiente técnico de 1 kilogramo de carbón vegetal por kilogramo de carne asada). Para expresarlo en leña, se adoptó la conversión de

**Cuadro 22.** Consumo de leña de panaderías por provincia

Provincia	Panaderías (t/año)
Buenos Aires	0
CABA	0
Catamarca	24 561
Chaco	63 701
Chubut	3 690
Córdoba	3 397
Corrientes	56 906
Entre Ríos	0
Formosa	42 583
Jujuy	39 695
La Pampa	0
La Rioja	2 389
Mendoza	0
Misiones	53 210
Neuquén	946
Río Negro	3 313
Salta	56 266
San Juan	1 366
San Luis	1 935
Santa Cruz	0
Santa Fe	0
Santiago del Estero	82 616
Tierra del Fuego	0
Tucumán	21 812
<b>Total</b>	<b>458 387</b>

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

4 toneladas de leña por tonelada de carbón vegetal (Ramos y Fidalgo, 2018; FAO, 2018c).

De esa manera, el consumo de leña y/o carbón vegetal se distribuyó a nivel departamental. El agregado nacional arrojó un consumo de 65 165 t/año de carbón vegetal en las parrillas, con un equivalente de 260 658 t/año en leña.

La provincia de Buenos Aires tiene el mayor consumo de leña en parrillas, con 102 094 t/año, seguida en orden de importancia por Córdoba, Santa Fe, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Mendoza y Tucumán (Cuadro 23).

### Secaderos de té y yerba mate

Los establecimientos tealeros y yerbateros consumen biomasa durante el proceso de secado de las hojas verdes. Si bien las grandes empresas realizan este paso en sus propios establecimientos, las pequeñas por lo general lo tercerizan en secadoras de la zona. Como fuente de biomasa, las calderas suelen utilizar chips, aunque también se alimentan con leña y aserrín.

La producción de té y yerba mate se concentra en Misiones y Corrientes, en el NEA. Mediante información facilitada por el INYM y las estimaciones agrícolas para el sector tealero del MINAGRO de la campaña 2013/2014, se estableció la producción de hojas verdes de yerba mate y de té, por departamento. Para calcular la demanda de biomasa para el secado de ambos cultivos, se adoptó el coeficiente técnico de 0,5 brindado por el INYM, que expresa la relación de 1,5 kg de leña por cada 3 kg de hoja verde de yerba mate (Ramos y Fidalgo, 2018).

En cuanto al análisis espacial, el INYM brindó la información georreferenciada de los secaderos de té y de yerba mate. Así, se distribuyó entre los secaderos la producción de hojas verdes por departamento, y se les aplicó el coeficiente de 0,5.

De ese modo, el consumo de biomasa de estos establecimientos se estimó en 609 970 t/año, de las que más de dos tercios provienen de los secaderos de yerba mate, y el resto, de los de té (Cuadro 25).

### Tabacaleras

De las diversas variedades de tabaco que se cultivan en el territorio nacional, solo la variedad Virginia

**Cuadro 23.** Consumo de biomasa de parrillas por provincia, en carbón vegetal y en leña

Provincia	Parrillas (t/año)	
	Carbón	Leña
Buenos Aires	25 524	102 094
CABA	4 611	18 446
Catamarca	598	2 392
Chaco	1 720	6 882
Chubut	828	3 312
Córdoba	5 372	21 489
Corrientes	1 613	6 451
Entre Ríos	1 999	7 998
Formosa	864	3 455
Jujuy	1 089	4 357
La Pampa	516	2 066
La Rioja	544	2 178
Mendoza	2 816	11 265
Misiones	1 786	7 144
Neuquén	891	3 565
Río Negro	1 031	4 126
Salta	1 968	7 871
San Juan	1 103	4 412
San Luis	695	2 779
Santa Cruz	441	1 762
Santa Fe	5 200	20 800
Santiago del Estero	1 415	5 662
Tierra del Fuego	205	818
Tucumán	2 334	9 335
<b>Total</b>	<b>65 165</b>	<b>260 658</b>

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

**Cuadro 24.** Consumo de biomasa de secaderos de té y yerba mate

Provincia	Secaderos (t/año)	
	Té	Yerba mate
Corrientes	9 566	55 893
Misiones	190 878	353 634
<b>Total</b>	<b>200 444</b>	<b>409 526</b>

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

**Cuadro 25.** Consumo de biomasa de tabacaleras

Provincia	Tabaco (t/año)
Chaco	1 200
Corrientes	177
Jujuy	9 927
Salta	6 548
<b>Total</b>	<b>17 853</b>

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de Ramos y Fidalgo (2018).

requiere estufados a leña o a gas durante la etapa de secado, ya que las demás se secan en tendales al sol. Las principales productoras de tabaco Virginia son las provincias de Jujuy, Salta, Chaco y Corrientes.

De acuerdo con información brindada por el Programa de Reconversión de Áreas Tabacaleras (PRAT) del MINAGRO, se estima que para secar 480 toneladas de tabaco se precisa 1 m<sup>3</sup> de leña.

En cuanto al análisis espacial, según la información suministrada, el consumo de leña se distribuyó de la siguiente manera: en el caso de Jujuy, se concentró el consumo en las localidades con tabacaleras; en los de Salta, Chaco y Corrientes, se realizó a nivel departamental (Ramos y Fidalgo, 2018).

En Jujuy y Salta se procedió de la misma manera que con las panaderías, considerando solo aquellos departamentos sin conexión a red de gas.

A nivel nacional, se estimó que el sector tabacalero consume 17 853 t/año para el secado del tabaco, principalmente en Jujuy y Salta, las mayores productoras de la variedad Virginia (Cuadro 24).

## 7.2 Síntesis de la demanda

El consumo de biomasa total estimado fue de 10 987 015 t/año. Como era esperable, el sector industrial es el principal, particularmente, los ingenios, que representan el 50% de la demanda estimada (Gráfico 4, Cuadro 26). Las industrias que generan energía a partir de biomasa y las carboneras conforman el 30% del total, mientras que los hogares, con 682 942 t/año, apenas superan el 6% de consumo, con una mayor dispersión territorial. Las escuelas rurales, sector al que se debe observar por ser uno de los más vulnerables, tienen una demanda de biomasa estimada en 18 316 t/año (menos de 2%).

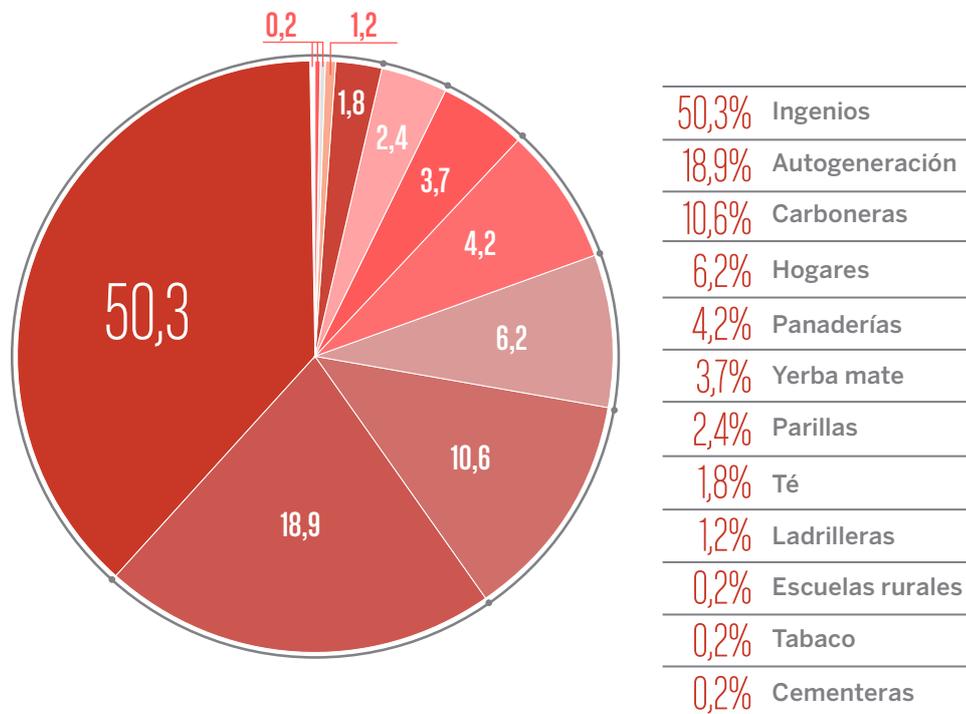
En cuanto a la distribución espacial, como muestra el Mapa 14, las provincias con mayor consumo son Tucumán (40%), Misiones (15%) y Jujuy (15%), debido, principalmente a la presencia de la industria azucarera en sus territorios (Tucumán y Jujuy) y a la autogeneración de energía (Misiones). Si se observan los resultados obtenidos del sector residencial, Misiones, Salta y Santiago del Estero representan las provincias con mayor consumo de biomasa.

**Cuadro 26.** Consumo de biomasa total, por sector y por provincia

Provincia	Demanda total de biomasa con fines energéticos, por sector y por provincia													Total
	Ingenios	Autogeneradores	Carboneras	Hogares	Panaderías	Secaderos de yerba	Parrillas		Secaderos de té	Ladrilleras	Cementeras	Escuelas rurales	Tabacaleras	
							Leña							
Buenos Aires	-	42819	-	24134	-	-	-	102094	-	37778	18624	23	-	225472
CABA	-	-	-	879	-	-	-	18446	-	-	-	-	-	19325
Catamarca	-	-	56243	17002	24561	-	-	2392	-	909	-	609	-	101716
Chaco	-	46676	464006	52711	63701	-	-	6882	-	7310	-	1750	1200	644237
Chubut	-	-	-	26213	3690	-	-	3312	-	0	-	3	-	33217
Córdoba	-	153000	-	19300	3397	-	-	21489	-	15274	-	2	-	212462
Corrientes	-	2074	-	46166	56906	55893	-	6451	9566	5807	-	2865	177	185905
Entre Ríos	-	-	-	23391	-	-	-	7998	-	2122	-	9	-	33519
Formosa	-	-	-	37829	42583	-	-	3455	-	6470	-	1094	-	91431
Jujuy	1182835	231761	154669	32549	39695	-	-	4357	-	1850	-	672	9927	1658316
La Pampa	-	-	-	1087	-	-	-	2066	-	3929	-	-	-	7082
La Rioja	-	-	-	7838	2389	-	-	2178	-	1824	-	251	-	14479
Mendoza	-	-	-	10164	-	-	-	11265	-	21016	-	-	-	42445
Misiones	19500	927097	-	113027	53210	353634	-	7144	190878	2238	-	2881	-	1669608
Neuquén	-	-	-	19409	946	-	-	3565	-	704	-	-	-	24624
Río Negro	-	-	-	27053	3313	-	-	4126	-	7058	-	-	-	41550
Salta	468060	35004	112486	83538	56266	-	-	7871	-	647	-	163	6548	770584
San Juan	-	-	-	6242	1366	-	-	4412	-	6557	-	1962	-	20539
San Luis	-	-	-	6002	1935	-	-	2779	-	2473	6208	3	-	19399
Santa Cruz	-	-	-	10239	-	-	-	1762	-	-	-	-	-	12001
Santa Fe	15026	161400	-	16688	-	-	-	20800	-	1685	-	-	-	215599
Santiago del Estero	-	-	379642	70889	82616	-	-	5662	-	2042	-	3660	-	544511
Tierra del Fuego	-	-	-	2414	-	-	-	818	-	-	-	-	-	3233
Tucumán	3845404	479452	-	28177	21812	-	-	9335	-	9212	-	2369	-	4395760
<b>Total</b>	<b>5530824</b>	<b>2079283</b>	<b>1167046</b>	<b>682942</b>	<b>458387</b>	<b>409526</b>	<b>260658</b>	<b>200444</b>	<b>136904</b>	<b>24832</b>	<b>18316</b>	<b>17853</b>	<b>10987015</b>	

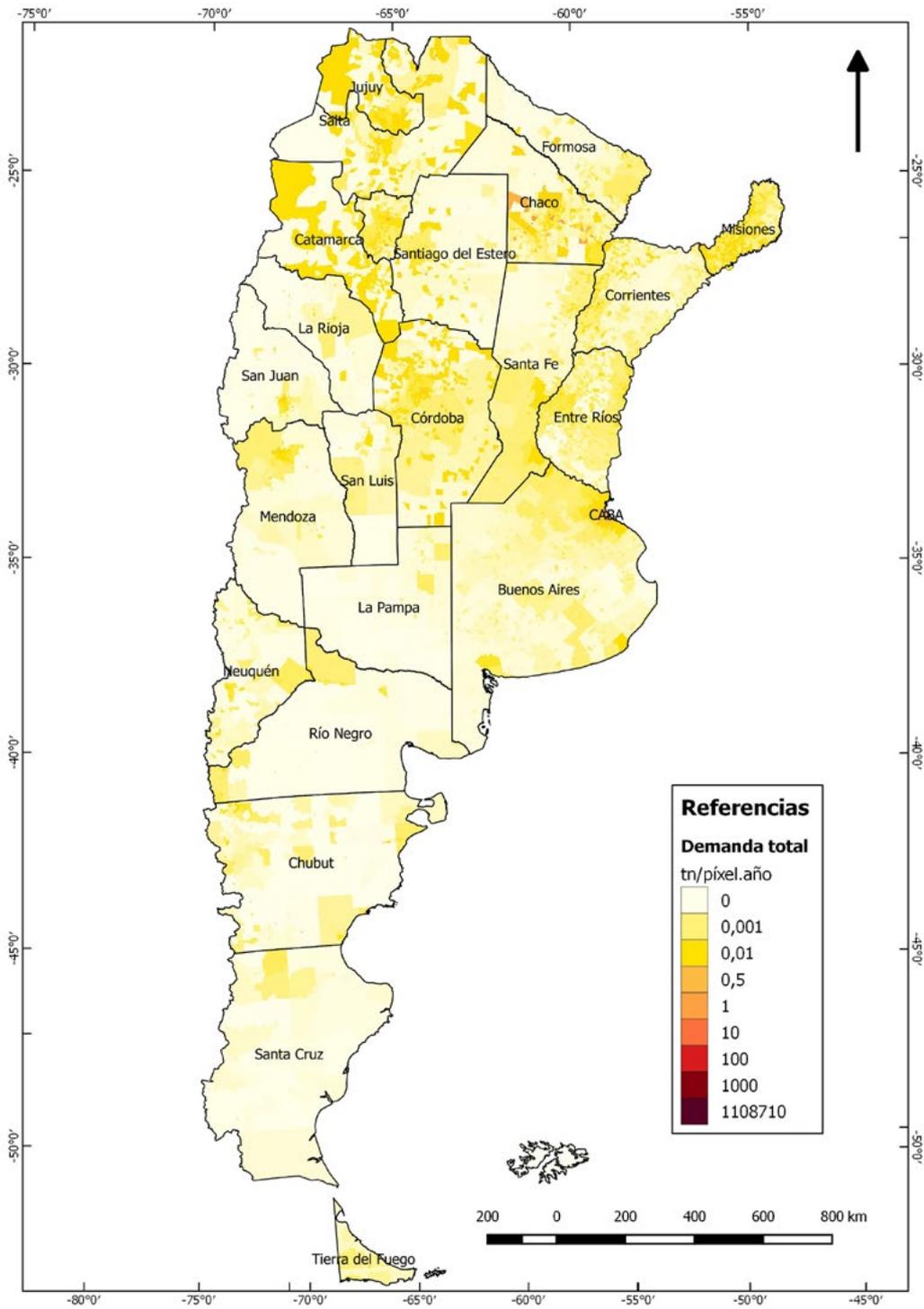
Fuente: Elaborado por los autores.

**Gráfico 4.** Consumo de biomasa por sectores, en porcentaje



Fuente: Elaborado por los autores.

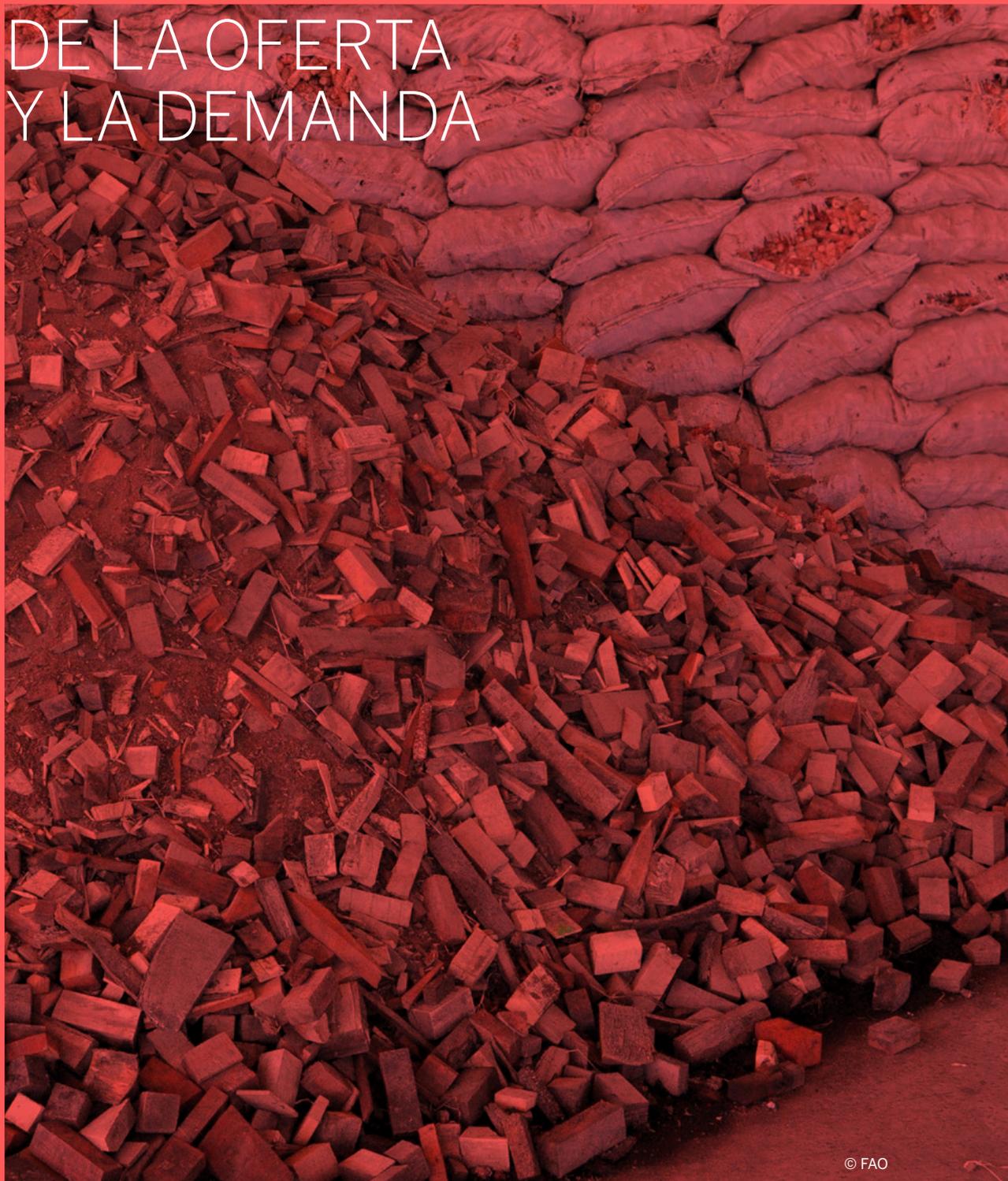
Mapa 14. Distribución de la demanda a nivel nacional



Fuente: Elaborado por los autores.

---

# 8. INTEGRACIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA



---

---

**El mapeo de la oferta potencial y el consumo estimado de biomasa con fines energéticos permite identificar las áreas con déficit y con superávit del recurso, para planificar políticas públicas y desarrollar proyectos.**

---

El balance entre la oferta potencial de biomasa y el consumo actual estimados permite obtener un mapa de disponibilidad que facilita la identificación de áreas con déficit del recurso y zonas con superávit. Esta zonificación es útil tanto para planificar políticas públicas, como para formular proyectos asociados al desarrollo de bioenergías.

El balance de biomasa se presenta en el Mapa 15, resultado de la diferencia entre el mapa de la oferta total accesible (oferta directa accesible + oferta indirecta) y el mapa de la demanda total. Esta operación se realizó píxel por píxel. En el Cuadro 27 se resumen los resultados obtenidos luego del análisis espacial.

El análisis se plantea por departamentos (Mapa 16), y revela un superávit en la mayor parte del

territorio argentino. En el Mapa 17 se observa que los departamentos con mayor oferta son los que tienen industrias que generan residuos de biomasa, como los ingenios, o zonas con forestaciones (Mesopotamia) o con oferta de formaciones nativas. Asimismo, el mapa de demanda por departamento (Mapa 18) muestra un patrón similar, donde los departamentos con mayores consumos de biomasa son aquellos que tienen industrias generadoras de energía.

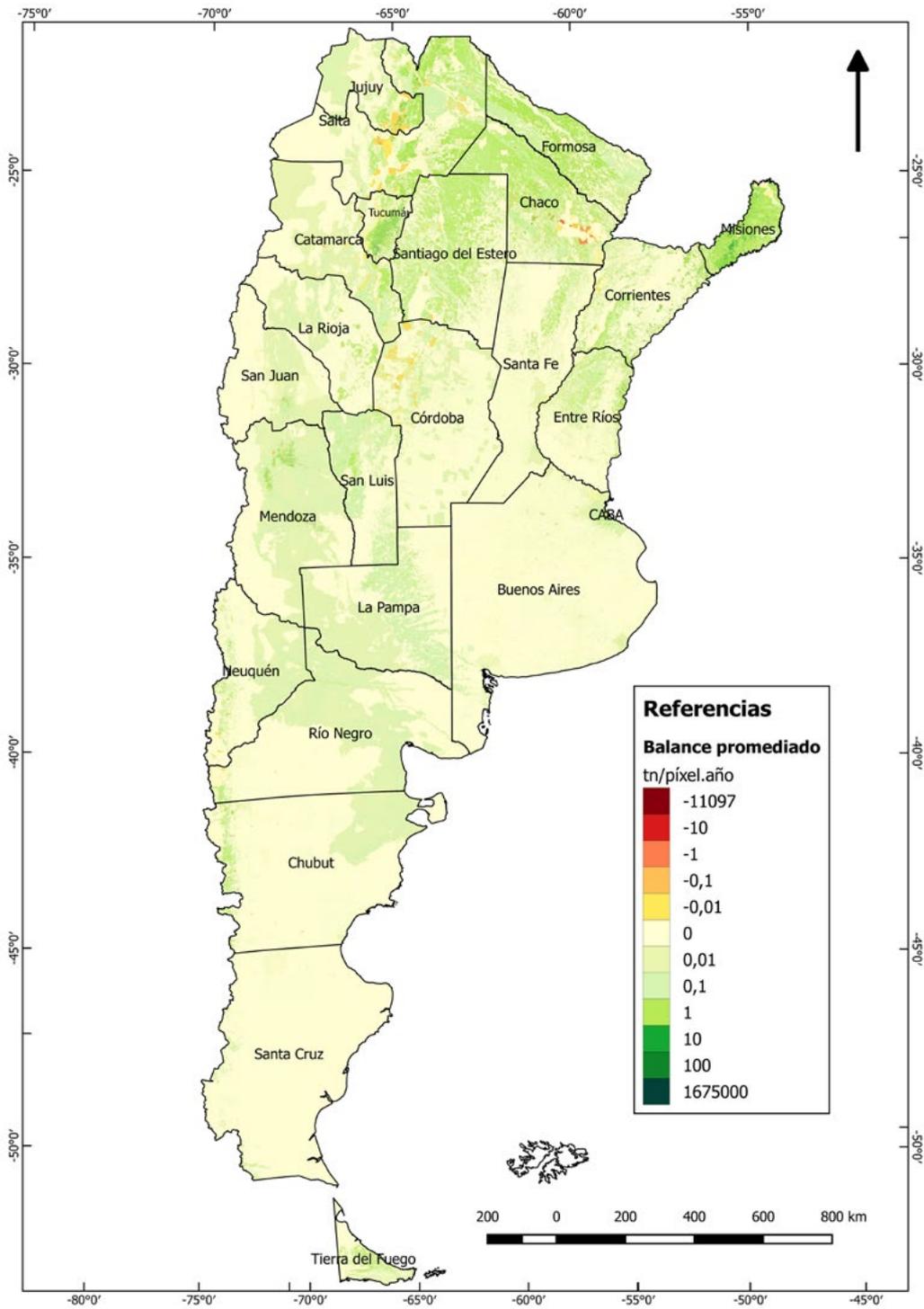
Sin embargo, es importante prestar atención al patrón de consumo de biomasa del sector residencial y de escuelas rurales ya que puede involucrar a sectores vulnerables. Las provincias del norte, muestran valores altos tanto de consumo como de oferta de biomasa, mientras que las provincias patagónicas muestran valores bajos.

**Cuadro 27.** Resumen de oferta directa accesible, oferta indirecta, demanda y balance de biomasa, por provincia

Resultados de oferta, demanda y balance de biomasa (t/año)							
Provincia	Oferta directa accesible de cultivos (1)	Oferta directa accesible de formaciones nativas (2)	Oferta directa accesible (1+2)	Oferta indirecta (3)	Oferta total accesible (1+2+3)	Demanda (4)	Balance (1+2+3-4)
Buenos Aires	63 285	359 347	422 632	61 443	484 075	244 797	239 278
Catamarca	51	568 547	568 597	1 202	569 799	101 716	468 083
Chaco	21 260	4 671 384	4 692 644	508 774	5 201 418	644 237	4 557 181
Chubut	65 989	510 053	576 042	18 399	594 441	33 217	561 224
Córdoba	19 666	273 723	293 389	385 423	678 812	212 462	466 350
Corrientes	1 570 977	1 191 955	2 762 932	923 612	3 686 544	185 905	3 500 639
Entre Ríos	363 988	1 088 167	1 452 155	784 462	2 236 617	33 519	2 203 098
Formosa	129 310	4 381 024	4 510 334	25 858	4 536 192	91 431	4 444 761
Jujuy	432 455	596 664	1 029 119	1 195 460	2 224 579	1 658 316	566 263
La Pampa	3 634	942 456	946 090	1 326	947 416	7 082	940 334
La Rioja	434	518 051	518 485	8 007	526 492	14 479	512 013
Mendoza	814 667	580 927	1 395 594	190 896	1 586 490	42 445	1 544 045
Misiones	2 597 937	4 067 097	6 665 034	1 306 803	7 971 837	1 669 608	6 302 229
Neuquén	99 718	358 380	458 098	17 793	475 891	24 624	451 267
Río Negro	17 828	641 307	659 135	74 128	733 263	41 550	691 713
Salta	620 983	4 327 840	4 948 823	506 782	5 455 605	770 584	4 685 021
San Juan	112 343	123 922	236 265	51 608	287 873	20 539	267 334
San Luis	478	968 892	969 369	4	969 373	19 399	949 974
Santa Cruz	22	100 641	100 663	0	100 663	12 001	88 662
Santa Fe	61 583	676 447	738 030	150 634	888 664	215 599	673 065
Santiago del Estero	13 621	4 627 368	4 640 989	27 738	4 668 727	544 511	4 124 216
Tierra del Fuego	0	399 572	399 572	30 470	430 042	3 233	426 809
Tucumán	1 465 503	827 002	2 292 506	3 860 916	6 153 422	4 395 760	1 757 662
<b>Total</b>	<b>8 475 731</b>	<b>32 800 764</b>	<b>41 276 495</b>	<b>10 131 740</b>	<b>51 408 235</b>	<b>10 987 015</b>	<b>40 421 220</b>

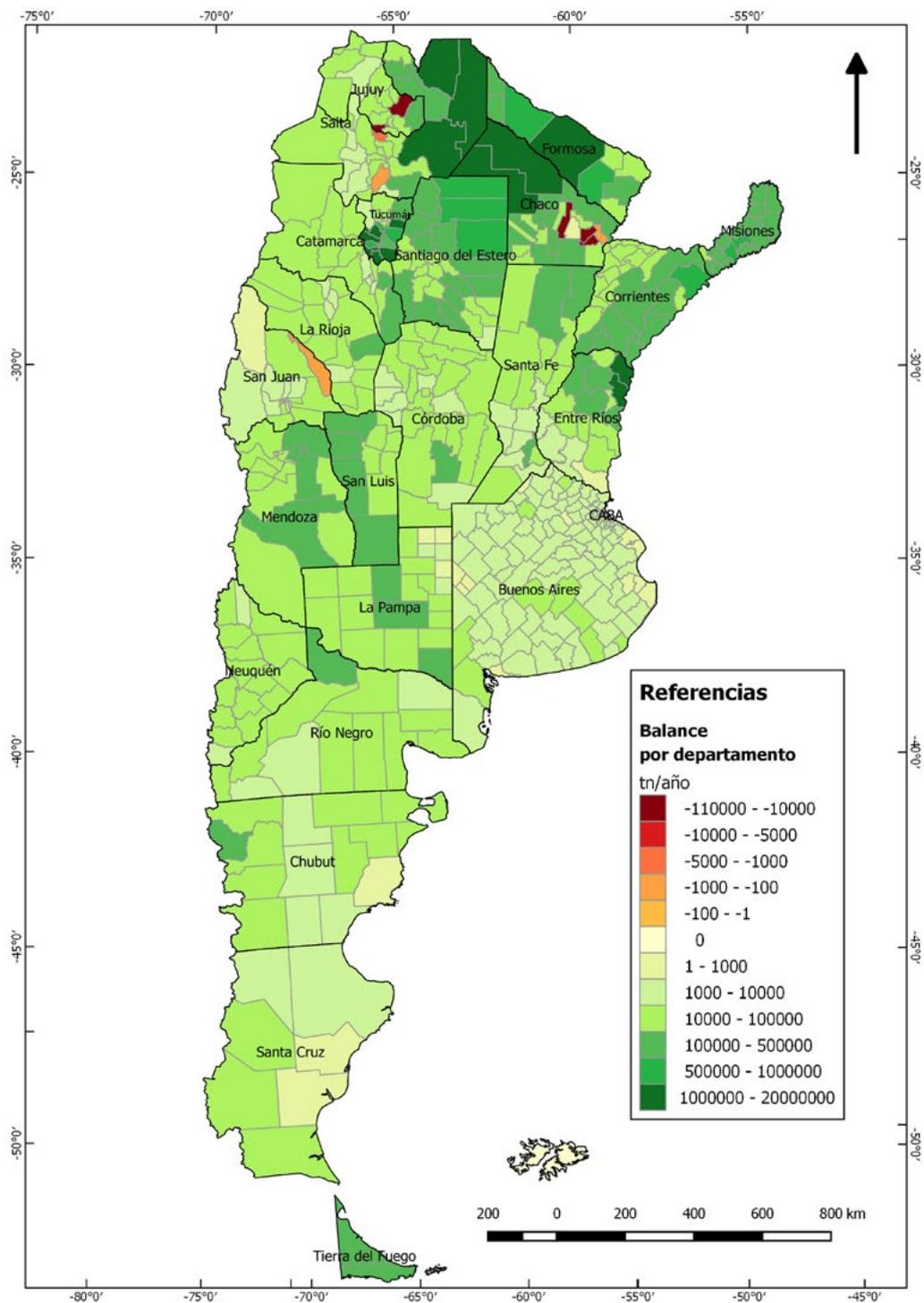
Fuente: Elaborado por los autores.

Mapa 15. Balance promedio focalizado



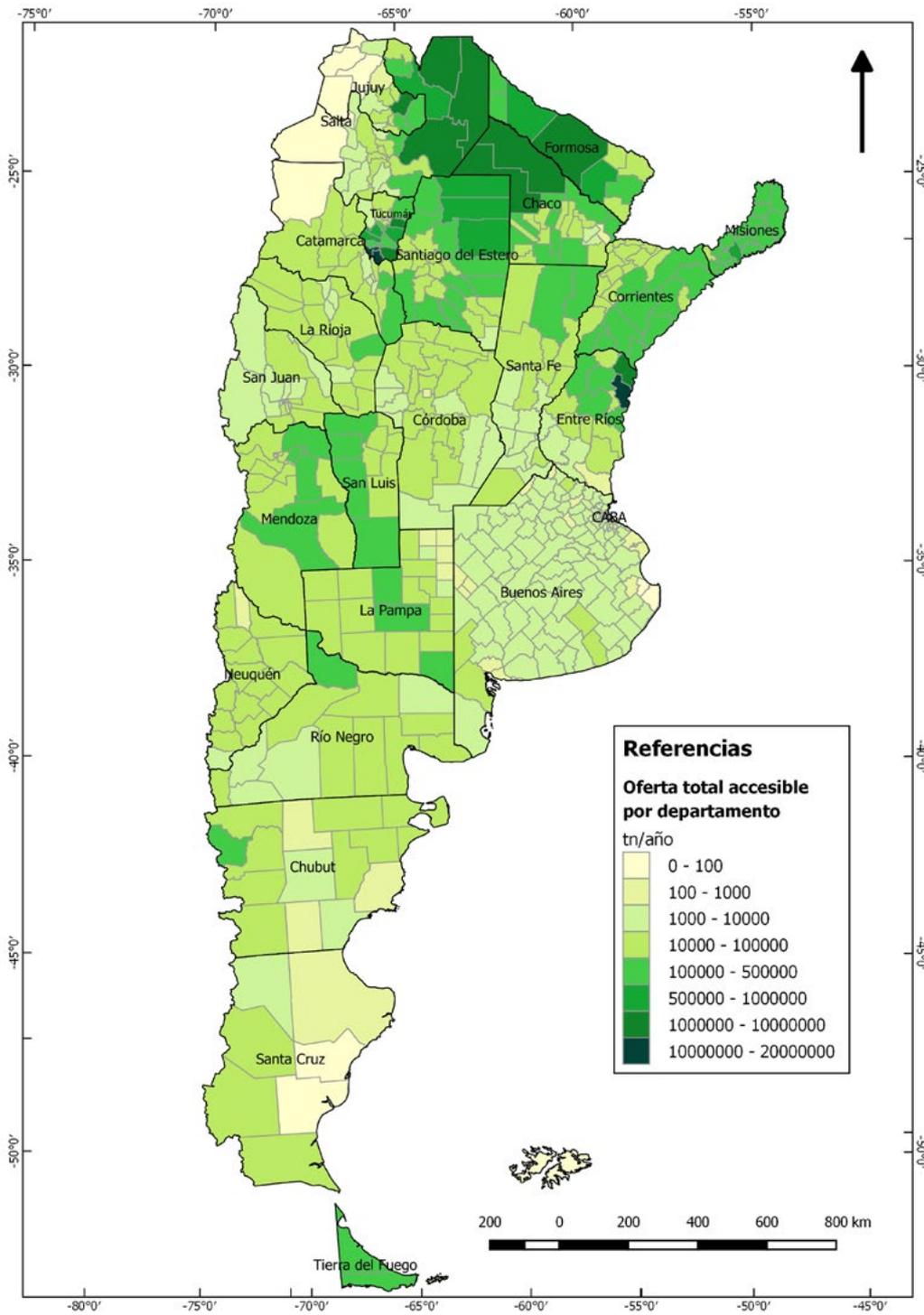
Fuente: Elaborado por los autores.

Mapa 16. Balance por departamento



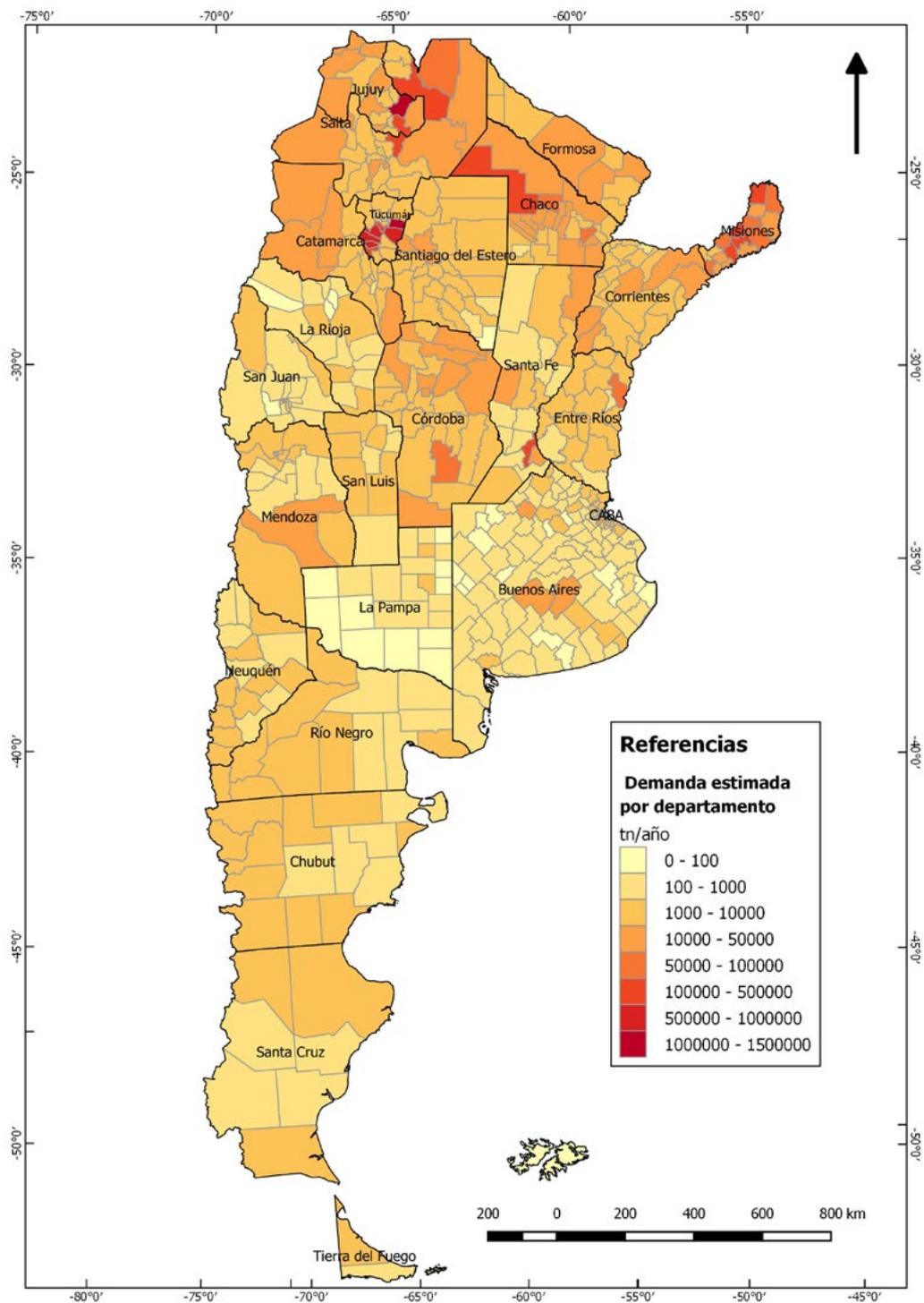
Fuente: Elaborado por los autores.

Mapa 17. Oferta total accesible, por departamento



Fuente: Elaborado por los autores.

Mapa 18. Demanda por departamento



Fuente: Elaborado por los autores.



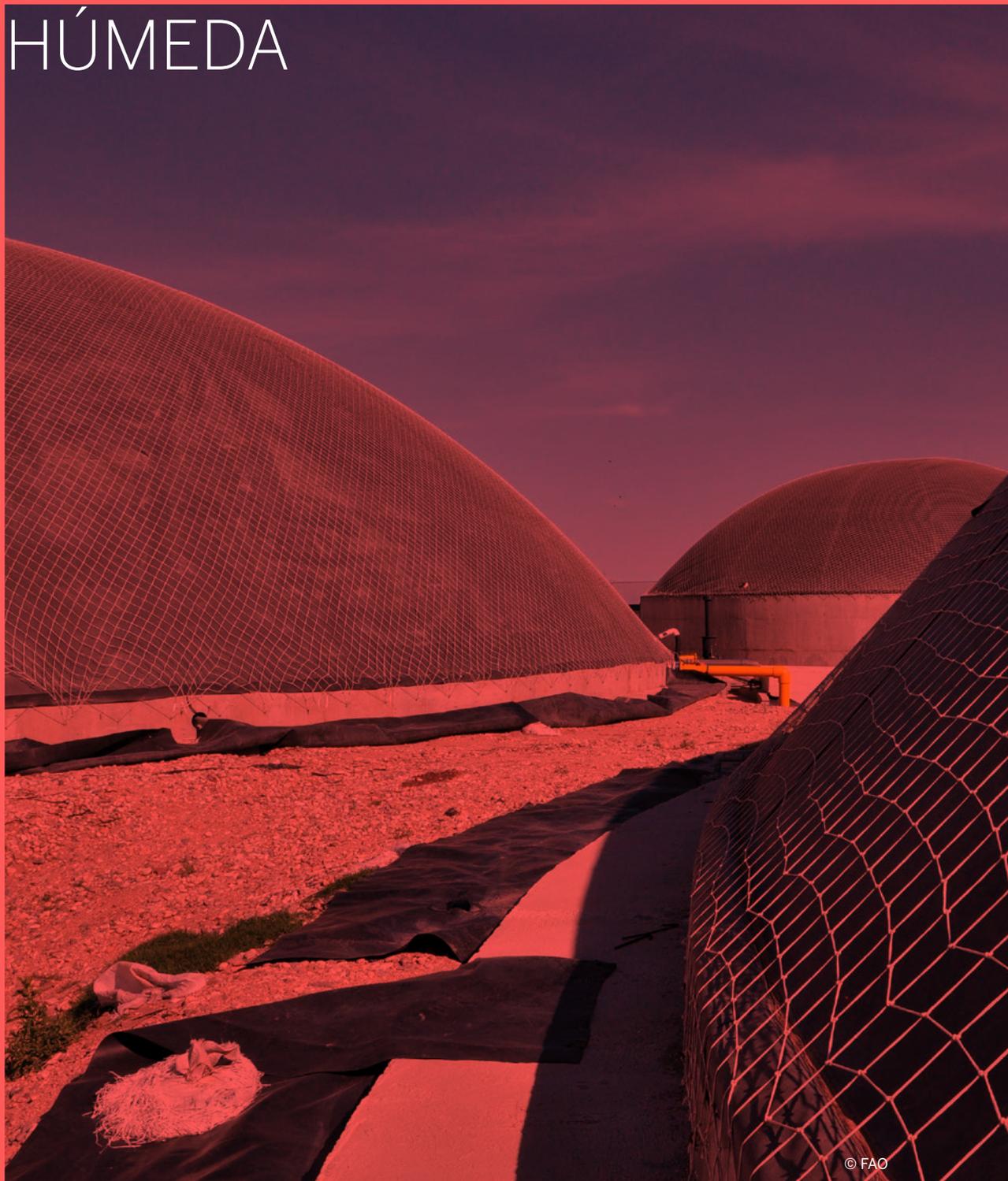
---

El balance de biomasa para fines energéticos revela un superávit en la mayor parte del territorio argentino. La oferta principal se da en departamentos que tienen industrias generadoras de residuos biomásicos, como los ingenios, o zonas con forestaciones u oferta de bosques nativos. De modo análogo, la mayor demanda proviene de sitios con industrias que generan energía.

---

---

# 9. OFERTA DE BIOMASA HÚMEDA



---

---

**El aprovechamiento energético de la biomasa húmeda de *feedlots*, tambos y establecimientos porcinos tiene un gran potencial en el país, y supone una reducción importante del pasivo ambiental que generan.**

---

Para llevar a cabo este análisis se consideraron como biomasa húmeda los efluentes de origen orgánico resultantes de actividades agropecuarias e industriales.

La fracción orgánica de la biomasa húmeda se transforma a partir de un proceso natural de descomposición biológica, en presencia (aeróbica) o en ausencia (anaeróbica) de oxígeno. La digestión anaeróbica puede utilizarse como un sistema de recuperación de energía y nutrientes contenidos en la materia orgánica. Esta, mediante un proceso en el que interviene un grupo de microorganismos, se transforma en una mezcla de gases conocida como biogás, fundamentalmente metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y en un efluente denominado digestato, que contiene macro y micronutrientes, como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y otros.

Así, a partir de la digestión anaeróbica se puede obtener bioenergía. El valor energético del biogás depende principalmente del contenido de CH<sub>4</sub>, que varía entre 50 y 75%. A la vez, el digestato puede utilizarse como biofertilizante ya que presenta

excelentes características agronómicas, lo que permite aumentar la fertilidad química de los suelos y, por lo tanto, la sustitución de químicos de origen sintético.

El proceso de digestión anaeróbica se realiza en contenedores herméticamente cerrados, denominados reactores, biodigestores o fermentadores. Puede producirse con residuos ganaderos y agrícolas, así como con los de las industrias de transformación de productos agropecuarios. Por su diseño y funcionamiento, los biodigestores permiten la codigestión con otras materias primas, como pueden ser recursos biomásicos provenientes de cultivos bioenergéticos, para garantizar el suministro de biocombustible a la planta de generación. Así, este tratamiento permite aprovechar la complementariedad de las composiciones de los distintos sustratos con el fin de lograr perfiles de procesos eficientes.

La implementación de la biodigestión anaeróbica surgió como alternativa a la disposición inadecuada de los efluentes de actividades pecuarias, que puede contaminar tanto los suelos, como el

aire o los cuerpos de agua. Durante el proceso de descomposición de estos residuos se liberan  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  a la atmósfera, y el vertido de los efluentes a los cuerpos de agua contamina por su alta carga orgánica.

Los microorganismos que participan en el proceso de descomposición de la materia orgánica utilizan el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) disuelto, lo que afecta al resto del ecosistema acuático. Asimismo, por la composición química que suele tener este tipo de sustratos (alto contenido de sales minerales y, especialmente, de nitrógeno), al degradarse la materia orgánica se forman compuestos volátiles como  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ , lo que resulta en altas concentraciones de nitrógeno en el agua, que genera una alta proliferación de algas y favorece la eutrofización.

El proceso de biodigestión es muy versátil, debido a la variedad de fuentes de biomasa que se pueden utilizar. Una aplicación estándar de estos sistemas puede contribuir a la generación de energías limpias y, en algunos casos, al autoabastecimiento energético de varias actividades productivas.

La generación de energía a través de la gestión apropiada de la biomasa húmeda tiene innumerables beneficios ambientales, económicos y sociales:

- reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ );
- reducción de la contaminación de cuerpos de agua y de la proliferación de vectores de enfermedades, con la consiguiente mejora de las condiciones higiénico-sanitarias de la zona;
- independencia en el abastecimiento de energía reemplazando total o parcialmente los combustibles fósiles;
- fomento del desarrollo regional mediante nuevas actividades y técnicas agropecuarias;
- aprovechamiento de los subproductos derivados de la producción agroalimentaria;
- beneficios económicos para productores locales e inversores;
- contribución al arraigo de las poblaciones rurales al promover nuevas actividades económicas;

- generación de infraestructuras y servicios para satisfacer las necesidades básicas de los productores y habitantes;
- especialización de la mano de obra;
- mejora de la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Para el presente análisis, como biomasa húmeda solo se han tenido en cuenta los residuos ganaderos bovinos (de *feedlots* y tambos), los porcinos y la vinaza (efluente residual más importante de la industria azucarera), por ser las únicas fuentes con información disponible. Por otra parte, para el caso de las producciones ganaderas, se contempló una restricción de carácter estructural en este análisis espacial, que es el tipo de producción, ya que tiene incidencia directa sobre la disposición del residuo o recurso. Por tal motivo, se consideró únicamente la forma de producción intensiva, debido a que simplifica las tareas de recolección del estiércol, purines y efluentes, lo que garantiza el abastecimiento continuo del sustrato a los biodigestores.

Las estimaciones de las producciones ganaderas se llevaron a cabo a partir de información del SENASA con la localización de cada establecimiento y el número de cabezas, actualizada en octubre 2015. Sobre esa base se realizaron los cálculos de la oferta por tipo de actividad: bovinos (*feedlot* y tambo) y porcinos. Para estimar los residuos generados por animal y por tipo de producción se usó el criterio aplicado por Flores *et al.* (2009).

El análisis de la vinaza se realizó sobre la base de valores de producción de caña molida por ingenio (CAA, 2016) y estimando el valor en términos de energía mediante coeficientes.

### 9.1 *Feedlots*, establecimientos porcinos y tambos

Para los *feedlots* bovinos se estimó un residuo potencial de 23,9 kg de estiércol fresco por animal por día, que, al multiplicarlo por la cantidad de días del año, resultó en 8708 kg por animal por año.

Para los establecimientos porcinos se calculó un residuo potencial de 3,4 kg de estiércol fresco diarios por animal, cifra que, anualizada, resulta en 1241 kg por animal por año.

En tanto, para los establecimientos tamberos se consideraron 3 kg de residuo por animal diarios, incluyendo solo la cantidad que puede ser recolectada cuando la vaca se encuentra en el proceso de ordeño. El valor así estimado fue de 1095 kg de estiércol fresco por animal por año.

En el Cuadro 28, se pueden observar los coeficientes utilizados para cada tipo de producción animal. Se adoptó como poder calorífico del biogás 5500 kcal/m<sup>3</sup>, y como factor de conversión a tonelada equivalente de petróleo (tep) se aplicó 10<sup>7</sup> kcal por cada tep.

### Feedlots

El engorde a corral (*feedlot*) se ha establecido como complemento para la terminación del ganado vacuno para carne en la Argentina (Viglizzo y Frank, 2010), y ha alcanzado una inserción significativa en la cadena. Actualmente, en el país hay más de 2 700 *feedlots* de tamaños diversos (Mapa 19), con un potencial para la generación de biogás de 184 420 tep/año. Las provincias con mayor cantidad son Buenos Aires, con un potencial de 65 626 tep/año; Córdoba (con 37 830 tep/año) y Santa Fe (36 419 tep/año). Entre las tres provincias suman el 76% del total de biogás estimado para todo el país (Mapa 20, Cuadro 29).

### Porcinos

La producción de porcinos se distribuye por todo el territorio argentino, aunque la mayor cantidad se encuentra en las provincias de la Pampa Húmeda,

coincidiendo con la disponibilidad de granos y los centros de faena y consumo: el norte de la provincia de Buenos Aires, el centro de Córdoba y el sur de Santa Fe (FAO, 2019b) (Mapa 22), que albergan aproximadamente el 65% de las existencias. En tanto, Entre Ríos, Chaco, Salta, Formosa, San Luis, La Pampa y Santiago del Estero reúnen el 29% de los porcinos del país (FAO, 2019b) (Mapa 21).

El potencial de biogás estimado para esta actividad en la Argentina es de 110 928 tep/año. Buenos Aires (con 27%), Córdoba (26%) y Santa Fe (20%) representan el 73% de ese potencial.

### Tambos

Los efluentes en las explotaciones lecheras se generan en las salas de ordeño, y están formados por agua de lavado de las instalaciones, agua del equipamiento (máquina de ordeñar y equipo de frío), estiércol, orina y restos de alimento y tierra (García *et al.*, 2009).

Desde la década de 1990 se viene produciendo una fuerte concentración e intensificación de la producción de leche, con una disminución en el número de explotaciones, acompañada de un marcado crecimiento del tamaño de rodeos (García *et al.*, 2009). En el Mapa 23 puede observarse la distribución de estos establecimientos.

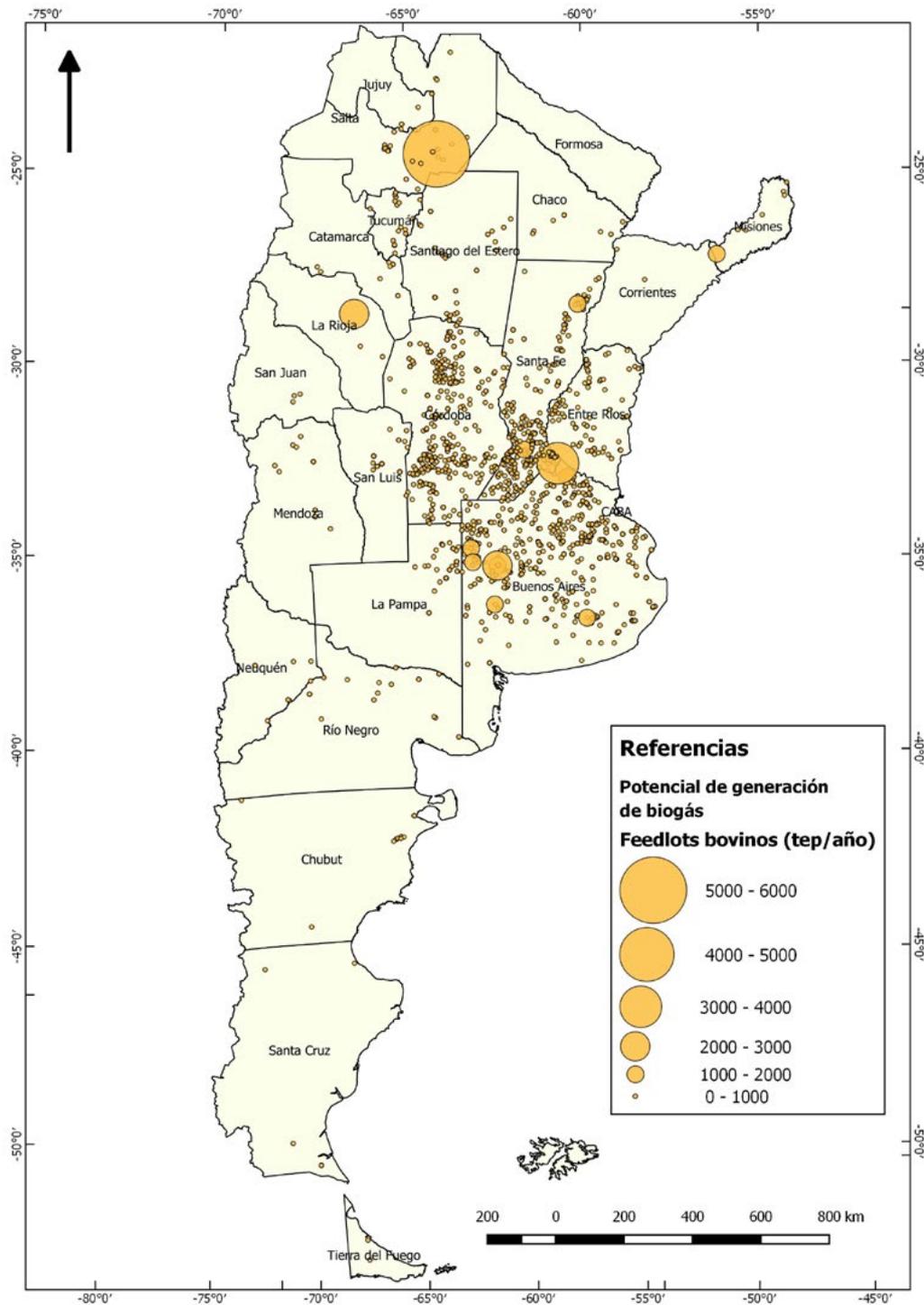
El potencial de generación de biogás de los tambos en el país es de 61 625 tep/año, y se concentra en las provincias de Córdoba (33%), Santa Fe (33%) y Buenos Aires (24%).

**Cuadro 28.** Potencial de generación de biogás por tipo de producción animal

	Feedlot bovino	Establecimiento porcino	Tambo
Biogás (m <sup>3</sup> /kg <sub>estiércol fresco</sub> )	0,0315	0,0495	0,0315
Biogás (m <sup>3</sup> /animal.año)	274,30	61,45	34,49
Energía (kcal/animal.año)	1508 627	337 962	189 709
Energía (tep/animal.año)	0,1509	0,0338	0,0190

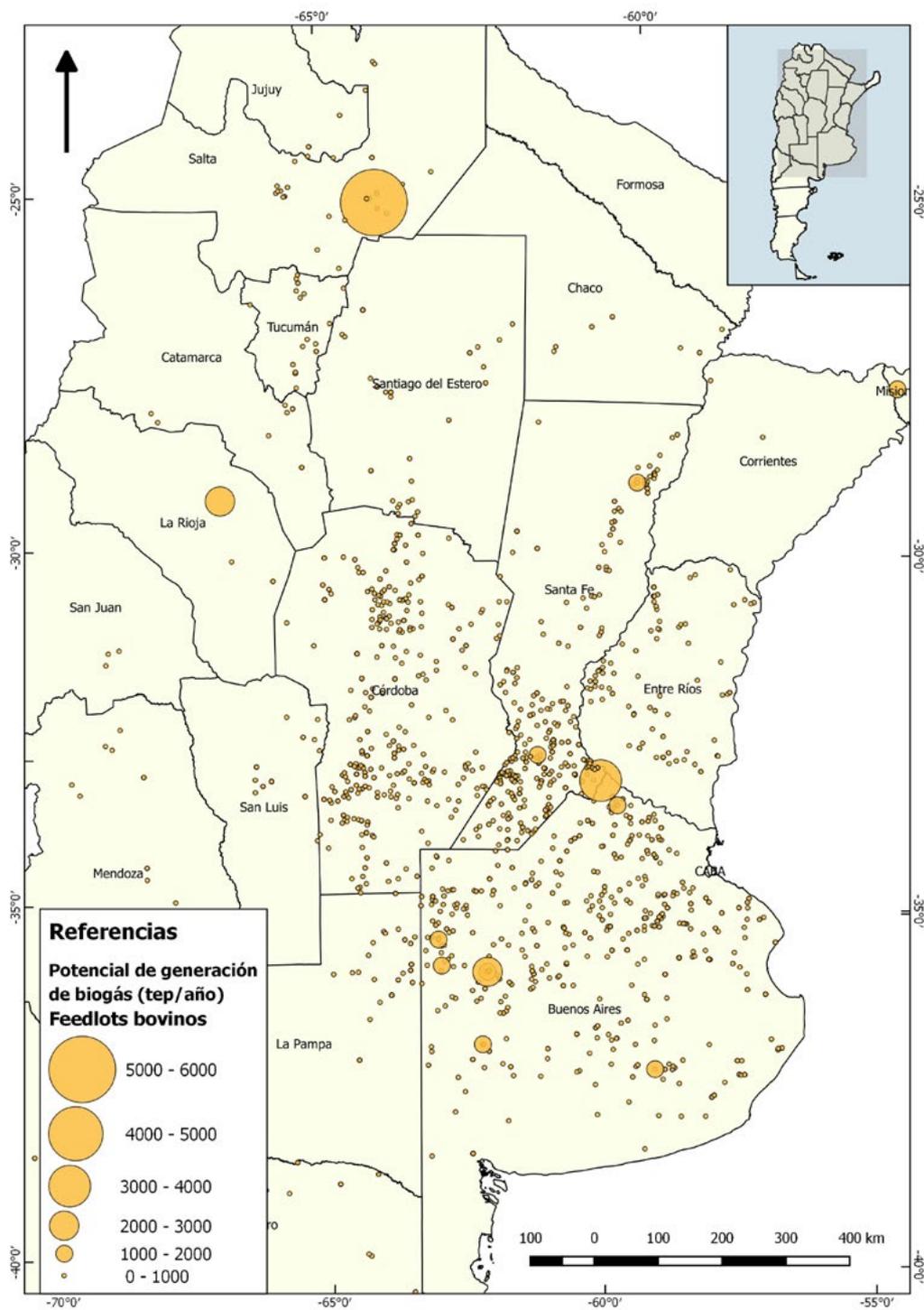
Fuente: Adaptado por Mariano Butti sobre la base de Flores *et al.* (2009) y Hilbert (2008).

Mapa 19. Potencial de biogás de *feedlots* a nivel nacional



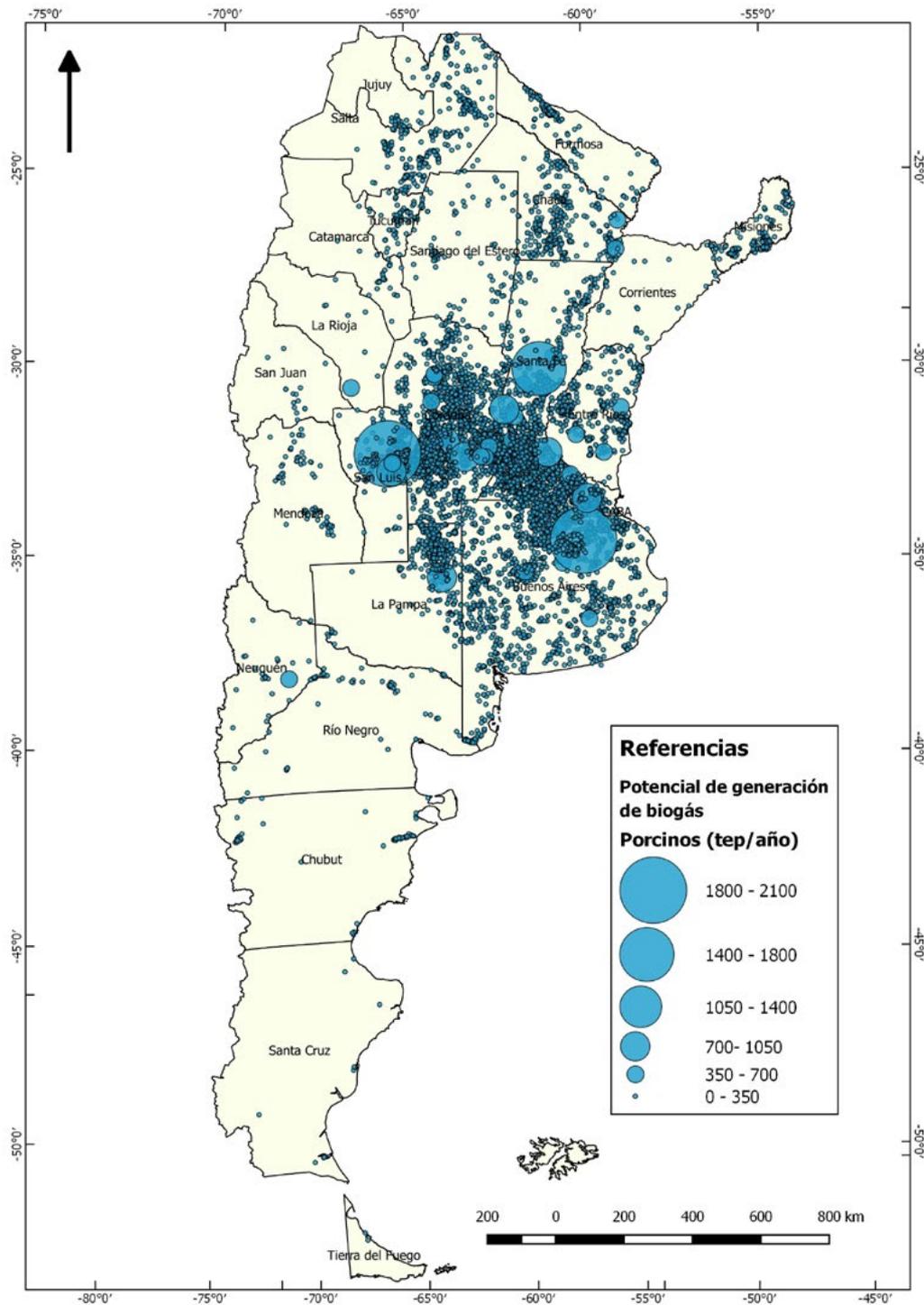
Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de FAO (2019b).

Mapa 20. Potencial de biogás de *feedlots* en la zona central y norte del país



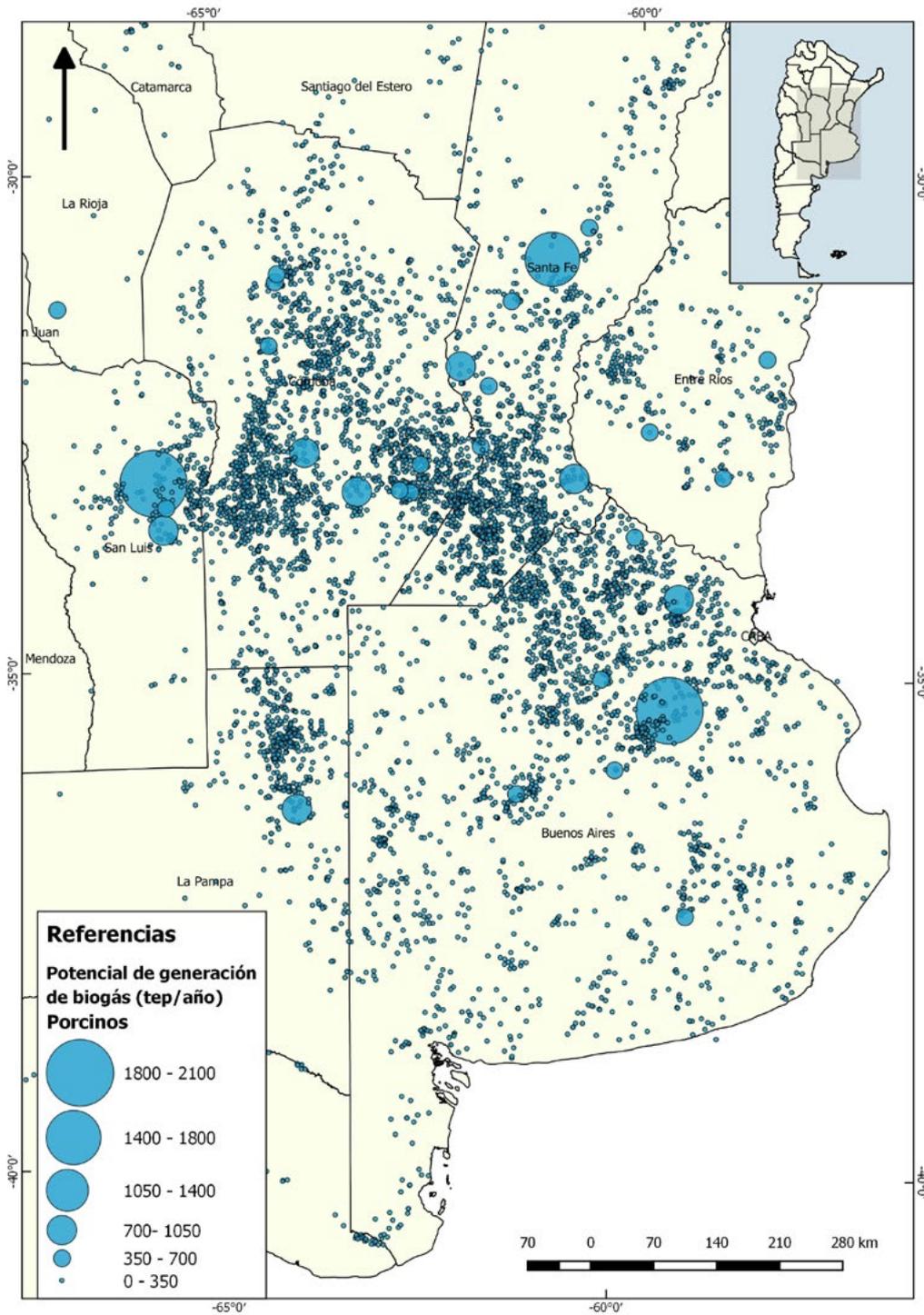
Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de FAO (2019b).

**Mapa 21.** Potencial de biogás de establecimientos porcinos a nivel nacional



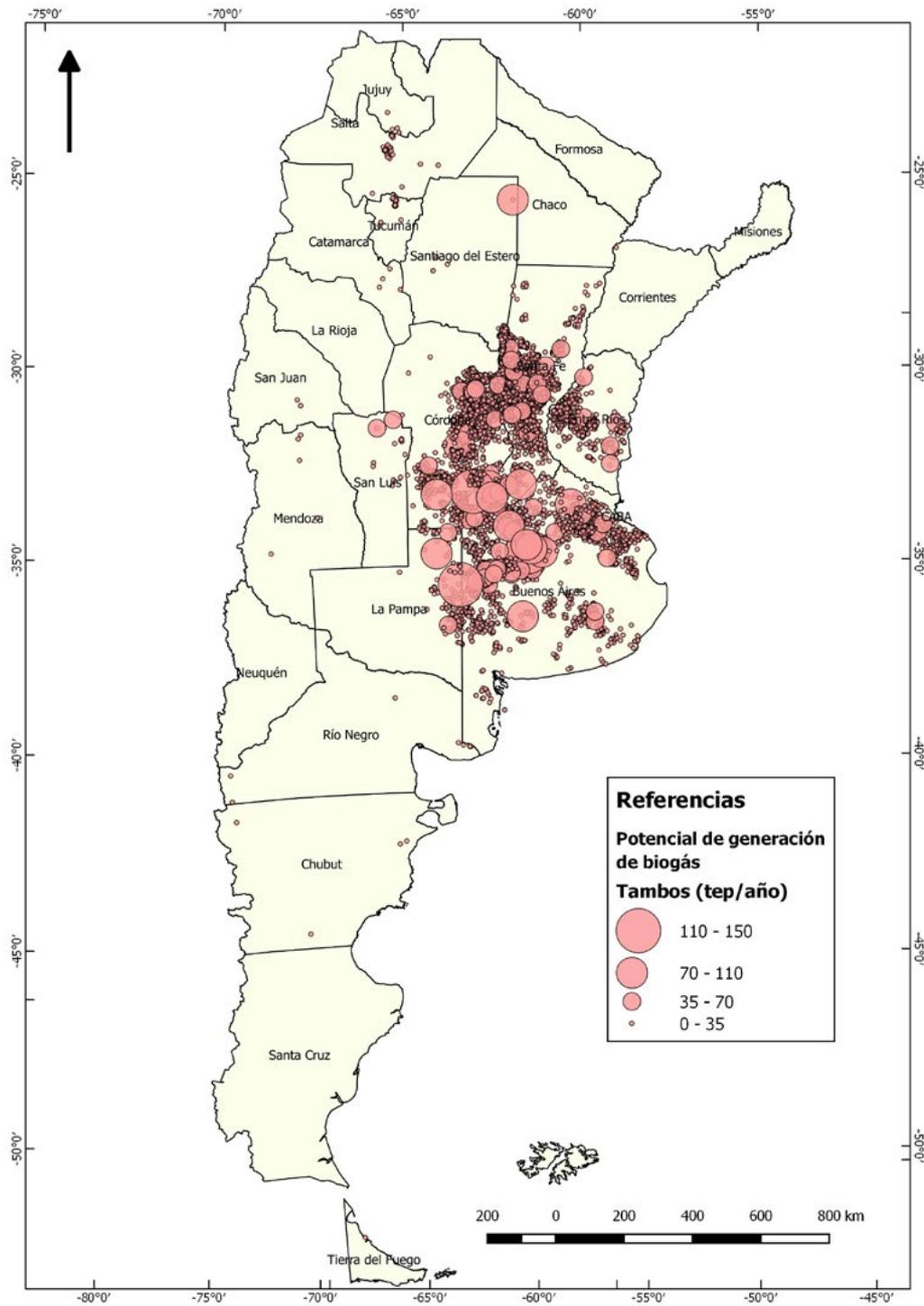
Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de FAO (2019b).

**Mapa 22.** Potencial de biogás de establecimientos porcinos en la zona central del país



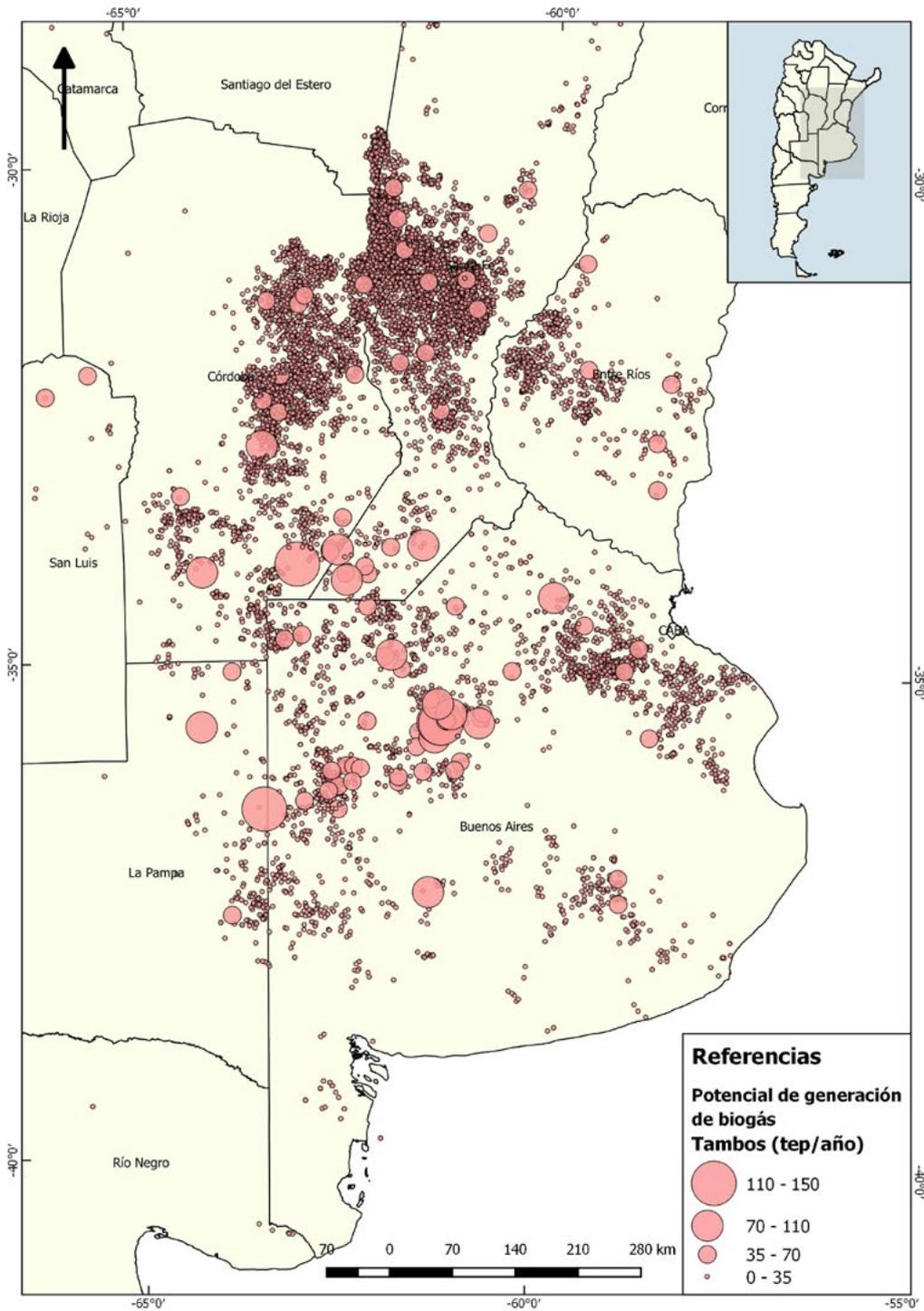
Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de FAO (2019b).

**Mapa 23.** Potencial de biogás de tambos a nivel nacional



Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de FAO (2019b).

Mapa 24. Potencial de biogás de tambos en la zona central del país



Fuente: Elaborado por los autores sobre la base de FAO (2019b).

## 9.2 Síntesis de biomasa húmeda de producciones ganaderas

Las estimaciones para las actividades ganaderas analizadas dieron como resultado un potencial de generación de biogás de 356 973 tep/año en todo el país.

Los engordes bovinos en confinamiento o *feedlots* concentraron el 52% de ese total, mientras que los establecimientos porcinos comprendieron el 31%, y los tambos, el 17% (Gráfico 5).

Así, la República Argentina muestra un gran potencial de generación de biogás con los tres tipos de producciones ganaderas analizadas. Este potencial se localiza principalmente en la región pampeana: las provincias de Córdoba, Buenos Aires y Santa Fe.

## 9.3 Ingenios

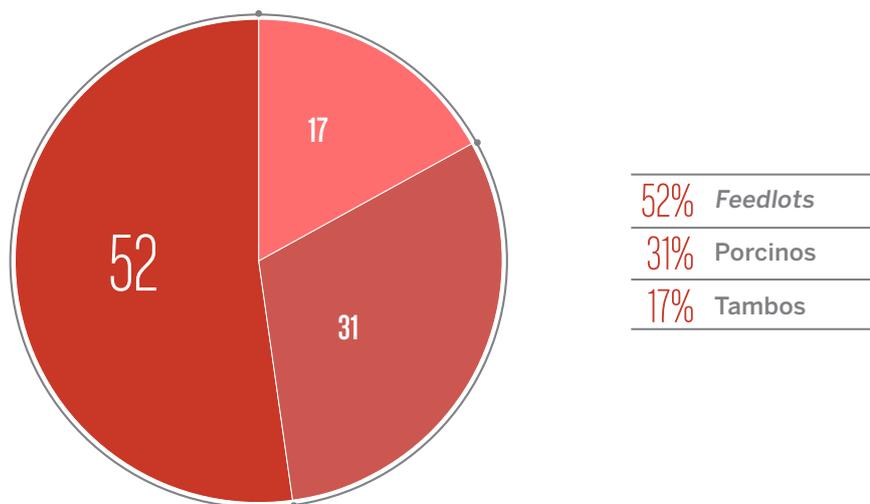
Durante la producción de azúcar, los ingenios generan alrededor de 45 kg de melaza por tonelada de caña procesada, que pueden producir 12 l de alcohol y 0,13 m<sup>3</sup> de vinaza. Este efluente líquido residual contiene grandes cantidades de materia orgánica, procedentes del proceso de extracción de los jugos y de la fermentación (Bernal González *et al.*, 2012; López *et al.*, 2010). La concentración

de materia orgánica, medida como demanda química de oxígeno (DQO), alcanza entre 120 y 150 g/l (casi quinientas veces la cantidad presente en aguas residuales domésticas). Además, tiene un pH menor a 5, lo que la convierte en una corriente ácida, que va corroyendo los materiales de recipientes y tuberías, y acumulando metales en disolución. Si un residuo de estas características es vertido al ambiente, puede generar graves problemas ambientales (Bernal González *et al.*, 2012).

La opción del tratamiento anaeróbico permitiría reducir el contenido de materia orgánica del efluente y, al mismo tiempo, transformar esa materia orgánica en biogás para aprovecharlo energéticamente, minimizando su impacto en cuerpos receptores, como suelos y fuentes de agua.

Es por ello que se estimó el volumen de vinaza a partir de los valores de producción de caña molida por ingenio (CAA, 2016) y, luego, se calculó su valor en términos de energía. Con ese fin, se determinó el potencial de energía a partir de la vinaza asumiendo que de 10 000 t de caña molida se obtienen 1 300 m<sup>3</sup> de vinaza, con una DQO de 120 kg/m<sup>3</sup>. Se realizó el cálculo por provincia (Cuadro 30), aunque aquí se presenta el procedimiento

**Gráfico 5.** Aporte relativo de *feedlots*, tambos y establecimientos porcinos al potencial de biogás



Fuente: Elaborado por los autores.

**Cuadro 29.** Potencial de biogás por provincia para *feedlots*, tambos y establecimientos porcinos

Potencial de generación de biogás (tep/año)				
Provincia	Feedlots	Tambos	Porcinos	Total
Buenos Aires	65 626	15 252	30 065	110 943
Catamarca	591	64	181	836
Chaco	978	0	2 433	3 412
Chubut	923	6	605	1 533
Córdoba	37 830	20 559	28 857	87 246
Corrientes	233	2	789	1 025
Entre Ríos	8 659	2	7 529	16 191
Formosa	0	0	1 576	1 576
Jujuy	550	2 531	656	3 737
La Pampa	2 470	12	3 823	6 305
La Rioja	2 264	0	984	3 248
Mendoza	1 056	1 028	715	2 799
Misiones	1 997	0	859	2 856
Neuquén	503	0	577	1 080
Río Negro	1 165	12	511	1 688
Salta	8 061	66	2 377	10 505
San Juan	217	210	649	1 076
San Luis	4 174	9	4 518	8 700
Santa Cruz	424	171	62	657
Santa Fe	36 419	20 511	21 727	78 657
Santiago del Estero	7 242	1 033	749	9 024
Tierra del Fuego	85	2	10	97
Tucumán	2 953	152	675	3 780
<b>Total</b>	<b>184 420</b>	<b>61 625</b>	<b>110 928</b>	<b>356 973</b>

Fuente: Elaborado por los autores.

para llegar al resultado poniendo como ejemplo el valor de caña molida obtenido para todo el país.

El total de caña molida en la Argentina, durante la zafra 2016, fue de 18 436 073 t. Así:

$$\frac{18\,436\,073 \text{ t/año} \times 1\,300 \text{ m}^3/\text{día}}{10\,000 \text{ t/día}} = 2\,396\,689 \text{ m}^3/\text{año de vinaza a } 120 \text{ kg/m}^3 \text{ de DQO}$$

Entonces, la carga en DQO por año sería:

$$2\,396\,689 \text{ m}^3/\text{año} \times 120 \text{ kg/m}^3 = 287\,602\,739 \text{ kg DQO/año}$$

Se consideró que la eficiencia de la tecnología utilizada permite aprovechar el 70% de la DQO de las vinazas (Lorenzo-Acosta *et al.*, 2014):

$$287\,602\,739 \text{ kg DQO/año} \times 0,70 = 201\,321\,917 \text{ kg DQO/año}$$

Así, asumiendo que por cada kilo de DQO transformado se obtienen 0,5 m<sup>3</sup> de biogás con un contenido de 65% de metano, se puede determinar la cantidad potencial de metano anual (Mornadini y Quaia, 2013):

$$201\,321\,917 \text{ kg DQO/año} \times 0,50 \text{ m}^3 \text{ biogás/kg DQO} \times 0,65 \text{ m}^3 \text{ metano/m}^3 \text{ biogás} = 65\,429\,623 \text{ m}^3 \text{ de metano/año}$$

Sabiendo que el poder calorífico del metano es aproximadamente de 9 000 kcal y que una tonelada de petróleo equivalente (tep) posee 10 000 000 kcal, puede estimarse que el potencial energético de la vinaza transformada en biogás anaeróbicamente es de 58 887 tep anuales en la Argentina (Mapa 25 y 26).

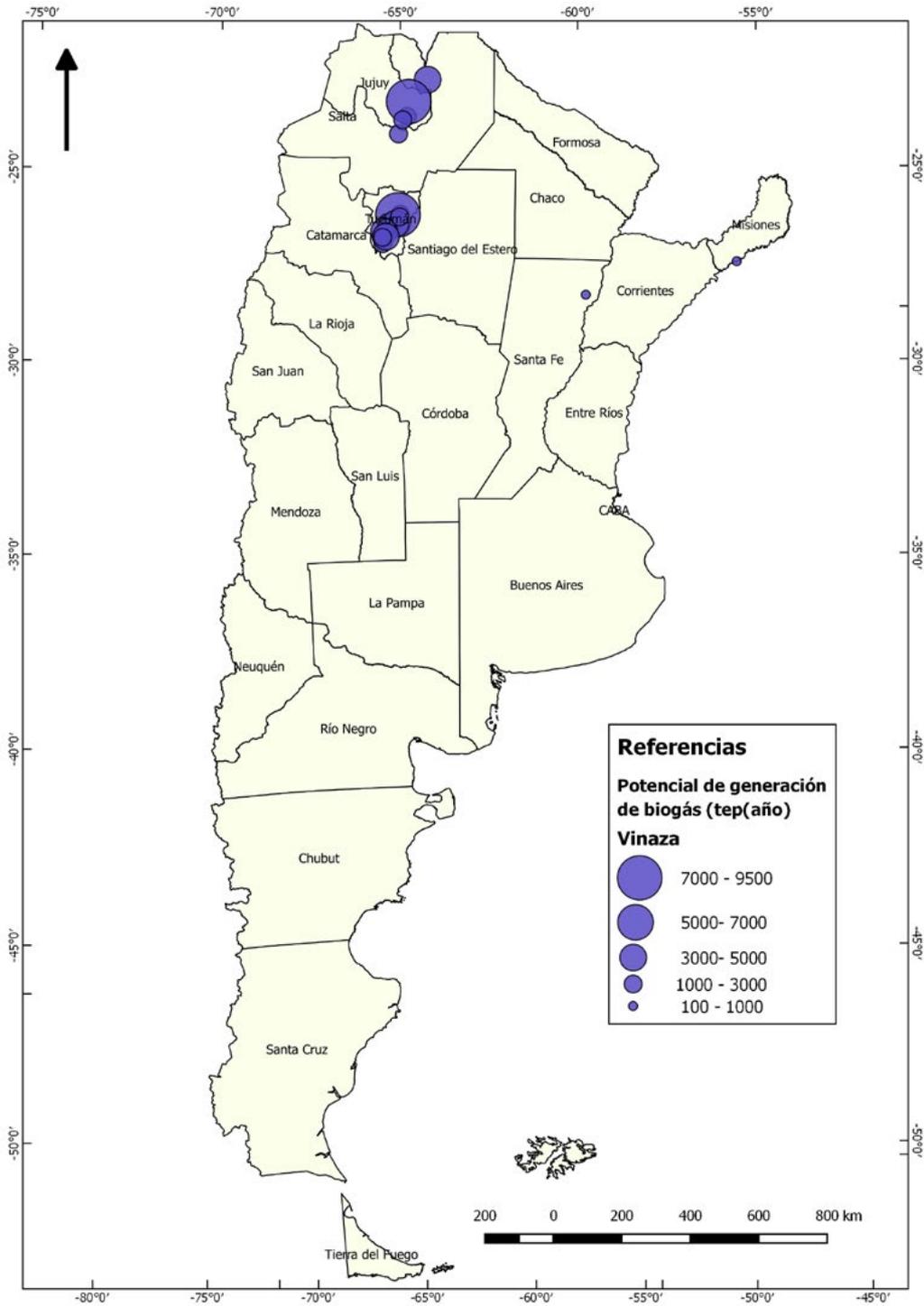
$$\frac{65\,429\,623 \text{ m}^3 \text{ metano} \times 9\,000 \text{ kcal}}{10\,000\,000 \text{ kcal/tep}} = 58\,887 \text{ tep/año}$$

### Cuadro 30. Potencial de biogás a partir de vinaza por provincia

Provincia	Caña molida (2016) (t/año)	Vinaza (l/año)	Potencial energético (tep/año)
Tucumán	12 818 007	1 666 341	40 942
Jujuy	3 942 782	512 562	12 594
Salta	1 560 199	202 826	4 983
Santa Fe	50 085	6 511	160
Misiones	65 000	8 450	208
<b>Total</b>	<b>18 436 073</b>	<b>2 396 689</b>	<b>58 887</b>

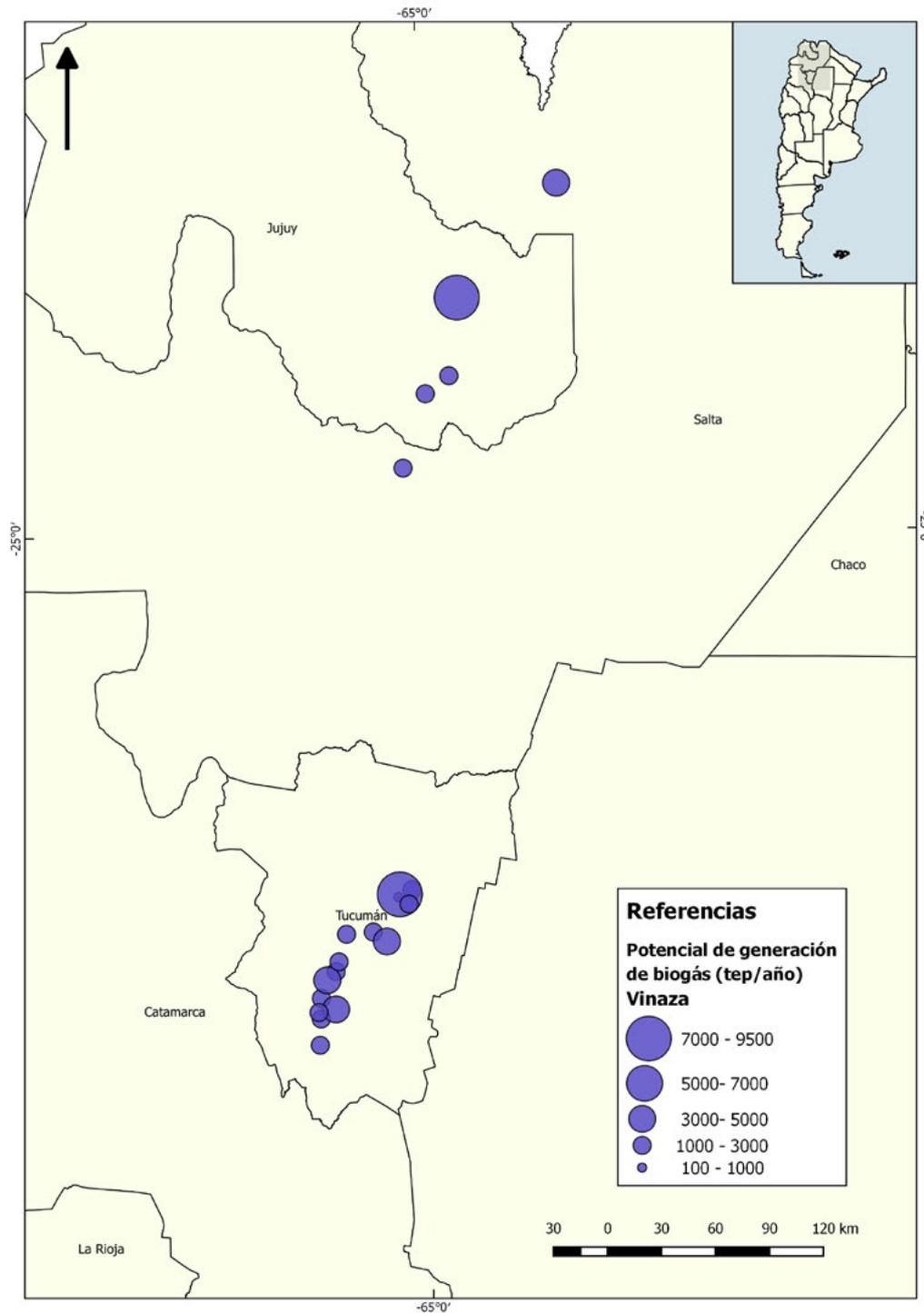
Fuente: Elaborado por los autores.

Mapa 25. Potencial de biogás a partir de vinaza a nivel nacional



Fuente: Elaborado por los autores.

**Mapa 26.** Potencial de biogás a partir de vinaza en las provincias de Tucumán, Salta y Jujuy



Fuente: Elaborado por los autores.



© FAO

---

# 10. CONCLUSIONES



---

Los resultados del presente análisis refuerzan la noción de que la Argentina tiene un gran potencial bioenergético, debido al volumen y a la amplia variedad de fuentes de biomasa seca y húmeda susceptible de producir energía renovable que existe en su territorio. El relevamiento realizado, tanto a nivel provincial como nacional, da cuenta de las posibilidades de aprovechar energéticamente la biomasa disponible de los residuos generados por cultivos y por procesos industriales, más allá de los recursos leñosos provenientes de las formaciones nativas.

Esta actualización de la base de datos y del análisis espacial constituye un insumo esencial para la toma de decisiones en políticas públicas y en la planificación y formulación de estrategias bioenergéticas, y forma parte de la línea de base para la promulgación de proyectos a distintas escalas, con la posibilidad de producir diferentes vectores energéticos (biogás, electricidad, calor) de manera sustentable.

De los recursos biomásicos analizados, las formaciones nativas comprenden el 64% de la oferta disponible, aunque se encuentran distribuidas en todo el territorio nacional, con fuertes restricciones de acceso tanto físico como legal. La oferta proveniente de los cultivos (directa) representa el 16% del total estimado, y las forestaciones y la caña de azúcar son los cultivos que mayor biomasa residual generan.

En tanto, la biomasa resultante de los residuos agroindustriales (indirecta) alcanza el 20% del total; su mayor volumen lo generan los residuos de las industrias forestales, mayoritariamente ubicadas en las provincias de la Mesopotamia, y el bagazo de la molienda de la caña de azúcar, concentrado en los ingenios de Tucumán y Jujuy. Esta oferta indirecta es accesible, ya que se encuentra ubicada en puntos determinados, sin restricciones de acceso físicas ni legales.

En relación con la demanda, los mayores consumidores son los mismos ingenios, que producen

calor a partir de la utilización de bagazo y otras fuentes de biomasa; las carboneras, en la provincia de Chaco y Santiago del Estero; y las ladrilleras, en la provincia de Buenos Aires. El estudio de los distintos sectores que consumen biomasa con fines energéticos demuestra que los grandes consumidores de biomasa están localizados en un punto o concentrados en una localidad determinada, mientras que los consumidores de menor escala, como el sector residencial y las escuelas rurales, presentan una gran dispersión territorial, un patrón para tener en cuenta en el diseño de políticas públicas dirigidas a los sectores más vulnerables.

Pese a que las estimaciones de este estudio podrían ser más precisas si contaran con más información registrada y estandarizada de residuos biomásicos, así como de los sectores consumidores, la actualización del balance nacional llevada a cabo en este documento logró estimar que la Argentina tiene un superávit de 40 millones de toneladas anuales de biomasa para uso energético.

Por otra parte, el análisis del potencial de generación de biogás a partir de los efluentes de establecimientos productivos de bovinos (*feedlots* y *tambos*) y porcinos puso de manifiesto que existe un gran potencial energético en este tipo de fuentes, además de la reducción del pasivo ambiental que supone su implementación. Las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe son las principales potenciales generadoras de biogás de residuos ganaderos, con 276 847 tep anuales, de un total nacional de 356 973 tep anuales. En cuanto al potencial energético de la vinaza, se estimó en 558 887 tep al año. También en este caso el uso energético mejora la sostenibilidad de las prácticas productivas de los establecimientos, ya que favorece el desplazamiento de energía derivada de fuentes fósiles por una de fuentes renovables y, al mismo tiempo, permite gestionar adecuadamente los residuos.

# 11. RECOMENDACIONES



---

---

Dada la gran diversidad de fuentes de biomasa con destino energético y la multiplicidad de instituciones y centros de investigación relacionados con distintos aspectos de la oferta y el consumo, se refuerza la necesidad de contar con un grupo técnico multidisciplinario para el análisis de la información. Es menester contemplar siempre la protección de los ecosistemas y la renovabilidad de los recursos.

Debido a la dificultad de acceder a información oficial en temas relacionados con el cálculo de la biomasa, resulta de interés que, en forma conjunta, los organismos provinciales y los nacionales puedan instrumentar los mecanismos necesarios para disponer de los datos faltantes, a la hora de generar nuevas actualizaciones. Es importante que las actividades sean llevadas a cabo con una visión holística de la temática.

Por otra parte, se recomienda la integración del presente análisis espacial con variables socioeconómicas, para posibilitar la comprensión de las dinámicas propias de los sistemas bioenergéticos. En este sentido, el desarrollo de escenarios futuros, el análisis de biocuenca de abastecimiento, y los estudios sobre la ubicación óptima de plantas consumidoras de biomasa con fines energéticos, facilitarán la formulación de políticas públicas y estrategias energéticas.

## Bibliografía

- Araniti, V., M. Maza, M. Bauzá, P. Winter, L. Alturria, F. Gómez et al.** 2012. "Estado actual y perspectivas de la producción de bioenergía a partir de residuos y subproductos de la cadena vitivinícola y olivícola-olearia en la República Argentina". En De Genaro, B. (ed.). *Valorizzazione energetica di residui e sottoprodotti della filiera agro-alimentare e forestale in Italia e Argentina*. Libellula Edizioni.
- Asociación de productores de arándanos de la Mesopotamia argentina (APAMA).** 2015. *Actualización Censo APAMA 2015*. 7.ª Jornada Técnica Regional en Arándanos.
- Banco Mundial.** 1995. *Vehicle operating cost (VOC). Versión 3.0. HDM III The highway design and maintenance standards model*. Washington.
- Bernal González, M., A. Poblano Flores, D. Toscano Pérez, y C. Durán de Bazúa.** 2012. "Ahorro de energía: Uso de reactores anaerobios termofílicos para la obtención de metano a partir de vinazas de ingenios azucareros-alcoholeros. Efecto de la temperatura en el desempeño de las biocomunidades anaerobias". En *Tecnología, Ciencia, Educación* Vol. 27 N.º 2. Monterrey (México) (disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=482/48230177004>).
- Brown, S.** 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests*. FAO Forestry Paper N.º 134. Roma.
- Brown, S., P. Schroeder y J.S. Kern.** 1999. "Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA". *Forest Ecology and Management* N.º 123. Elsevier.
- CAM.** 2018. Actualización oferta y demanda 2017/2018. (disponible en: <http://www.camaradelmani.org.ar/espanol/actualizacion-estimacion-oferta-y-demanda-201718-cam/>)
- Centro Azucarero Argentino.** 2016. *Estadísticas. Zafra 2016*. (disponible en: <http://centroazucarero.com.ar/oldsite/zafras/zafra2016.html>)
- Calzada J. y Frattini C.** 2016. *Estructura industrial de la molinería de arroz en la República Argentina*. Bolsa de Comercio de Rosario. (disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/print/pdf/node/71619>).
- Colamarino, I.** 2017. *Producción de banana*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- De Bernardi, L.** 2017. *Perfil del Mercado de Arroz. Informe anual*. Ministerio de Agroindustria de la Nación.
- Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC).** 2011. *Reporte Agroindustrial. Estadísticas y márgenes de cultivos tucumanos N.º 52*. Las Talitas, Tucumán (Argentina).
- EEAOC.** 2013a. *Relevamiento satelital de los principales cultivos de la provincia de Tucumán. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres*. Las Talitas, Tucumán.
- EEAOC.** 2013b. "Producción y comercialización del limón de Tucumán en el año 2012. Comparación de los gastos de implantación y producción en las campañas 2011/12 y 2012/13". *Reporte Agroindustrial. Estadísticas y márgenes de cultivos tucumanos N.º 82*. Las Talitas, Tucumán (Argentina).
- FAO.** 1987. *Technical and economic aspects of using wood fuels in rural industries. Training in planning national programmes for wood-based energy*. Roma.
- FAO.** 2004. "Terminología de los dendrocombustibles sólidos". *Terminología Unificada sobre la Bioenergía (TUB)*. Roma.
- FAO.** 2009. *Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina. WISDOM Argentina. Informe final*. Buenos Aires.
- FAO.** 2010a. *What woodfuels can do to mitigate climate change?* Forestry Paper N.º 162. Roma.
- FAO.** 2010b. *Evaluación de los recursos forestales mundiales. Informe Nacional Argentina*. Roma.
- FAO.** 2016a. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Tucumán*. Buenos Aires (disponible en [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/WISDOM\\_Tucuman\\_baja.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/WISDOM_Tucuman_baja.pdf)).

- FAO.** 2016b. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Salta.* Buenos Aires (disponible en [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/WISDOM\\_Salta\\_baja.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/WISDOM_Salta_baja.pdf)).
- FAO.** 2016c. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de La Pampa.* Buenos Aires (disponible en [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/WISDOM\\_la\\_Pampa\\_baja.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/WISDOM_la_Pampa_baja.pdf)).
- FAO.** 2017a. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Mendoza.* Buenos Aires (disponible en [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/WISDOM\\_Mendoza\\_FAO-%20Final%20170904.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/WISDOM_Mendoza_FAO-%20Final%20170904.pdf)).
- FAO.** 2017b. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Córdoba.* Buenos Aires (disponible en [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/WISDOM\\_Cordoba\\_FAO-Final%20170904.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/WISDOM_Cordoba_FAO-Final%20170904.pdf)).
- FAO.** 2018a. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Corrientes.* Buenos Aires (disponible en [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/WISDOM\\_Corrientes\\_11-7.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/WISDOM_Corrientes_11-7.pdf)).
- FAO.** 2018b. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Santa Fe.* Buenos Aires (disponible en [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/WISDOM\\_SantaFe\\_interior-web.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/WISDOM_SantaFe_interior-web.pdf)).
- FAO.** 2018c. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Chaco.* Buenos Aires (disponible en [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/WISDOM\\_Chaco.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/WISDOM_Chaco.pdf)).
- FAO.** 2018d. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Buenos Aires.* Buenos Aires.
- FAO.** 2018e. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Entre Ríos.* Buenos Aires.
- FAO.** 2019a. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Misiones.* Buenos Aires (disponible en [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/DT13-WISDOM-Misiones-19-09-16.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/DT13-WISDOM-Misiones-19-09-16.pdf)).
- FAO.** 2019b. *Estudio de cuencas de biogás.* Colección Informes Técnicos N.º 4. Buenos Aires.
- Federación del Citrus de Entre Ríos (FECIER).** 2016. *Censo Provincial Citrícola 2015/2016.* Concordia, Entre Ríos (Argentina). CFI.
- Flores Marco, N., J. Hilbert, S. Carballoy A. Anschau.** 2009. *Potencial de producción de biogás en la provincia de Santa Fe.* Instituto de Ingeniería Rural del INTA Castelar. Buenos Aires. Mimeo.
- Fondo especial del tabaco (MINAGRO).** 2017. *El cultivo de tabaco en Argentina.* Ministerio de Agroindustria de La Nación.
- García K., I. Huerga, V. Charlón y A. Cuatrin.** 2009. "Estimación de producción de biogás a partir de la degradación anaeróbica de efluentes provenientes de instalaciones de ordeño". *Tercer Congreso Nacional-Segundo Congreso Iberoamericano de Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía (HYFUSEN)* 2009. San Juan (Argentina).
- Hansen, M., Thau, D., Stehman, S., Goetz, S., Loveland, T., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Potapov, V., Moore, R., Hancher, H., Turubanova, S., Tyukavina, A., Justice, C. y Townshend, J.** 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change". *Science*, Vol. 342. AAAS.
- Henry, M., N. Picard, C. Trotta, R.J. Manlay, R. Valentini, M. Bernoux, y L. Saint-André.** 2011. *Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations.* *Silva Fennica* Vol. 45 (3B).
- Hilbert, J.** 2008. *Manual para la producción de biogás.* Instituto de Ingeniería Rural. INTA Castelar. Buenos Aires.
- International Energy Agency (IEA).** 2017. *Bioenergy and biofuels* (disponible en <https://www.iea.org/topics/renewables/bioenergy/>).
- IDR.** 2009. *Censo de Secaderos. Resultados IDR, Agosto 2009.* Instituto de Desarrollo Rural. (disponible en: <https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2012/05/Resultados-Censo-Secadero-2009.pdf>)
- IDR.** 2010. *Censo frutícola provincial .Mendoza, Argentina.* Instituto de Desarrollo Rural. (disponible en: [https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2018/08/censo\\_fruticola\\_2010.pdf](https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2018/08/censo_fruticola_2010.pdf))
- INDEC.** 2010. *Censo Nacional de Población, Hogares*

- y *Viviendas*. Ministerio de Economía. Buenos Aires.
- INTA**. 2013. *La caña de azúcar como cultivo energético*. Buenos Aires.
- INV**. 2017. *Registro de viñedos y superficie. Año 2016*. Departamento de estadísticas y estudios de mercado (disponible en [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anuario\\_superficie\\_2016\\_compaginado.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anuario_superficie_2016_compaginado.pdf)).
- Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina (IPCVA)**. 2005. *Estudio de usos y actitudes sobre el consumo de carne vacuna en Argentina -en población nacional y en hogares-*, realizado TNS Gallup. Buenos Aires.
- J.J. Hinrichsen SA**. 2015. *Anuario estadístico 2015*. Buenos Aires.
- López, I., M. Passeggi, M. Odrizola, L. Borges y L. Borzacconi**. 2010. *Tratamiento anaerobio de vinaza de destilería de caña de azúcar*. Montevideo. Bioproa, Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.
- Lorenzo-Acosta, Y., A. Valdez Delgado, F. Domelech López, L. Rojas Sariol y F. Eng Sánchez**. 2014. "Cálculos técnicos en el diseño de una planta de biogás. Caso de estudio: Tratamiento de vinazas de destilerías en reactores UASB". *Revista ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*. Vol. 48 N.º 2.
- Luna, E**. 2010. "Estudio exploratorio del uso de la leña en escuelas rurales de la provincia de Santiago del Estero". Trabajo final de graduación. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- Manrique, S. y J. Franco**. 2008. "Potencial energético de biomasa residual de biomasa residual de tabaco y ají en el Municipio de Coronel Moldes (Salta, Argentina)". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* N.º 12. Ciudad de Salta. ASADES.
- Manrique, S., J. Franco, V. Núñez y L. Seghezso**. 2011. "Propuesta metodológica para la toma de decisiones sobre bioenergía en un contexto complejo y diverso". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* N.º 15. Ciudad de Salta. ASADES.
- MECON**. 2016a. *Informes de cadena de valor. Frutícola-Cítricos dulces*. Año 1. N.º 19 (disponible en [https://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/2017/SSPE\\_Cadena\\_de\\_Valor\\_Citricos\\_Dulces.pdf](https://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/2017/SSPE_Cadena_de_Valor_Citricos_Dulces.pdf)).
- MECON**. 2016b. *Informes de cadena de valor. Forestal, papel y muebles*. Año 1 N.º 14. (disponible en [https://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/2017/SSPE\\_Cadena\\_de\\_Valor\\_Forestal\\_papel\\_muebles.pdf](https://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/2017/SSPE_Cadena_de_Valor_Forestal_papel_muebles.pdf)).
- Ministerio de Agroindustria de La Nación (MINAGRO)**. 2016. *Cadena del arroz. Informe de coyuntura* N.º 1. Subsecretaría de Alimentos y Bebidas. Secretaría de Agregado de Valor.
- MINAGRO**. 2017. Informe nacional del relevamiento censal de aserraderos. Año 2015. (disponible en: [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss\\_desarrollo\\_foresto\\_industrial/censos\\_inventario/\\_archivos/censo/000000\\_Informe%20Nacional%20de%20Aserraderos%202015.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_desarrollo_foresto_industrial/censos_inventario/_archivos/censo/000000_Informe%20Nacional%20de%20Aserraderos%202015.pdf))
- Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación**. 2016. *Informes de cadena de valor. Yerba mate*. Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo. Año 1. N.º 17.
- Ministerio de Hacienda**. 2018. *Balance Energético Nacional (BEN) de la República Argentina*, año 2018. Buenos Aires (disponible en <https://www.argentina.gob.ar/energia/hidrocarburos/balances-energeticos-0>).
- Mornadini, M. y E. Quaia**. 2013. *Alternativas para el aprovechamiento de la vinaza como subproducto de la actividad sucroalcoholera. Avance Agroindustrial* Vol. 34 N.º 2. EEAOC DOSSIER.
- Picard, N., L. Saint-André y M. Henry**. 2012. *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción*. Roma. FAO-Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
- Plaza, G., W. Tejerina y O. Pacheco**. 1999. "Gestión de residuos en la planta de preindustrialización de la hoja de tabaco en Rosario de Lerma, Salta". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* N.º 3. Ciudad de Salta (Argentina). ASADES.
- Ramos M.P. y A. Fidalgo**. 2018. *Estimación de la demanda de biomasa en Argentina en 2016. Fuentes de información y metodología*. Nota técnica. Buenos Aires. FAO.

- 
- Roca Alarcón, G., C. Glauco Sánchez, E. Olivares Gómez y L. Barbosa Cortez.** 2006. "Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: características físicas". En *Proceedings of the 6.º Encontro de Energia no Meio Rural*. Campinas (Brasil).
- Rosúa, J. y M. Pasadas.** 2012. "Biomass potential in Andalusia, from grapevines, olives, fruit trees and poplar, for providing heating in homes". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 16 N.º6. Elsevier.
- SAYDS.** 2005. *Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Informe nacional*. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas. Buenos Aires.
- Secretaría de Minería de la Nación - Estudios y Servicios Ambientales SRL.** 2011. Evaluación y diagnóstico integral de la actividad ladrillera artesanal en la República Argentina. Resultados nacionales. Informe Final. Buenos Aires (disponible en: <http://www.redladrilleras.net/assets/files/f01c-303191c24a5035e19188470f9b43.pdf>).
- Subsecretaría de Alimentos y Bebidas.** 2017. *Producción de banana*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Sultana, A. y A. Kumar.** 2012. "Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors". *Biomass and Bioenergy* Vol. 39. Elsevier.
- Secretaría de Energía.** 2009. *Energías Renovables. Diagnóstico, barreras y propuestas*. Buenos Aires. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.
- Subsecretaría de Energías de Renovables.** 2018. *Generación de empleo. Energías Renovables. Programa RenovAR y MATER*. Buenos Aires. Ministerio de Energía.
- Valeiro, A., R. Portocarrero, E. Ullivarri y J. Vallejo.** 2017. *Los residuos de la industria sucro-alcoholera argentina*. Gestión de residuos de la industria sucroenergética argentina. Colección Investigación, Desarrollo e Innovación. INTA (disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_residuos\\_sucro\\_alcoholera\\_argentina.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_residuos_sucro_alcoholera_argentina.pdf)).
- Valentini, G. y L. Arroyo.** 2003. *La poda en frutales y ornamentales: Consideraciones básicas*. Boletín de Divulgación Técnica N.º 14. San Pedro (Argentina). INTA.
- Viglizzo, E.F. y F.C. Frank.** 2010. "Erosión del suelo y contaminación del ambiente". En *Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental* (Viglizzo, E. F. y E. Jobbágy eds.). Buenos Aires. INTA.

---

# Anexo I

## Marco normativo

---

La Ley N° 26331/2007 (Decreto Reglamentario 91/2009) de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, conocida como “Ley de Bosques” establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos y de los servicios ambientales que estos brindan a la sociedad. En esta Ley, se establecen tres categorías a saber:

- **Categoría I (Rojo):** Sectores de muy alto valor de conservación que no deben transformarse. Incluye áreas que por sus ubicaciones relativas a reservas, su valor de conectividad, la presencia de valores biológicos sobresalientes y/o la protección de cuencas que ejercen, ameritan su persistencia como bosque a perpetuidad, aunque estos sectores puedan ser hábitat de comunidades indígenas y objeto de investigación científica. No pueden estar sujetas a aprovechamiento forestal, pero se podrán realizar actividades de protección, mantenimiento, recolección y otras que no alteren los atributos intrínsecos, incluyendo la apreciación turística respetuosa, las cuales deberán desarrollarse a través de Planes de Conservación. También podrá ser objeto de programas de restauración ecológica ante alteraciones y/o disturbios antrópicos o naturales.
- **Categoría II (Amarillo):** Sectores de mediano valor de conservación, que pueden estar degradados pero que, a juicio de la Autoridad de Aplicación, con la implementación de actividades de restauración pueden tener un valor alto de conservación y que podrán ser sometidos a los siguientes usos: aprovechamiento sostenible, turismo, recolección e investigación científica. Los mismos deberán efectuarse a través de Planes de Conservación o Manejo Sostenible, según corresponda.
- **Categoría III (Verde):** Sectores de bajo valor de conservación que pueden transformarse parcialmente o en su totalidad, aunque dentro de los criterios de la presente Ley.

La Ley 27191/2015 modifica a la Ley 26190 en lo relativo al “Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica”. La misma estableció como primer objetivo a corto plazo que la contribución de las fuentes renovables alcance el 8% del consumo de energía nacional para fin del 2017. Y, como segundo objetivo a mediano plazo, cubrir el 20% del consumo de energía eléctrica del país hacia 2025.

# Anexo II

## Clases de coberturas arbóreas adoptadas por el FRA 2000

Clasificación propuesta por la FAO mediante el FRA 2000 (Evaluación de los Recursos Forestales al año 2000) adaptada a las características y particularidades de la Argentina, con los siguientes tipos de coberturas de la tierra:

**Cuadro 31.** Coberturas y definiciones FAO

Clase de cobertura de la tierra	Definición
Tierras forestales	Tierra con una cubierta de copa (o su grado equivalente de espesura) de más del 20% del área y una superficie superior a 10 ha. Los árboles deberían poder alcanzar una altura mínima de 7 m a su madurez <i>in situ</i> . Puede consistir en formaciones forestales cerradas, donde árboles de diversos tamaños y sotobosque cubren gran parte del terreno.
Otras tierras forestales	Tierras donde la cubierta de copa (o su grado de espesura equivalente) tiene entre 5 y 20% de árboles capaces de alcanzar una altura de 7 m a su madurez <i>in situ</i> ; o tierras con una cubierta de copa de más del 20% (o su grado de espesura equivalente) en la que los árboles no son capaces de alcanzar una altura de 7 m a su madurez <i>in situ</i> (árboles enanos o achicados); o aquellas donde la cubierta arbustiva abarca más del 20%.
Bosques rurales	Remanentes de bosque natural en un paisaje agrícola menores a 1000 ha.
Otras tierras	Tierras no clasificadas como forestales u otras tierras forestales (especificadas más arriba). Incluye tierras agrícolas, praderas naturales y artificiales, terrenos con construcciones, tierras improductivas.

Fuente: FAO (2010b).



**ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE  
DE BIOMASA CON FINES ENERGÉTICOS  
EN LA ARGENTINA**

---

**N.º 19**

**COLECCIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS**

---

**Organización de las Naciones Unidas  
para la Alimentación y la Agricultura (FAO)**

[www.fao.org](http://www.fao.org)

ISBN 978-92-5-132488-2



9 789251 324882

CA8764ES/1/05.20