



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

# ANÁLISIS ESPACIAL DEL BALANCE ENERGÉTICO DERIVADO DE BIOMASA

## METODOLOGÍA WISDOM

Provincia del Chaco

COLECCIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS

Nº 9



Ministerio de Energía  
Presidencia de la Nación



Ministerio de Agroindustria  
Presidencia de la Nación

# ANÁLISIS ESPACIAL DEL BALANCE ENERGÉTICO DERIVADO DE BIOMASA

## METODOLOGÍA WISDOM

Provincia del Chaco

---

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

---

#### Ministerio de Agroindustria

Luis Miguel Etchevehere  
Ministro de Agroindustria

Andrés Murchison  
Secretario de Alimentos y Bioeconomía

Miguel Almada  
Director de Bioenergía

#### Ministerio de Energía

Javier Iguacel  
Ministro de Energía

Sebastián A. Kind  
Subsecretario de Energías Renovables

Maximiliano Morrone  
Director Nacional de Promoción de Energías  
Renovables

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

Jorge Meza  
Oficial Forestal Principal  
Oficina Regional América Latina

Francisco Yofre  
Oficial de Programas  
Oficina Argentina

#### Autores

Carlos Alberto Derka  
Silvia Yanina Goytia  
Diego Alberto Bela  
Enrique Eleodoro Meza  
Lorena Soledad Pernochi  
Marcos Antonio Atanasio

#### Consultores FAO

Coordinación y supervisión técnica  
Celina Escartín  
Francisco Denaday  
Guillermo Parodi

Coordinación Colección  
Verónica González

Colaboración Colección  
Sofía Damasseno

Edición y corrección  
Alejandra Groba

Diseño e ilustraciones  
Mariana Piuma

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, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. 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 978-92-5-130899-8**

© FAO, 2018



Algunos derechos reservados. Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales.; <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 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 inglés será el texto autorizado".

Toda mediación relativa a las controversias que se deriven con respecto a la licencia se llevará a cabo de conformidad con las Reglas de Mediación de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI) en vigor.

**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).

Fotografía de portada: © INTA

FAO. 2018. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia del Chaco.* [Colección Documentos Técnicos N° 9]. Buenos Aires. 80 pp.  
Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

# ÍNDICE

<b>Prólogo</b>	<b>vii</b>	<b>5.4 Módulo de demanda</b>	<b>43</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>	5.4.1 Sector residencial	<b>45</b>
<b>Siglas y acrónimos</b>	<b>xi</b>	5.4.2 Sector industrial	<b>45</b>
<b>Unidades de medida</b>	<b>xii</b>	5.4.3 Escuelas rurales	<b>46</b>
<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>xiii</b>	<b>5.5 Módulo de integración de la oferta y la demanda</b>	<b>46</b>
<hr/>			
<b>1.</b>		<b>6.</b>	
<b>Introducción</b>	<b>1</b>	<b>Módulo de oferta de biomasa húmeda</b>	<b>53</b>
<b>Ejecución de los WISDOM provinciales</b>	<b>3</b>	6.1 <i>Feedlots</i> bovinos	<b>54</b>
<hr/>			
<b>2.</b>		6.2 Establecimientos porcinos	<b>55</b>
<b>Bioenergía</b>	<b>5</b>	<hr/>	
<hr/>			
<b>3.</b>		<b>7.</b>	
<b>Marco de referencia geográfico y ambiental</b>	<b>11</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>58</b>
<hr/>			
<b>4.</b>		<b>8.</b>	
<b>Sistemas bioenergéticos y metodología WISDOM</b>	<b>17</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>60</b>
<hr/>			
<b>5.</b>		<b>Bibliografía</b>	<b>62</b>
<b>Módulos y resultados del WISDOM Chaco</b>	<b>23</b>	<b>Anexo I. Marco normativo</b>	<b>64</b>
5.1 Unidad de análisis y resolución espacial	<b>23</b>	<hr/>	
5.2 Módulo de oferta directa	<b>23</b>		
5.2.1 Bosques nativos y otras formaciones leñosas	<b>24</b>		
5.2.2 Cultivos	<b>26</b>		
5.2.I Accesibilidad física	<b>34</b>		
5.2.II Accesibilidad legal	<b>35</b>		
5.2.III Accesibilidad total	<b>37</b>		
5.3 Módulo de oferta indirecta	<b>42</b>		
5.3.1 Desmotadoras de algodón	<b>42</b>		
5.3.2 Hornos de carbón	<b>42</b>		
5.3.3 Aserraderos	<b>42</b>		
5.3.4 Molinos arroceros	<b>43</b>		



## Cuadros

Cuadro 1	Clasificación de las fuentes de biocombustibles	7
Cuadro 2	Centrales eléctricas en Chaco: potencia nominal, generación de energía y consumo de combustible	9
Cuadro 3	Total de instalaciones/beneficiarios del PERMER Chaco	9
Cuadro 4	IMA considerado según cobertura de bosques y ecorregión geográfica	24
Cuadro 5	Extracción forestal por categorías de productos primarios	26
Cuadro 6	Oferta directa total por departamento	33
Cuadro 7	Coeficientes por tipo de red vial	34
Cuadro 8	Coeficientes asignados según categorías del OTBN	35
Cuadro 9	Coeficientes de restricción según áreas naturales protegidas	37
Cuadro 10	Valores estimados de oferta directa accesible	41
Cuadro 11	Clasificación de aserraderos	43
Cuadro 12	Oferta indirecta por departamento	44
Cuadro 13	Demanda de biomasa con fines energéticos, por sector y departamento	47
Cuadro 14	Balance total por departamento	50
Cuadro 15	Potencial de generación de biogás estimado por tipo de animal	55
Cuadro 16	Oferta potencial de biogás, por fuente y departamento	56

---

## Mapas

Mapa 1	Caracterización de la provincia según zonas productivas	15
Mapa 2	Clasificación Chaco húmedo y semiárido	25
Mapa 3	Oferta de bosques nativos y otras formaciones leñosas	27
Mapa 4	Oferta directa total por cultivo	29
Mapa 5	Oferta directa total por cultivo, zoom departamento de Bermejo	30
Mapa 6	Oferta directa total por cultivo, zoom zona central con forestaciones	31
Mapa 7	Oferta directa total	32
Mapa 8	Accesibilidad física	36
Mapa 9	Accesibilidad legal	38
Mapa 10	Accesibilidad total	39
Mapa 11	Oferta directa accesible	40
Mapa 12	Demanda total promediada	48
Mapa 13	Balance promedio focalizado	49
Mapa 14	Balance por radio censal	51
Mapa 15	Potencial de generación bioenergético por tipo de producción	57

---

## Gráficos

Gráfico 1	Composición de la oferta interna de energía primaria en la Argentina	8
Gráfico 2	Superficie productiva en Chaco, de 1969/70 a 2009/10	12
Gráfico 3	Superficie asignada por cultivos en Chaco, de 1969/70 a 2009/10	12
Gráfico 4	Porcentaje de cultivos en Chaco, promedio campañas 2005 a 2010	13
Gráfico 5	Modelo conceptual WISDOM Chaco	21



© INTA

---

# 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 contexto de crisis energética local e internacional. En este escenario, en 2015, la República Argentina promulgó la Ley 27191 –que modifica la Ley 26190–, con el objetivo de fomentar la participación de las fuentes renovables hasta que alcancen un 20% del consumo de energía eléctrica nacional en 2025, otorgando 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 de energía 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, ahorra muchísimo dinero en combustibles fósiles, moviliza inversiones y promueve el agregado de valor y nuevos negocios.

No obstante, aún existen algunas barreras 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, el Ministerio de Agroindustria (antes Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca) y el Ministerio de Energía (antes Secretaría de Energía) solicitaron asistencia técnica a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para formular y ejecutar el Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa – UTF/ARG/020/ARG (PROBIOMASA).

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 los estudios, investigaciones, manuales y recomendaciones elaborados por consultoras y consultores del Proyecto e instituciones parte, con el propósito de divulgar los conocimientos y resultados alcanzados y, de esta forma, contribuir al desarrollo de negocios y al diseño, formulación y ejecución de políticas públicas que promuevan el crecimiento del sector bioenergético en la Argentina.

---

---

# Agradecimientos

La elaboración de este informe ha sido posible gracias a la cooperación de organismos nacionales, en particular el Ministerio de Agroindustria, el Ministerio de Energía, la Dirección Nacional de Planificación Regional del Ministerio de Economía y Finanzas Públicas, el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).

También colaboraron en este trabajo algunas reparticiones provinciales: el Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (IIFA), la Dirección Provincial de Vialidad del Chaco, la Dirección de Bosques, y los ministerios de la Producción y de Infraestructura del Chaco. Asimismo, el Consejo Económico y Social (CONES) y las estaciones experimentales agropecuarias de Colonia Benítez, Las Breñas y Sáenz Peña.

Cabe un agradecimiento también a los directores del INTA Diana Piedra y Víctor Fabio Wys. Y a Guillermina Cuevas y Juan Ignacio Paracca por su cuidadosa revisión de este documento.







© INTA

---

# Siglas y acrónimos

ANP: Área Natural Protegida  
BAHRA: Base de Asentamientos Humanos de la República Argentina  
BEN: Balance Energético Nacional  
CEDETEMA: Centro de Desarrollo Tecnológico de la Industria de la Madera  
CNPHyV: Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas  
CONES: Consejo Económico y Social  
ENARSA: Energía Argentina SA  
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura  
IGN: Instituto Geográfico Nacional  
IIFA: Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias  
IMA: Incremento medio anual  
INDEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos  
INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
INTI: Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
MAGyP: ex Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación  
MDE: Modelo Digital de Elevaciones  
MEM: Mercado Eléctrico Mayorista  
MINEM: ex Ministerio de Energía y Minería  
OTBN: Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos  
PERMER: Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales  
RAC: Residuos agrícolas de cosecha  
RER: Relevamiento de Escuelas Rurales  
RSU: Residuos sólidos urbanos  
SA: Sociedad Anónima  
SADI: Sistema Argentino de Interconexión  
SENASA: Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria  
SIG: Sistema de Información Geográfica  
UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México  
UNNE: Universidad Nacional del Nordeste  
WISDOM: Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping



---

## Unidades de medida

ha: hectárea  
kcal: kilocaloría  
km<sup>2</sup>: kilómetro cuadrado  
kW: kilovatio  
l: litro  
m: metro  
mm: milímetro  
mm<sup>3</sup>: milímetro cúbico  
msnm: metros sobre el nivel del mar  
MWh: megavatio hora  
tep: tonelada/s equivalente/s de petróleo  
t: tonelada  
V: voltio

---

# Resumen ejecutivo

Este estudio tuvo como eje de trabajo identificar, localizar y cuantificar la disponibilidad y el consumo de los recursos biomásicos en la provincia del Chaco con el fin de promover el desarrollo de la energía renovable. En este sentido, se realizó un diagnóstico de la oferta y la demanda de combustibles derivados de la biomasa en el territorio, siguiendo criterios de sustentabilidad. Así se obtuvo un balance bioenergético a nivel provincial, que fue desagregado a nivel departamental y de radio censal.

En virtud de ello, se construyó una base de datos geoespacial con información brindada por diferentes organismos nacionales y provinciales, de carácter público y privado, y se conformó un grupo de trabajo del INTA del Centro Regional Chaco-Formosa, con el objetivo de gestionar la información obrante en las diversas instituciones para la implementación de la metodología WISDOM (*Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping*, Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles) y de institucionalizar el procedimiento de análisis espacial de los recursos biomásicos a través de la capacitación y transferencia metodológica a los expertos locales.

Las fuentes de oferta identificadas, localizadas y cuantificadas, en función de su origen, fueron las siguientes:

- Oferta directa: bosques nativos y otras formaciones leñosas (99,7%), cultivo de arroz (0,23%) y forestaciones (0,07%).
- Oferta indirecta: desmotadoras (45,76%), hornos de carbón (40,06%), residuos de la industria forestal (9,35%) y molinos arroceros (4,33%).

Con respecto al consumo de biomasa con fines energéticos, los sectores demandantes considerados fueron los hornos de carbón (80,40%), el sector residencial (17,02%), las ladrilleras (2,18%) y las escuelas rurales (0,38%).

En resumen, y teniendo en cuenta todos estos componentes, se estimó que la oferta directa provincial accesible, física y legalmente, es de 3 567 298 t/año, mientras que la oferta indirecta es de 421 248 t/año. En cuanto a la demanda actual, se estimó que es de 577 095 t/año. En consecuencia, el balance resultante entre la oferta potencial y el consumo actual estimado da un superávit de 3 411 451 t/año de recursos biomásicos con fines energéticos.

Para enriquecer el análisis espacial provincial, se calculó el potencial de energía a partir de fuentes de biomasa húmeda provenientes de actividades ganaderas intensivas (*feedlots* y cría de porcinos). La oferta potencial provincial es de 3 659,74 toneladas equivalentes de petróleo (tep) por año, conformada por los aportes de *feedlots* bovinos (772,42 tep/año) y la cría de porcinos (2 887,32 tep/año).

En conclusión, la provincia del Chaco tiene un gran potencial bioenergético, debido a que cuenta con una variedad y volumen significativos de fuentes de biomasa seca y húmeda que pueden ser aprovechadas para producir energía renovable. Este análisis espacial establece una base sólida a nivel provincial que permitirá avanzar en materia de estrategias bioenergéticas consistentes y precisas, y promover así la viabilidad de proyectos que utilicen energía derivada de biomasa.

---

# 1. INTRODUCCIÓN



---

---

**La metodología WISDOM permite presentar los resultados del análisis espacial del balance energético de un modo comprensible no sólo para especialistas, sino también para funcionarios y público en general.**

---

Durante las últimas décadas el sistema energético nacional, basado principalmente en el petróleo y sus derivados, ha evidenciado limitaciones tanto desde el punto de vista prospectivo como ambiental. En este sentido, las energías renovables generadas a partir de recursos biomásicos disponibles en todo el territorio nacional se presentan como una alternativa eficaz frente al contexto de crisis energética local e internacional.

En 2009, el gobierno de la República Argentina publicó, junto con la FAO, el *Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina – WISDOM Argentina* (FAO, 2009), en el que se estimó espacialmente la oferta y la demanda de biomasa con fines energéticos a escala nacional. Este trabajo constató que el país cuenta con abundantes cantidades de biomasa apta y disponible para uso energético.

La metodología WISDOM (Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles) fue desarrollada por la FAO, en cooperación con el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), como método para visualizar espacialmente las áreas prioritarias para el desarrollo de combustibles leñosos. Esta metodología está basada en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), tecnología que permite integrar y analizar información estadística y espa-

cial sobre la producción (oferta) y el consumo (demanda) de combustibles biomásicos.

Vale destacar que el análisis no se circunscribe exclusivamente a dendrocombustibles, es decir, leña, carbón vegetal, residuos forestales y de la industria forestal, sino que incorpora también bagazo, orujos, cascarillas, polvos procedentes de procesos agroindustriales, residuos agrícolas de cosecha (RAC) de cultivos como la caña de azúcar, tabaco, yerba, té, poda de frutales y otros, gracias a la flexibilidad de esta herramienta y la existencia de tecnología que permite convertir otras fuentes de biomasa en energía.

Además, se trata de una metodología que es accesible, fácil de aplicar y permite presentar los resultados del análisis espacial de manera comprensible no sólo para especialistas del sector, sino también para funcionarios y público en general.

Con el objetivo de realizar un análisis más abarcativo, se incorporó un módulo de oferta potencial de biomasa húmeda, es decir, la que contiene aproximadamente más de 60% de humedad y alto porcentaje de sólidos volátiles (principalmente azúcares y almidón), como los efluentes de jugue- ras, fábricas de almidón de mandioca, vinaza de los ingenios, establecimientos porcinos, tambos, mataderos, frigoríficos y otros.



Las utilidades de la metodología WISDOM 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, 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 en base al tipo de recurso y disponibilidad geográfica.

En el marco del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA), en una primera etapa se enfocó la aplicación de

la metodología WISDOM a escala provincial en Tucumán, Salta, La Pampa, Mendoza y Córdoba. Así, se recopiló y analizó la información existente y se generaron diagnósticos en esas provincias, lo que permitió alcanzar un mayor grado de certeza con vistas al planeamiento estratégico y operacional en el sector bioenergético.

En una segunda instancia, se firmó una Carta de Acuerdo con el INTA con el objetivo general de identificar, localizar y cuantificar la disponibilidad y el consumo de los recursos biomásicos en otras provincias: Buenos Aires, Chaco, Corrientes, Entre Ríos, Misiones y Santa Fe. Los objetivos específicos fueron:

- Implementar un sistema de información geográfica relacionado con la oferta y demanda de energía derivada de la biomasa de gestión provincial.
- Compendiar, homogeneizar y estandarizar la información digital obrante en INTA, el Proyecto y las provincias involucradas.
- Elaborar la cartografía necesaria para la aplicación del análisis espacial.
- Desarrollar aplicaciones para la actualización y mantenimiento del modelo de datos.

---

**Entre otras utilidades, la metodología WISDOM sirve para facilitar la formulación de políticas públicas, ofrecer información homogeneizada y actualizada del potencial de biomasa bajo aprovechamiento sustentable, y orientar investigaciones en tecnología de conversión energética.**

---

### Ejecución de los WISDOM provinciales

El análisis espacial de la oferta y la demanda de bioenergía en las provincias fue el resultado de un largo proceso interinstitucional que generó conocimiento y redes de trabajo, indispensables en la formulación de políticas públicas y para la promoción de proyectos que hagan uso de los recursos biomásicos con fines energéticos.

En el marco de la Carta de Acuerdo, cada Centro Regional del INTA organizó un equipo técnico local especializado para la aplicación de los modelos de análisis espacial, adaptando la metodología a la realidad productiva, energética y sociodemográfica provincial. Estos equipos fueron coordinados y asistidos técnicamente por miembros del Programa Nacional Agroindustria y Agregado de Valor del INTA (PNAYAV) y del Componente Fortalecimiento Institucional del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA).

En este contexto, en Chaco se desarrollaron reuniones de trabajo con referentes provinciales en materia bioenergética, tanto del sector público como privado, en las que se identificaron las principales actividades generadoras y consumidoras de biomasa con fines energéticos, así como las posibles fuentes de información para incorporar al WISDOM de la provincia.

En noviembre de 2016, los especialistas del equipo de Fortalecimiento Institucional del Proyecto dictaron en la ciudad de Resistencia (Chaco) el “Curso-Taller para la implementación de la metodología WISDOM en Chaco y Formosa”, con los objetivos de presentar la metodología de oferta y demanda de biomasa aplicada en Salta para replicar en aquellas provincias; capacitar a los participantes en la lógica y la estructura de la metodología WISDOM y el empleo de las aplicaciones Dinámica EGO, R y QGIS, y consensuar y programar las adaptaciones y mejoras en los modelos según las particularidades de Chaco y Formosa.

El curso tuvo una carga de 32 horas y asistieron 17 técnicos de organismos públicos, académicos y del ámbito privado de las Estaciones Experimentales de Sáenz Peña, Las Breñas, Colonia Benítez y El Colorado (Formosa); de la Subsecretaría de Energía del Chaco; del Centro de Gestión Ambiental y Ecología y de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE); de la Subsecretaría de Recursos Naturales del Chaco; del Departamento de Información Económica y Social del Ministerio de Hacienda y Finanzas del Chaco y del Ministerio de la Producción de Formosa.

Para cada elemento de los módulos se mencionó la posible fuente de información, su nivel de detalle y grado de actualización. Asimismo, en el grupo de trabajo se acordaron aquellos elementos que debían priorizarse en el modelo provincial y otros que sólo debían ser incorporados para estudios específicos, ya sea porque requieren relevamientos de campo complejos (y una búsqueda de información con más detalle de la que actualmente se dispone) o porque superan el nivel de detalle pretendido para un WISDOM a escala provincial.

Como resultado de este proceso, el grupo de trabajo del INTA del Centro Regional Chaco-Formosa desarrolló la versión final del WISDOM Chaco.

---

## 2. BIOENERGÍA

---



---

---

**La producción de bioenergías agrega valor a lo agropecuario, lo forestal y sus industrias; genera empleo; está disponible a nivel local, y convierte pasivos ambientales –como residuos y efluentes– en fuentes energéticas.**

---

El término bioenergía hace referencia a la energía generada a partir de combustibles biomásicos. Se considera biomasa toda la materia orgánica de origen vegetal o animal, 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 contemplarán 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 gran diversidad de materiales que comprende la bioenergía la convierte en una fuente versátil, a partir de la cual pueden obtenerse combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, utilizando procesos más o menos sofisticados y para diversas aplicaciones. Sin embargo, esta misma heterogeneidad genera un panorama complejo, que adquiere matices propios en función del contexto socio-cultural, 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 que tiene una alta dependencia geográfica. Esto hace que el costo de transporte constituya una parte significa-

tiva del costo de producción, que puede alcanzar entre 33 y 50% del total (Sultana y Kumar, 2012). Por ello, es indispensable conocer espacialmente la 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 moderno 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 sólo la dependencia de los combustibles fósiles en la matriz energética actual, sino también las externalidades negativas –ambientales, sociales y económicas– derivadas de su utilización.

En este sentido, el uso de bioenergías 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; los agrocombustibles se relacionan con la biomasa herbácea, de frutas y semillas, y la categoría de “varios/mezclas” corresponde a los subproductos de la actividad agropecuaria.

Con relación a su humedad, es posible clasificar la biomasa 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 es utilizada energéticamente mediante procesos termo-químicos o físico-químicos que generan energía térmica o productos secundarios en la forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Por otro lado, se designa “biomasa húmeda” a la que supera el 60% de humedad, que en su mayoría proviene de residuos animales y efluentes industriales tratados mediante procesos biológicos, de los que se obtienen principalmente combustibles gaseosos.

El uso de la bioenergía tiene significativa participación en la matriz energética mundial (10%), aunque la distribución difiere marcadamente entre las diferentes regiones del globo (IEA, 2009).

En la República Argentina, la composición de la matriz energética se caracteriza por una elevada dependencia de combustibles fósiles. Según las cifras del Balance Energético Nacional (BEN) de 2016, sobre un total de 80,06 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep), la biomasa representó aproximadamente el 6,10% de la oferta interna de energía primaria, y estuvo conformada por leña (1,04%), bagazo (1,04%), aceites vegetales (3,08%), alcoholes vegetales (0,58%) y otros subproductos primarios (0,36%), como cáscara de girasol, licor negro, marlo de maíz, cáscara de arroz y residuos pecuarios. Las energías hidráulica, nuclear, eólica y solar sumaron un 7,06% de la energía primaria del país. En tanto, los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) alcanzaron el 86,84%, lo que muestra el gran predominio que este tipo de fuentes tiene todavía (Gráfico 1).

En la provincia del Chaco existen grupos eléctricos de varias empresas a base de combustibles fósiles (Cuadro 2), pero también una gran oferta energética potencial a partir de fuentes renovables, como biomasa y solar, que podría desplazar parcialmente a las fuentes fósiles. Esto conllevaría un aporte importante a la sustentabilidad de las actividades productivas agropecuarias y agroindustriales y a la preservación del medio ambiente, además de poder satisfacer las necesidades de energía en los diferentes lugares de la provincia que actualmente no disponen de ella en cantidad y calidad suficiente.

Como se observa en el Cuadro 2, en Chaco la potencia nominal en 2015 fue de 115 378 kW, según el MINEM.

Con respecto a la energía solar, en 2001 la provincia suscribió un acuerdo con la Secretaría de Energía de la Nación para implementar el Proyecto de Energía Renovable en Mercados Rurales (PERMER), con el fin de suministrar energía eléctrica fuera del Sistema Argentino de Interconexión (SADI). En 2003, el PERMER realizó un estudio de mercado en la Zona I de la provincia (departamentos de General Güemes, Almirante Brown y Maipú) y, en 2004, el estudio tarifario, en la misma zona. Estos trabajos tuvieron la finalidad de determinar la caracterización del mercado, la cantidad de clientes para abastecer y su capacidad y disposición de pago por el servicio.

En septiembre de 2004 se inició la implementación del PERMER en la provincia, con la adquisición de 561 equipos fotovoltaicos completos, de los cuales 61 serían instalados en escuelas rurales. Ese año, el gobierno provincial acordó con la Cooperativa de Provisión de Servicios Públicos Norte Chaqueño Limitada la operación y mantenimiento de los sistemas instalados bajo ese proyecto. El Cuadro 3 muestra las instalaciones efectuadas al finalizar la primera etapa del PERMER, en diciembre de 2012.

En cuanto al desarrollo de proyectos bioenergéticos, cabe mencionar que, en la localidad de Presidencia de la Plaza, se encuentra instalada una planta gasificadora que produce energía a partir de biomasa proveniente de los residuos de los aserraderos (aserrín y costaneros), que fue realizada en forma conjunta entre el Municipio de esa

**Cuadro 1**

Clasificación de las fuentes de biocombustibles

**Fuente**

Adaptado en base a FAO (2004)

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)

localidad y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). La potencia generada favorecerá la generación eléctrica distribuida y la utilización de residuos de la industria forestal. En el proceso de gasificación, la biomasa se transforma en un gas que alimenta un motor a explosión, que arrastra un generador eléctrico de 380 voltios y 250 kilovatios.

En relación con los combustibles líquidos, en Chaco hay varios emprendimientos de obtención de aceites y biodiesel a partir de semillas oleaginosas (girasol, algodón, cártamo), para autoconsumo de productores agropecuarios y cooperativas. Además, en la localidad de Fontana existe un emprendimiento que fabrica plantas de biodiesel para producciones menores, que vende al resto del país y exporta.

En los últimos años, en Chaco se han concretado diferentes obras de infraestructura (rutas pavimentadas, escuelas secundarias rurales, tendidos eléctricos, parques industriales, red cloacal, acueductos) y se han proyectado otras (entre ellas, la ruta en el Impenetrable, una red de gas natural y el Segundo Acueducto). El desarrollo de la agroindustria en diferentes localidades del Chaco permite prever demandas específicas a las instituciones y organizaciones, tanto del Estado como privadas, especialmente en lo relacionado con la producción de bioenergía a partir de biomasa.

Resulta significativo destacar el crecimiento de las producciones ganaderas, que ha ocurrido, en muchos casos, sin una planificación previa sobre la disposición final de los residuos que gene-

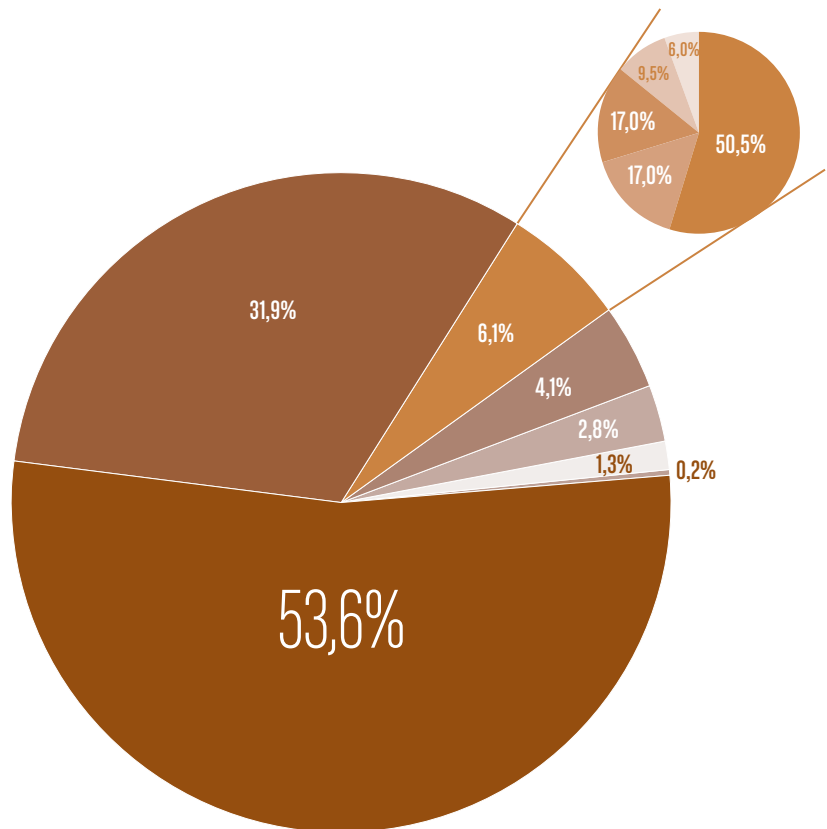
**Gráfico 1**

Composición de la oferta interna de energía primaria en la Argentina

**Fuente**

Ministerio de Energía (2016)

53,6%	Gas natural de pozo
31,9%	Petróleo
4,1%	Energía hidráulica
2,8%	Energía nuclear
1,3%	Carbón mineral
0,2%	Energía eólica
0,0%	Energía solar
6,1%	Bionergías
50,5%	Aceites vegetales
17,0%	Leña
17,0%	Bagazo
9,5%	Alcoholes vegetales
6,0%	Otros primarios



Total energía primaria 2016: 80,06 millones de tep.

ran. Estos deben ser gestionados correctamente para evitar perjudicar el ambiente y, a la vez, para aprovechar su energía potencial, especialmente la producción de biogás, que puede ser utilizado tanto como gas para calefaccionar las instalaciones como para la producción de energía eléctrica. Además, la aplicación de nutrientes mediante el uso de subproductos de origen animal como enmienda orgánica permite recuperar la fertilidad

de los suelos y aumentar la producción de los cultivos. Esto proporciona grandes beneficios tanto en lo económico y ambiental, ya que recupera y recicla nutrientes y materia orgánica cerrando ciclos y ahorra energía fósil y recursos naturales no renovables en la producción de nuevos abonos químicos, como agrícola, dado que mejora las propiedades físicas y la fertilidad de los suelos agrícolas (Sosa, 2015).

### Cuadro 2

Centrales eléctricas en Chaco: potencia nominal, generación de energía y consumo de combustible

#### Fuente

MINEM (2015)

Empresa	Central	Sistema	N° maq.	Potencia (kW)	Generación (MWh)	Gasoil (t)
Aggreko Argentina SRL	CT Juan José Castelli	MEM	18	15 000	64 207	14 209
	CT Sáenz Peña II	MEM	20	15 000	15 918	3 489
	CT Villa Ángela	MEM	18	15 000	20 372	4 496
APR Energy SRL	CT Sáenz Peña I	MEM	36	20 000	20 875	328
ENARSA	Nueva Pompeya	Aislado	5	4 000	16 328	4 831
	Presidente Roca	MEM	1	5 400	130	41
	San Martín	MEM	1	15 000	681	175
Secheep	Comandancia Frías	Aislado	4	578	1 060	5 715
Sullair Argentina SA	CT Charata	MEM	8	19 400	19 708	4 323
Turbodisel SA	CT Las Palmas	MEM	8	6 000	11 819	2 647
<b>Total</b>				<b>115 378</b>	<b>171 098</b>	<b>40 256</b>

### Cuadro 3

Total de instalaciones/beneficiarios del PERMER Chaco

#### Fuente

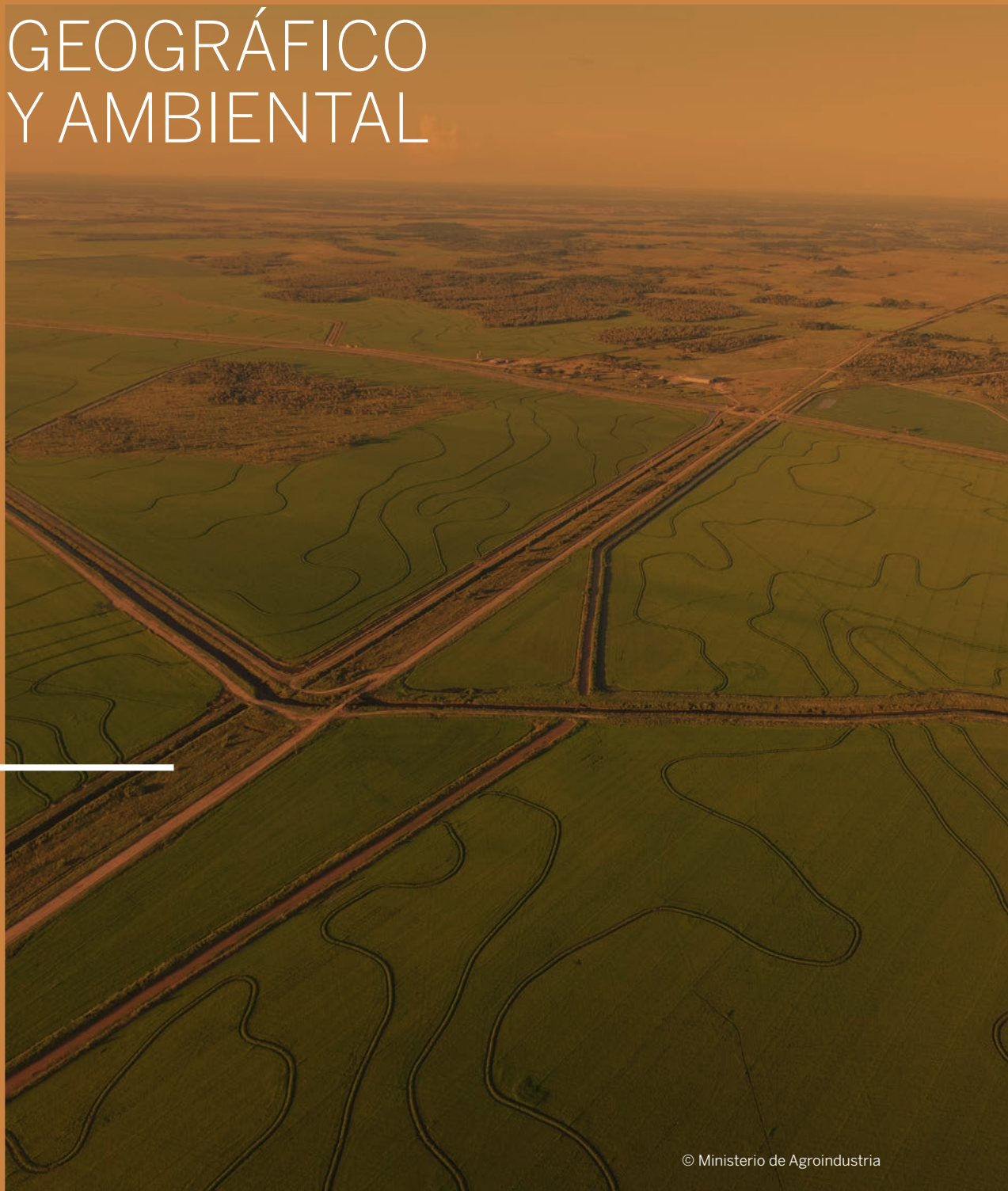
MINEM (2012)

Categoría	Cantidad de instalaciones/beneficiarios	Financiamiento			Inversión (US\$)
		PERMER	Ministerio de Educación de la Nación	Provincia	
Viviendas	3 680	6 669 996	-----	167 920	6 837 916
Escuelas	208	1 168 882	398 148	-----	1 567 030
<b>Total</b>					<b>8 404 946</b>



---

# 3. MARCO DE REFERENCIA GEOGRÁFICO Y AMBIENTAL



---

---

**Chaco tiene 10 millones de hectáreas, de las que casi la mitad está cubierta de bosques nativos, sobre todo en la zona semiárida. Prácticamente toda esta superficie puede ser utilizada bajo planes de manejo sostenible.**

---

Chaco tiene una superficie de 99 633 km<sup>2</sup>, se divide administrativamente en 25 departamentos y, de acuerdo con el Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda (CNPHyV), contaba con 1 055 259 habitantes en 2010 y una densidad poblacional de 10,6 habitantes por km<sup>2</sup> (INDEC, 2010).

En cuanto a la distribución de la población, existe una marcada concentración en los centros urbanos, principalmente, en el Gran Resistencia, aglomerado conformado por las ciudades de Resistencia, Barranqueras, Fontana y Puerto Vilelas. Allí, según el CNPHyV 2010, la población era de 385 726 habitantes (un 37% aproximadamente del total provincial), lo que convertía al Gran Resistencia en el 11.º conglomerado urbano de la Argentina y el más poblado de todo el Noreste argentino. Según la misma información censal, el 85% de la población era urbana y solo el 15% rural, que en 1991 representaba el 31% (CONES, 2010).

La superficie productiva del Chaco se ha duplicado holgadamente en los últimos 50 años. En el Gráfico 2 se puede apreciar que en la campaña 2009/10 se había incrementado 104% la superficie cultivable con respecto al ciclo 1969/70. Sin embargo, en la campaña 2006/07 fueron 1,7 millones de hectáreas (ha) las que se pusieron al servicio de la producción (173% más que el año de base), lo que da una noción de la capacidad potencial de producción que tiene la provincia.

A lo largo de las últimas cinco décadas, la superficie asignada a cada cultivo en la provincia ha ido variando. El cambio más notable es el crecimiento de la soja a partir de la campaña 1996/97. En prácticamente 25 años, la superficie de cultivo se ha incrementado hasta ocupar 545 000 hectáreas (más de 850%), con picos de 650 000 hectáreas (más de 1000%) en la campaña 2003/04. En cambio, el algodón cedió prácticamente la mitad de su superficie cultivable, unas 277 000 hectáreas, con respecto a la campaña de base.

El perfil productivo del Chaco se puede apreciar en el Gráfico 4: prácticamente, la mitad de la superficie destinada a la agricultura se destina a la soja; el resto se divide en partes iguales entre el girasol, el algodón y el combo sorgo/maíz. El trigo, arroz y cárcamo involucran superficies marginales. Actualmente el algodón, un cultivo emblema que llegó a representar el 60% de la producción primaria provincial, apenas concentra un 13 por ciento.

En Chaco, la soja se expandió desde los '90 en la mayoría de los departamentos, exceptuando algunos como Mayor José Luis Fontana, que mantuvo su perfil algodonero, o Gral. San Martín, que disminuyó su superficie agrícola.

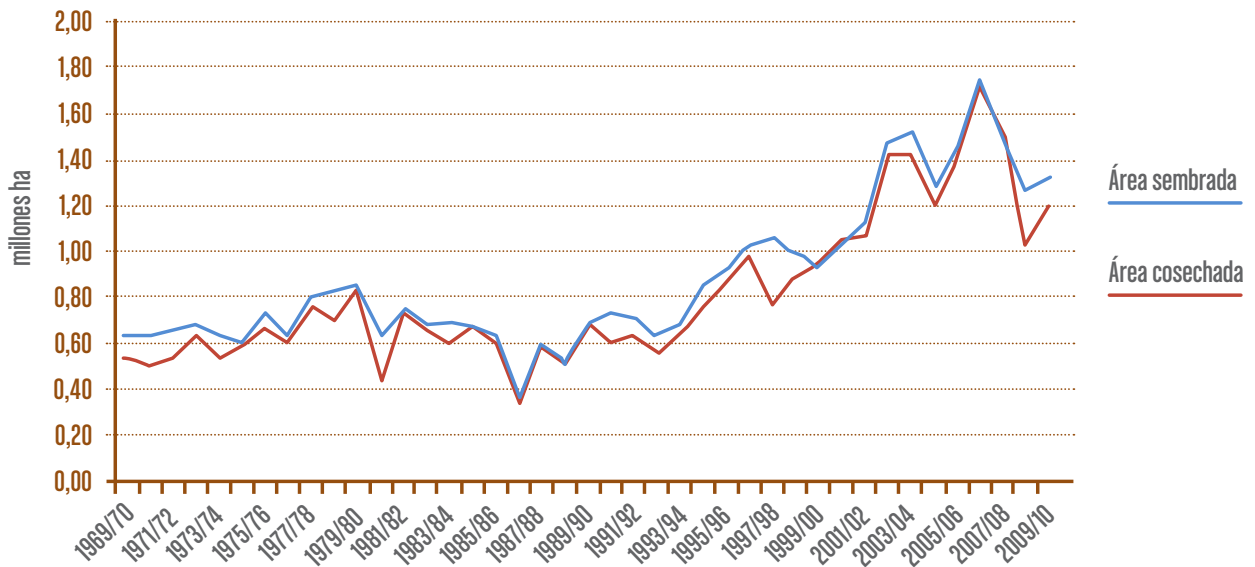
Los factores determinantes de las áreas productivas del Chaco son heterogéneos, y pueden combinarse criterios a los fines de diferenciar zonas preferentemente agrícolas, ganaderas,

**Gráfico 2**

Superficie productiva en Chaco, de 1969/70 a 2009/10

**Fuente**

Kozak Grassini *et al.* (2012)

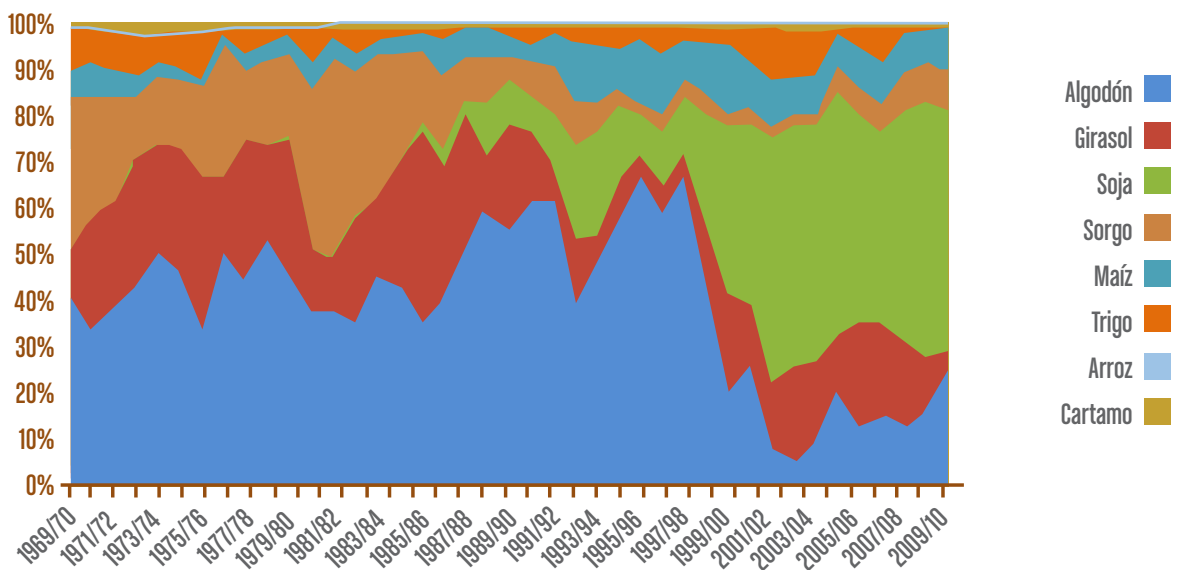


**Gráfico 3**

Superficie asignada por cultivos en Chaco, de 1969/70 a 2009/10

**Fuente**

Kozak Grassini *et al.* (2012)

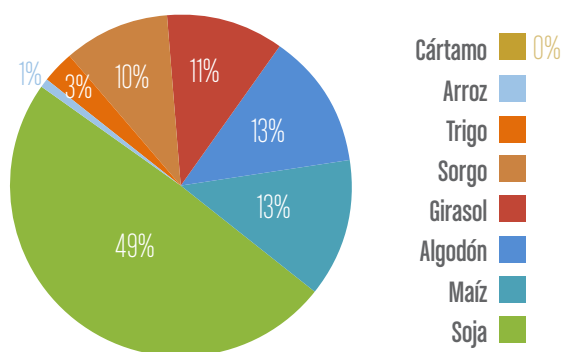


**Gráfico 4**

Porcentaje de cultivos en Chaco, promedio campañas 2005 a 2010

**Fuente**

Kozak Grassini *et al.* (2012)



Producción (t) promedio campañas 2005/2010								
	Algodón	Cártamo	Arroz	Girasol	Maíz	Soja	Sorgo	Trigo
Toneladas	357 007	4 232	36 378	313 812	355 098	1 383 523	269 164	95 563
<b>Total general</b>	<b>2 814 777</b>							

forestales o mixtas. De acuerdo con el último Censo agropecuario, de 2008, el 47,5% de las explotaciones en Chaco tiene superficies menores a 100 hectáreas, mientras que el 45% se ubica entre las 100 y 1000 hectáreas y sólo el 7,5% de los establecimientos las superan.

El área del centro de la provincia tiene una superficie considerable afectada a la explotación ganadera, con baja eficiencia productiva y un destete inferior al 50%; sin embargo, potencialmente se presenta como una gran productora de carne en volumen y calidad.

En cuanto a las formaciones arbóreas nativas, de los 10 millones de hectáreas de extensión de la provincia, aproximadamente el 50% (4,9 millones de hectáreas) todavía está cubierto con bosques nativos; 3,6 millones de hectáreas forman parte del Chaco semiárido y 1,3 millones del Chaco húmedo (Ministerio de la Producción, 2007). Esto muestra que existe una mayor concentración de la superficie boscosa en la zona semiárida, lo que brinda, al margen de los productos madereros, servicios ambientales como protección del suelo, flora y fauna, y fijación de carbono. Además, prácticamente la totalidad de esta superficie se encuentra en la categoría de mediano valor de conservación en el ordenamiento territorial de los bosques nativos, lo que indica que está sujeta a un manejo sostenible. Las principales problemáticas que afectan a los

bosques son la expansión agrícola, el mal manejo y la frecuencia de incendios, la predominancia de actividad extractiva y selectiva y la pérdida de la regeneración por sobrepastoreo.

En cuando a la disponibilidad de recursos biomásicos con fines energéticos, en Chaco se destacan, además de los bosques nativos (en el marco de planes de manejo aprobados y del aprovechamiento únicamente del incremento medio anual o IMA), los residuos o subproductos generados por el manejo de forestaciones y los de la cosecha de arroz. La provincia cuenta también con disponibilidad bioenergética proveniente de subproductos de la transformación primaria de materias primas, como los casos de las desmotadoras de algodón, los molinos arroceros y la industria forestal. Asimismo, dispone de importante cantidad de desechos provenientes de *feedlots* bovinos y establecimientos porcinos, con gran potencial para conversión en biogás.

Con relación al tabaco, si bien genera residuos utilizables para obtener energía, su producción no es significativa: en la campaña 2014/15 se sembraron 707 hectáreas, de las que se cosecharon 530 y se obtuvieron 881 978 kilogramos, con un rendimiento promedio de 1 663 por hectárea. La mayoría de la producción es de tabaco correntino/chaqueño (58% en el promedio histórico), seguido de tabaco Virginia (42%). Se cultiva, además, el tipo Burley (CONES, 2016).

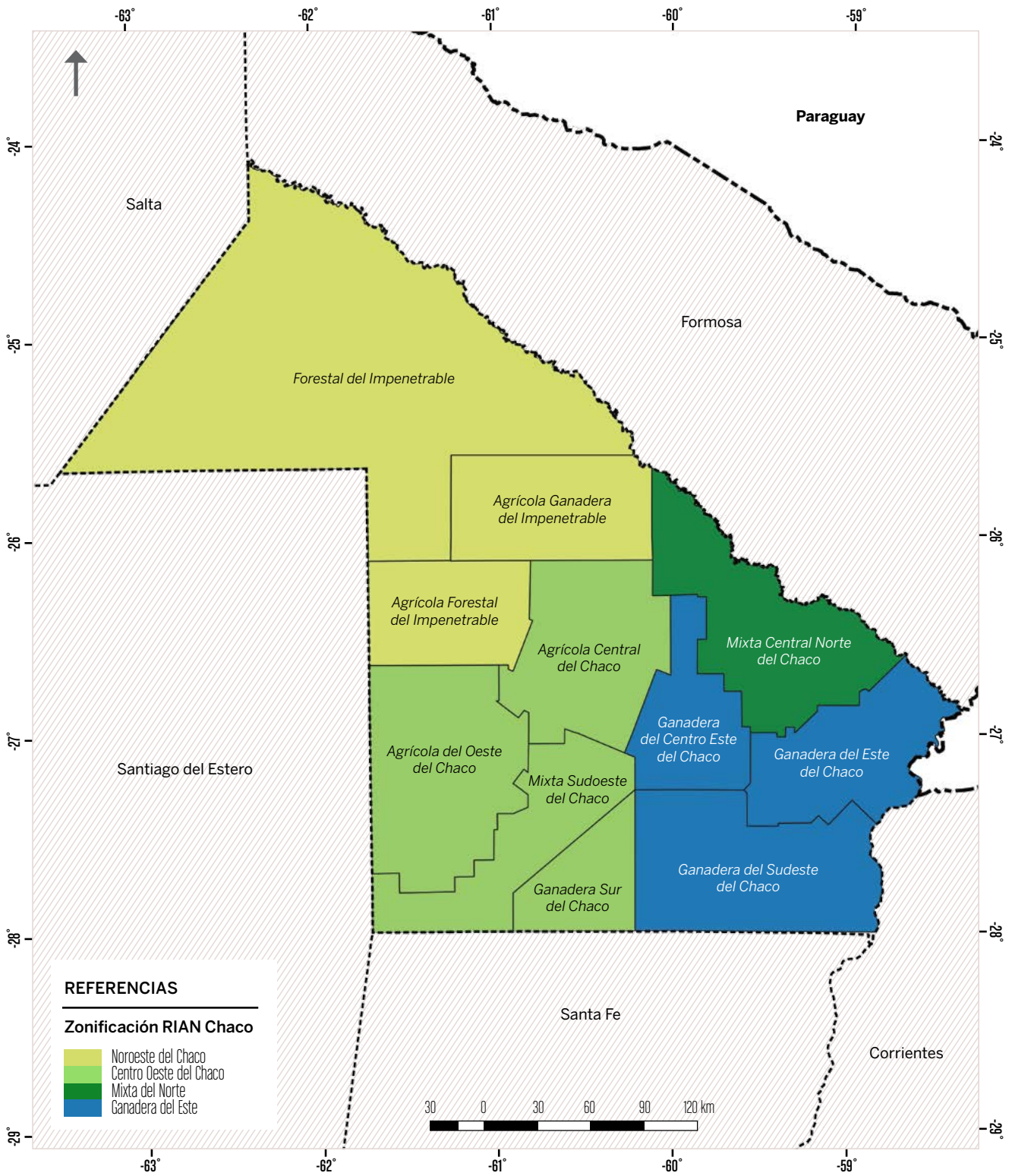


Con relación a las condiciones edafoclimáticas y ambientales, la Red de Información Agropecuaria Nacional (RIAN) del INTA ha elaborado una zonificación que refiere especialmente a las actividades productivas de la provincia, en base a factores que condicionan las características de la producción en cada zona: suelos, clima, temperatura, precipitaciones, etc. (RIAN, 2010). De acuerdo con las combinaciones de los diversos factores que condicionan los ambientes productivos pueden establecerse técnicamente áreas propicias para las diferentes actividades (agrícola, ganadera, forestal y otras), como se puede apreciar en el Mapa 1.

Las 11 zonas clasificadas son:

- Subzona forestal del Impenetrable: tiene suelos de uso predominantemente ganadero o marginal para agricultura. La ganadería se realiza en pastoreo, principalmente en bosques y monte; más del 80% de las explotaciones tiene ganado caprino.
- Subzona agrícola forestal del Impenetrable: tiene buenas características edáficas, que requieren manejos con aplicación de tecnología para mantener la sustentabilidad y rentabilidad. Hay gran afluencia de productores de otras provincias y empresas inversoras dedicadas a la actividad agropecuaria. Es una de las principales zonas forestales, debido a la gran influencia que tuvo el desmonte en el aprovechamiento de la madera, con productos como rollos, postes, leña y carbón, especialmente de quebracho colorado, quebracho blanco, itín y guayacán, entre otros.
- Subzona agrícola ganadera del Impenetrable: tiene baja disponibilidad relativa de suelos con aptitud agrícola.
- Subzona agrícola del oeste del Chaco: la agricultura tiene mucha importancia en el uso actual de los suelos. Concentra el 55,7% del área sembrada con oleaginosas (la mayor participación en la producción agrícola de la provincia). La ganadería constituye la segunda actividad en importancia en cuanto al uso del suelo. Más de la mitad de las explotaciones tiene ganado caprino, y también es importante la presencia de ganado porcino. La actividad forestal es relevante en los departamentos de 12 de Octubre, 9 de Julio y General Belgrano.
- Subzona mixta del oeste chaqueño: tiene suelos de aptitud agrícola, agrícola-ganadera o ganadera. Está poblada principalmente por productores chaqueños con hábitos de labranza convencional. Es la subzona con la mayor diversidad productiva de la provincia. La producción ganadera es en gran medida de cría extensiva.
- Subzona ganadera del sur del Chaco: tiene suelos de aptitud agrícola-ganadera (en el oeste) y ganadera (en el este).
- Subzona agrícola central del Chaco: la ganadería se realiza en pastoreo en bosques y montes. Las explotaciones en general no cuentan con tractor ni tienen fuentes de agua artificial, ni instalaciones básicas ganaderas. Más de la mitad de los productores ha cultivado algodón. El segundo cultivo en importancia es el maíz.
- Subzona ganadera del centro este del Chaco: tiene más del 80% de la superficie dedicada a la actividad ganadera, en áreas de campos bajos, donde el manejo del agua en superficie resulta un factor importante para asegurar una adecuada oferta forrajera durante el año. El ganado pastorea en su mayoría en pastizales naturales. Casi el 50% de los productores tiene ganado caprino. En el área agrícola, las oleaginosas tienen la mayor participación, seguidas de cultivos industriales (algodón) y cereales.
- Subzona ganadera del sudeste del Chaco: la mayoría de los suelos tienen aptitud de uso ganadero. El ganado pastorea principalmente en pastizales naturales en campos altos y bajos. La mitad de los ganaderos tiene ganado caprino.
- Subzona ganadera del este del Chaco: tiene una gran diversidad edáfica, gran cantidad de predios con suelos aptos para agricultura que son subexplotados con ganadería extensiva y baja incorporación de tecnología. El principal recurso alimenticio del ganado son los pastizales naturales. Las explotaciones minifundistas cultivan algodón y han incorporado sementeras bajas y otras actividades, como apicultura, avicultura y producción porcina.
- Subzona mixta central norte del Chaco: predomina la actividad agrícola, y el resto del área es de aptitud ganadera, forestal o aprovechada para cultivos especiales, como el arroz. La ganadería constituye la actividad de mayor importancia en el uso del suelo. La región concentra el 13,8% del rodeo bovino provincial.

**Mapa 1.** Caracterización de la provincia según zonas productivas  
**Fuente.** RIAN (2010)



---

# 4. SISTEMAS BIOENERGÉTICOS Y METODOLOGÍA WISDOM



---

---

**Aunque la metodología WISDOM al principio consideraba solo la biomasa de bosques nativos, forestaciones y la industria forestal, actualmente incluye otros tipos no leñosos, como residuos agrícolas y agroindustriales.**

---

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, de la distribución y del consumo de combustibles biomásicos.

De acuerdo con estudios locales y nacionales, una particularidad de los sistemas bioenergéticos es su carácter heterogéneo, que se evidencia en ciertas 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 la compara con centros altamente concentrados 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, la necesidad de comprender los sistemas bioenergéticos en diferentes escalas, poniendo énfasis en los estudios sitio-específicos.
- *Heterogeneidad en las fuentes de oferta de biomasa*: abarca forestaciones implantadas o sistemas de silvicultura de corta rotación, el incremento medio anual (IMA), residuos agrícolas de cosecha, la poda de frutales, 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, existen grandes consumidores industriales que producen energía para su propia producción y 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 diferentes recursos biomásicos con fines energéticos, históricamente se ha destacado la leña, ya que ha sido la primera fuente en brindar usos tales como la cocción y la calefacción, necesarios para la alimentación y la protección frente a las inclemencias climáticas. Debido a que aún existen regiones no abastecidas por fuentes modernas de distribución comercial, como la electricidad, los combustibles fósiles o las tecnologías alternativas, el uso tradicional de la leña continúa constituyendo un elemento vital para la satisfacción de necesidades energéticas diarias de más de 2 000 millones de personas en los países en desarrollo (FAO, 2010).

Asimismo, un aspecto crítico de los sistemas bioenergéticos, 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 que deben ser transportados generen altos costos logísticos y, por ello, es importante contemplar su accesibilidad.

Como consecuencia de las diversas características mencionadas, y dada la complejidad de la generación de energía a partir de biomasa, surgió la necesidad de contar con herramientas metodo-

lógicas que sirvan de apoyo para aunar políticas energéticas, forestales y agropecuarias que generen 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 entre ellos.

Si bien la metodología WISDOM presentaba inicialmente un enfoque que sólo contemplaba la evaluación de la biomasa leñosa proveniente de los bosques nativos, de las forestaciones y de la industria forestal, la misma ha sido ampliada para considerar otros tipos de biomasa no leñosa, como los residuos y subproductos agrícolas y los agroindustriales. Esta versión "extendida" es la que se utilizó para realizar el WISDOM Argentina (FAO, 2009).

Un componente innovador en el WISDOM Chaco es el Módulo de Oferta de Biomasa Húmeda, que estima el potencial productivo de biogás en toneladas equivalentes de petróleo (tep) para establecimientos bovinos (*feedlots*) y porcinos.

El Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles es una metodología que se apoya en una plataforma SIG, donde se integran datos, estadísticas e información procedentes de múltiples ámbitos y se los dispone espacialmente. Al no presentar una estructura rígida ni utilizar un software predeterminado, esta metodología permite un alto grado de flexibilidad y adaptabilidad frente a la heterogeneidad y fragmentación de los datos e información disponibles sobre producción y 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 alcanzar 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 en las que resulte necesario potenciar las plantaciones con fines energéticos (FAO, 2009).

---

**Apoiada en sistemas de información geográfica (SIG), la metodología WISDOM integra y dispone espacialmente datos y estadísticas de múltiples ámbitos, lo que permite observar el contexto completo y detectar zonas de oferta sustentable de biomasa y sitios de consumo específicos.**

---

Para realizar el análisis espacial integrado de oferta y demanda de biomasa con fines energéticos del Chaco, se utilizaron diversas aplicaciones 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 geográficas vectoriales (*shapes*) convirtiendo a formato ráster las que no lo estaban, y para homogeneizar y estandarizar la base de datos completa<sup>1</sup>; el Quantum Gis se empleó para editar archivos vectoriales, enmascarar y recortar las capas ráster y producir los mapas temáticos presentados en este informe; por último, el Dinamica EGO se utilizó para integrar la información y para realizar todo el análisis espacial a través de sucesivos modelos.

De esta manera, en concordancia con el WISDOM Argentina, la aplicación de la metodología de análisis WISDOM para representar el balance de la oferta y demanda de biomasa con fines energéticos a nivel provincial implicó cuatro pasos analíticos principales:

1. Definición de la unidad administrativa/espacial mínima de análisis.
2. Desarrollo del módulo de oferta.
3. Desarrollo del módulo de demanda.
4. Desarrollo del módulo de integración.

Adicionalmente, se desarrolló un quinto módulo sobre oferta de biomasa húmeda.

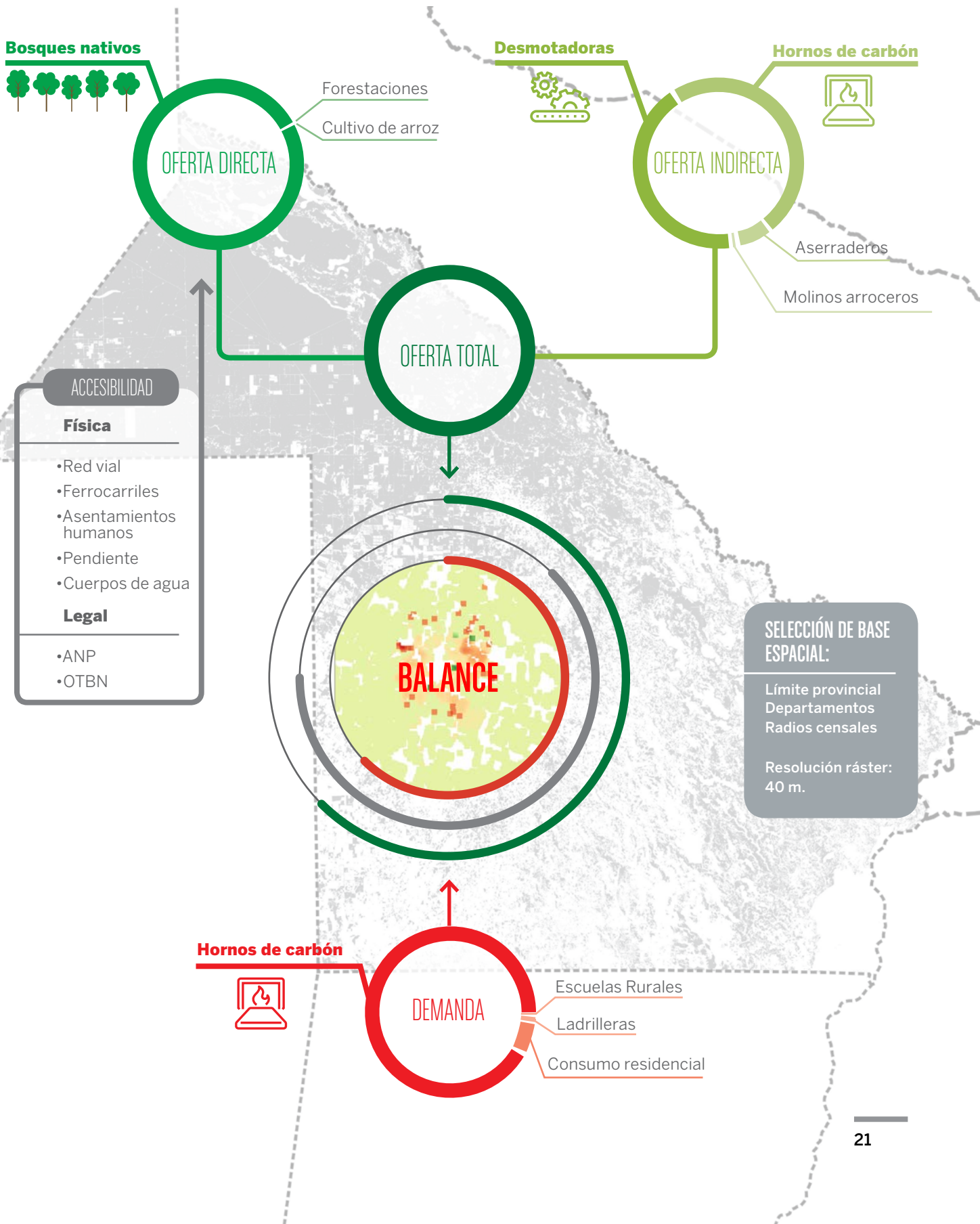
En el Gráfico 5 se muestran de manera ilustrativa los módulos y las principales capas utilizadas.

---

<sup>1</sup> Esto se realiza para que todos los ráster con los que opere el *Dinámica EGO* tengan la misma extensión y tamaño de celda, el mismo número de filas y columnas y también, que las celdas de las diferentes capas coincidan en el espacio.



**Gráfico 5.** Modelo conceptual WISDOM Chaco  
**Fuente.** Elaborado por los autores





---

# 5. MÓDULOS Y RESULTADOS DEL WISDOM CHACO

- 
- 5.1 Unidad de análisis y resolución espacial
  - 5.2 Módulo de oferta directa
  - 5.3 Módulo de oferta indirecta
  - 5.4 Módulo de demanda
  - 5.5 Módulo de integración de la oferta y la demanda

---

---

**En el caso del Chaco, se consideraron como fuentes directas de biomasa el incremento medio anual (IMA) de los bosques nativos y otras formaciones leñosas, y los residuos del cultivo de arroz y de las actividades forestales.**

---

La metodología de análisis espacial WISDOM se aplicó en la provincia del Chaco con el objetivo de calcular el balance de energía derivada de biomasa. De esta manera, y siguiendo el mismo procedimiento que el ejecutado en la elaboración del WISDOM Argentina (FAO, 2009), se desarrollaron los principales pasos analíticos, que son explicados a continuación.

### **5.1 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 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 25 departamentos con 1484 radios censales.

En cuanto a la unidad de análisis ráster, la resolución espacial empleada fue de 40 m (0,16 ha), lo que mejora el nivel de detalle del WISDOM Argentina, donde 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 0,16, que representa la superficie en hectáreas de cada píxel.

El sistema de coordenadas empleado fue Gauss Krüger Faja 6 POSGAR 94 WGS84. El límite provincial se confeccionó a partir de los límites de los radios censales correspondientes a la cartografía del CNPhyV 2010.

### **5.2 Módulo de oferta directa**

Se entiende por oferta directa la biomasa que se encuentra en campo. Una de sus características es la dispersión territorial. Para el desarrollo de este módulo en la provincia del Chaco se introdujeron y analizaron las coberturas correspondientes a los bosques nativos, las forestaciones y los cultivos de arroz, con el objetivo de calcular la disponibilidad de recursos biomásicos.

En relación con los cultivos agrícolas extensivos relevados en la provincia, como soja, maíz, algodón, sorgo, trigo o girasol, los residuos de cosecha no han sido considerados para usos energéticos debido a que, por un lado, bajo la práctica del sistema de siembra directa los residuos se mantienen sobre el suelo para conservar su fertilidad y



estructura, mientras que, por otro lado, se destruye el rastrojo para evitar la propagación del picudo del algodnero (el SENASA obliga al productor, mediante la Resolución 74/2010, a destruir los rastrosjos del algodón en Chaco).

### 5.2.1 Bosques nativos y otras formaciones leñosas

El uso dendroenergético del bosque nativo se contempló bajo amplias consideraciones de sustentabilidad, entre las que se destacan el Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos<sup>2</sup> (OTBN) y el cálculo de biomasa disponible teniendo en cuenta únicamente el crecimiento anual de los bosques, con el fin de evitar extraer más de lo que crece.

Para conocer la superficie de bosques nativos, se recurrió a la capa correspondiente al Inventario de Bosques Nativos de la Provincia del Chaco, otorgada por la Dirección de Bosques del Ministerio de la Producción provincial. Dicha cobertura contiene información relevada hasta 2011.

Los valores de incremento medio anual (IMA) adoptados son los presentados en el Manual de Manejo Forestal de los Bosques Nativos del Chaco (Ministerio de la Producción, 2007). Para mejorar la precisión del análisis evitando distribuir los valores de IMA de manera homogénea en cada estrato, estos se asignaron utilizando las capas de cobertura arbórea Tree Cover, Loss y Gain<sup>3</sup> generadas por Hansen *et al.* (2013). Esta distribución se realizó bajo la consideración de que el IMA aplicado representa valores medios de cobertura arbórea. La capa Tree Cover contiene estimaciones del porcentaje de cobertura de la vegetación leñosa mayor a 5 metros de altura respecto de cada píxel de 30 metros de terreno horizontal, en 2000. Esta capa fue actualizada con la pérdida anual de cobertura

arbórea hasta 2015 mediante la capa Loss, mientras que la regeneración del bosque (reclutamiento), en el mismo período, se incorporó con la capa Gain, también de 2015.

En función de los IMA adoptados, ya que corresponden a determinada cobertura boscosa según en qué ecorregión se encuentren (Chaco húmedo o Chaco semiárido), se separaron los bosques según la clasificación de Burkart *et al.* (1999) y actualizaciones de Brown y Pacheco (2005), tal como se observa en el Mapa 2. En el Cuadro 4 se observan los valores de IMA utilizados para cada clase de cobertura de bosques. El valor de IMA<sub>tc</sub> (IMA donde hay Tree Cover) se utilizó exclusivamente en las zonas en las que la capa de bosques nativos y la capa Tree Cover tienen valores, y el IMA<sub>min</sub> se aplicó en aquellas zonas en las que la cobertura de bosques existe pero no hay valores de Tree Cover, es decir, se identificó cobertura leñosa pero que no supera los 5 metros de altura.

Adicionalmente, se consideró una tercera situación que corresponde a áreas donde se detecta la existencia de cobertura arbórea a través de la capa Tree Cover por fuera de las clases de bosques del Inventario de Bosques Nativos de la Provincia del Chaco. Se trata, en general, de superficies pequeñas de bosque, inmersas en una matriz agrícola o urbana, como pueden ser pequeños parches dispersos de bosque nativo, cascos rurales o cortinas forestales. A estas superficies se les asignó un IMA

#### Cuadro 4

IMA considerado según cobertura de bosques y ecorregión geográfica

#### Fuente

Adaptado del Ministerio de la Producción (2007)

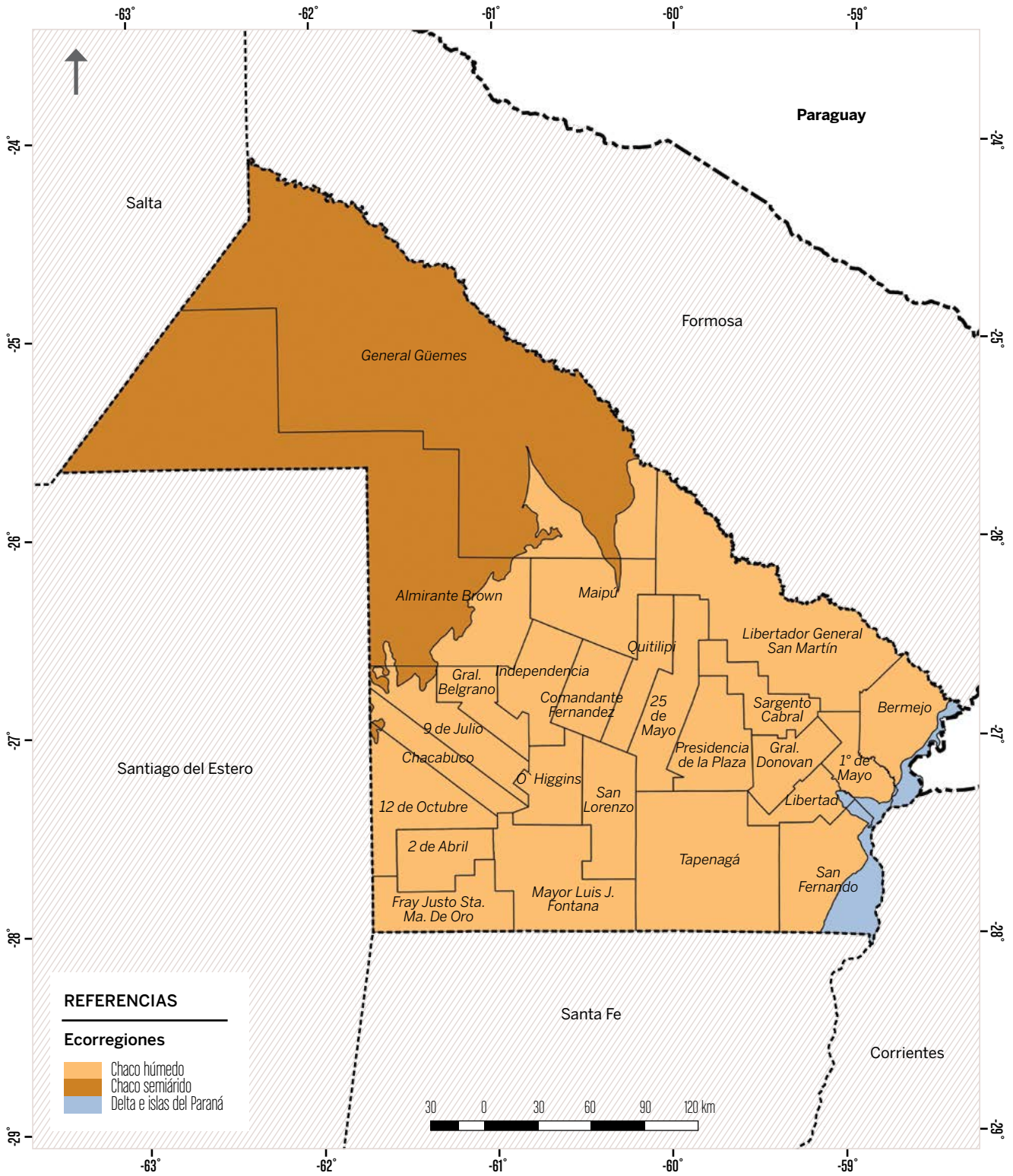
Ecorregión	IMA <sub>tc</sub> (t/ha)	IMA <sub>min</sub> (t/ha)
Chaco húmedo	3	2
Chaco semiárido	1,5	1

<sup>2</sup> Determina áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad, según la Ley 26331 de Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos (Anexo I).

<sup>3</sup> La información de esta capa fue generada a partir de una colección de imágenes Landsat del año 2000, realizada por el Departamento de Ciencias Geográficas de la Universidad de Maryland y la NASA (Hansen *et al.*, 2013). El producto deriva de las siete bandas de los satélites *Landsat-5 Thematic Mapper (TM)* y/o *Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)*.

**Mapa 2.** Clasificación Chaco húmedo y semiárido

**Fuente.** Burkart *et al.* (1999) y actualizaciones de Brown y Pacheco (2005)





de 1 t/ha/año en base a las sugerencias de los ingenieros forestales del INTA EEA Sáenz Peña.

Para no generar conflictos con otros usos maderables de los bosques se dedujeron del mapa de IMA los volúmenes correspondientes a las extracciones registradas por las Estadísticas Forestales 2015 (Dirección de Bosques, 2015). En el Cuadro 5 se muestran los productos extraídos ese año. La producción primaria está compuesta por rollos, rollizos, leña y postes. Los departamentos con mayor extracción son Almirante Brown (44,2%), General Güemes (12,4%) y Maipú (9,5%).

Finalmente, se afectó el valor de IMA por un factor de fracción dendroenergética para contemplar un porcentaje de la biomasa que cumpla las funciones de protección del suelo, como una práctica de manejo sustentable. Se adoptaron dos factores, uno para formaciones densas (0,88) y otro para formaciones abiertas (0,83) (FAO, 2009).

En el Mapa 3 se presenta el resultado de la estimación del IMA disponible de bosque nativo y otras formaciones leñosas con fines energéticos. Como puede observarse, los valores en los departamentos del noroeste son los que presentan menor disponibilidad de biomasa para fines energéticos, posiblemente debido a que las extracciones forestales que están ocurriendo en esas zonas

sean superiores al incremento de crecimiento de los bosques. Como es de esperar, en los centros poblados, en las áreas de cultivos y en los bajos submeridionales no se registraron valores.

### 5.2.2 Cultivos

#### Cultivo de arroz

En Chaco se han sembrado unas 6 000 ha de arroz durante las campañas 2014/15 y 2015/16, con una producción de 37 200 y 34 800 t, respectivamente. En cambio, en la campaña 2016/17 se sembraron más de 4 000 ha y se produjeron 24 800 t, con un rinde promedio de 6 200 kg/ha (Ministerio de Agroindustria, 2017).

Los lotes de arroz fueron digitalizados por el INTA, aprovechando la concentración espacial del cultivo en el departamento de Bermejo, a través de interpretación visual de imágenes de alta resolución (Image 2016 DigitalGlobe). De esta manera, se logró detectar alrededor de 4 600 ha cultivadas.

El volumen que se genera de rastrojo de arroz es muy atractivo para emplearlo como bioenergía. Se consideró que la biomasa potencialmente disponible del cultivo de arroz es de 4 t/ha/año, según referentes del cultivo en la zona.

Así, los resultados del análisis arrojaron una estimación de 18 212,92 t/año de residuos totales provenientes de los cultivos de arroz.

#### Forestaciones

Las actividades de poda, despunte y raleo de las plantaciones forestales representan una oferta importante de biomasa utilizable con fines energéticos. Para la determinación del volumen del rodal es necesario conocer su ubicación y superficie. Además, para su cuantificación se requiere que la superficie del rodal esté acompañada de otros atributos, como edad, especie, densidad y, si es posible, diámetro cuadrático medio. Para determinar la ubicación y superficie de esta fuente biomásica se utilizó la información espacial brindada por la Subsecretaría de Desarrollo Forestoindustrial del Ministerio de Agroindustria de la Nación, que da cuenta de 2 285 ha distribuidas en toda la provincia.

En Chaco, las plantaciones forestales se encuentran en estado inicial (muy pocas alcanzan la

### Cuadro 5

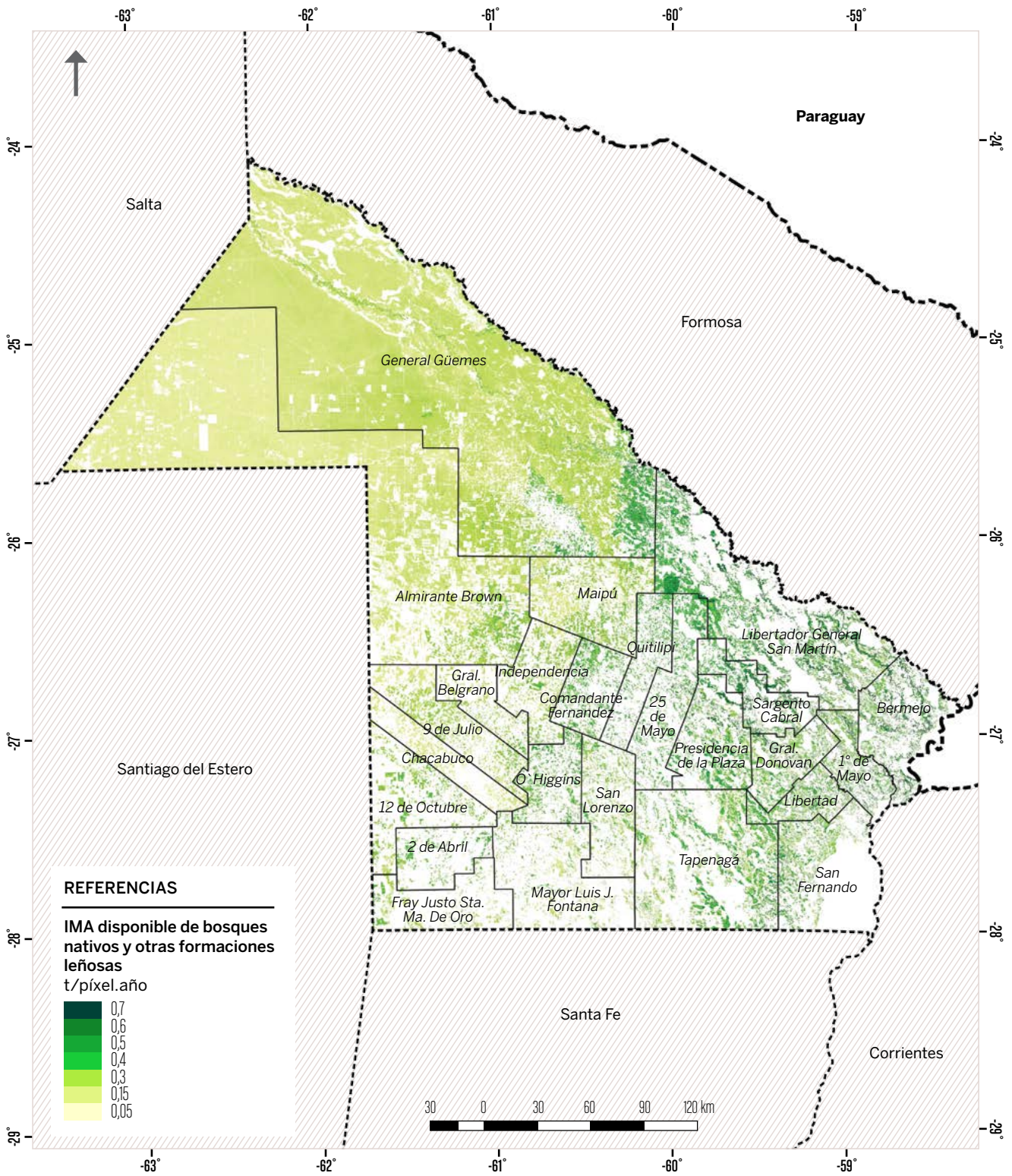
Extracción forestal por categorías de productos primarios

#### Fuente

Dirección de Bosques (2015)

Producto	Toneladas
Rollos	244 434
Rollizos	152 208
Leña	714 278
Postes	10 264
<b>Total</b>	<b>1 121 188</b>

**Mapa 3.** Oferta de bosques nativos y otras formaciones leñosas  
**Fuente.** Elaborado por los autores



---

**Con más de 7,7 millones de toneladas anuales, los bosques nativos y otras formaciones leñosas representan el 99,6% de la oferta directa de biomasa para energía del Chaco. Sin embargo, al contemplar los parámetros de accesibilidad física y legal, ese volumen se reduce a menos de la mitad.**

---

edad de 20-25 años). La principal especie utilizada es nativa, el algarrobo blanco (*Prosopis alba*). Esta especie está en proceso de domesticación, por lo que las cuestiones relacionadas con genética, crecimiento, sitio y tratamientos silviculturales están siendo investigadas y evaluadas con diferentes grados de avance. Para estimar el IMA de las forestaciones en Chaco, existe bibliografía en la que se diferencia cada ecorregión (MAGyP, 2015; Kees *et al.*, 2015). Con estos datos, para el cálculo de oferta de biomasa a partir del aprovechamiento forestal se empleó un valor de IMA de 3,5 t/ha/año para la ecorregión del Chaco húmedo y de 2 t/ha/año para la ecorregión del Chaco semiárido.

De esta manera, la oferta directa total estimada de recursos biomásicos con fines energéticos proveniente de las forestaciones es de 5170 t/año.

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

De acuerdo con lo descrito más arriba, se integraron los resultados de las estimaciones de residuos pasibles de aprovechamiento energético correspondientes a los cultivos de arroz y forestaciones, como muestra el Mapa 4.

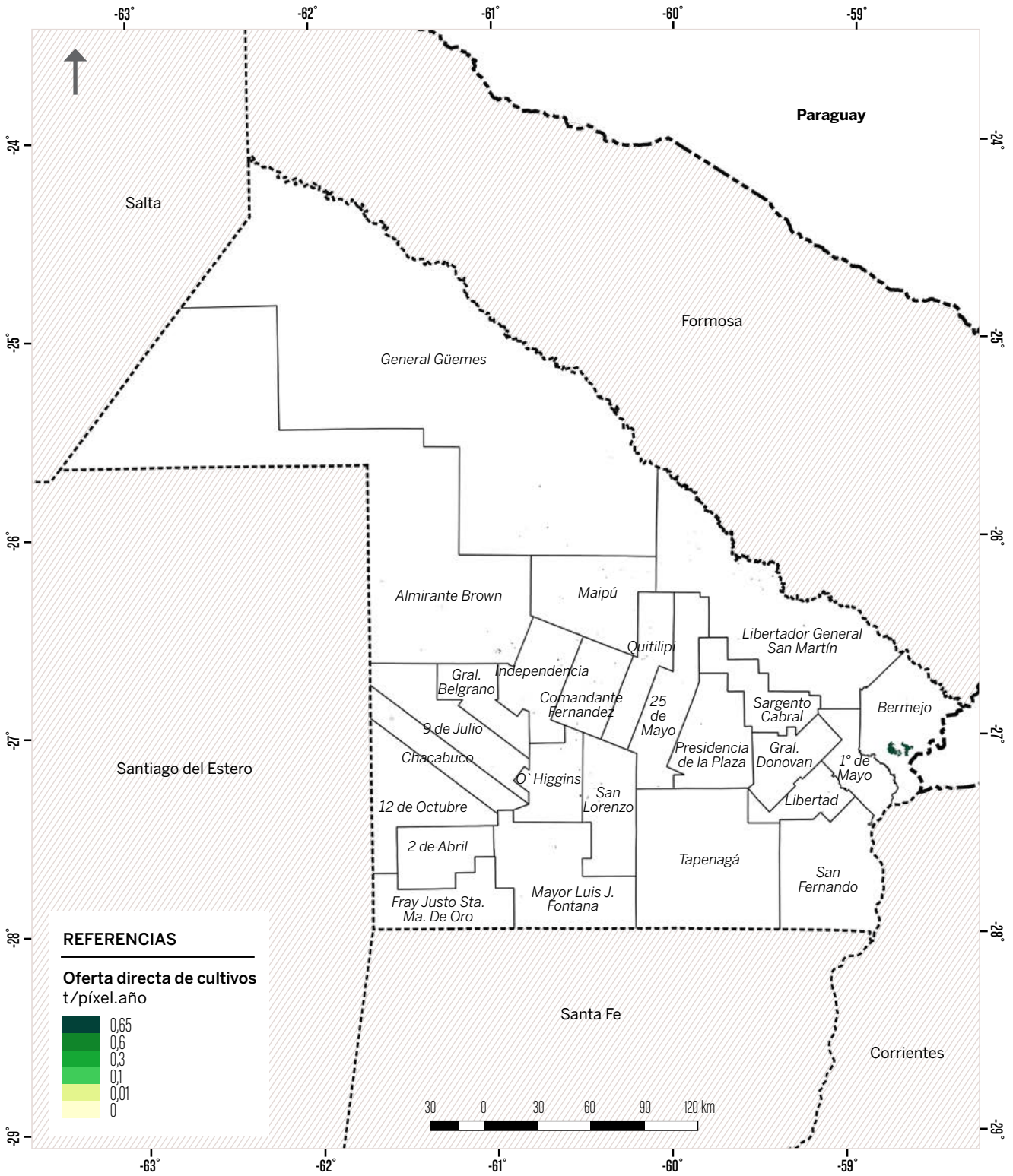
Como puede apreciarse, el departamento de Bermejo, al este del territorio provincial, es el que representa la mayor oferta de biomasa a partir de cultivos debido al arroz. El Mapa 5 permite una mejor visualización de la distribución del cultivo.

También la zona central de la provincia presenta una pequeña oferta de biomasa (Mapa 6) debido a las forestaciones que se encuentran distribuidas sobre gran parte del territorio. Lamentablemente,

como consecuencia de la escala utilizada, es difícil observar la distribución y el correspondiente volumen de biomasa estimado.

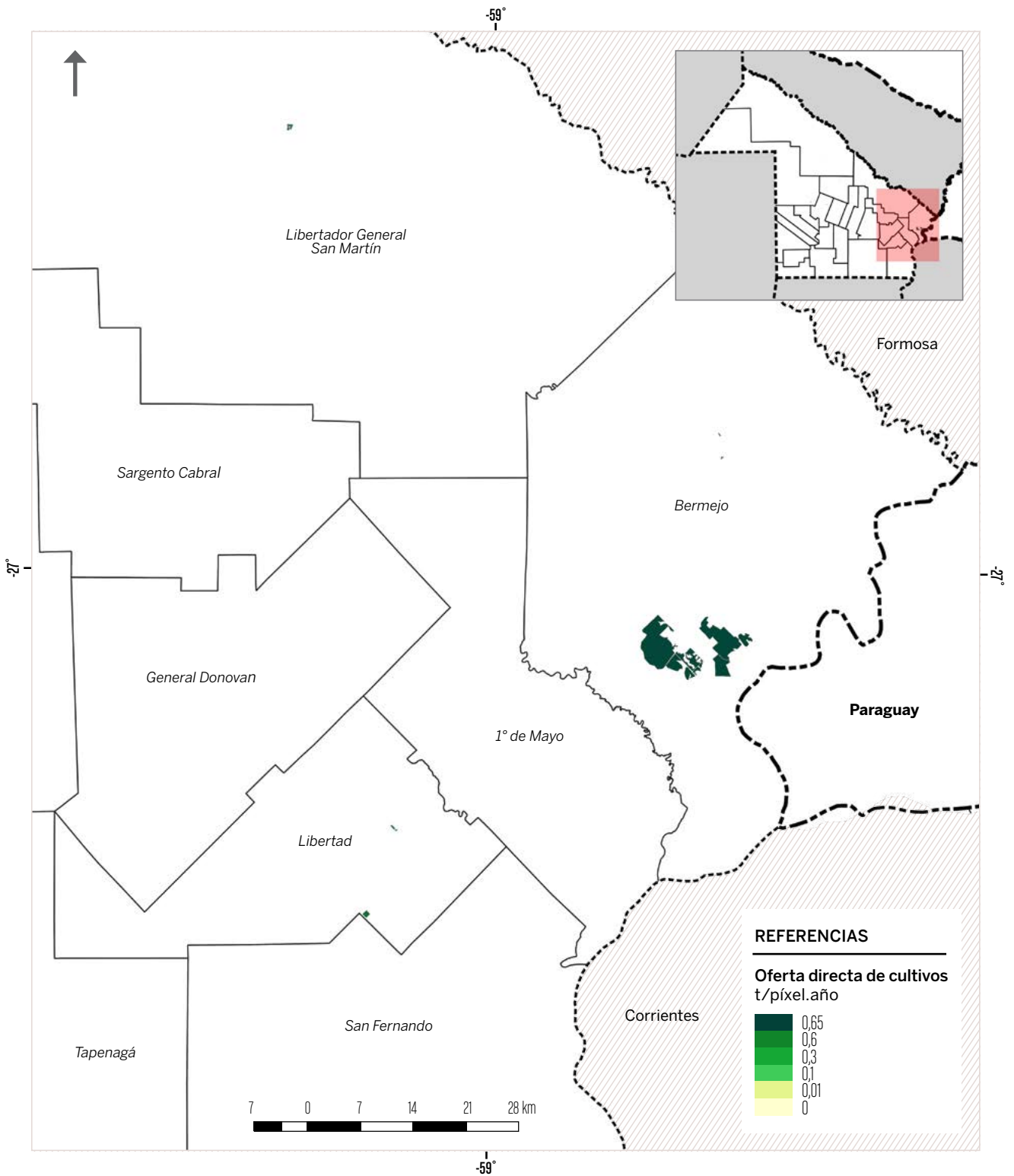
En el Mapa 7 y el Cuadro 6 se presenta la integración de la distribución espacial de la oferta directa total estimada de biomasa. Allí puede apreciarse que los bosques nativos y otras formaciones leñosas representan el 99,6% del total de biomasa para fines energéticos. El resto corresponde a los cultivos: las forestaciones implantadas, de pequeña superficie (menores de 80 ha) y distribuidas en todo el territorio, representan solo el 0,1% de la oferta directa total; el cultivo de arroz, que se concentra en el departamento de Bermejo, representa el 0,3% del total de la biomasa restante.

**Mapa 4.** Oferta directa total por cultivo  
**Fuente.** Elaborado por los autores

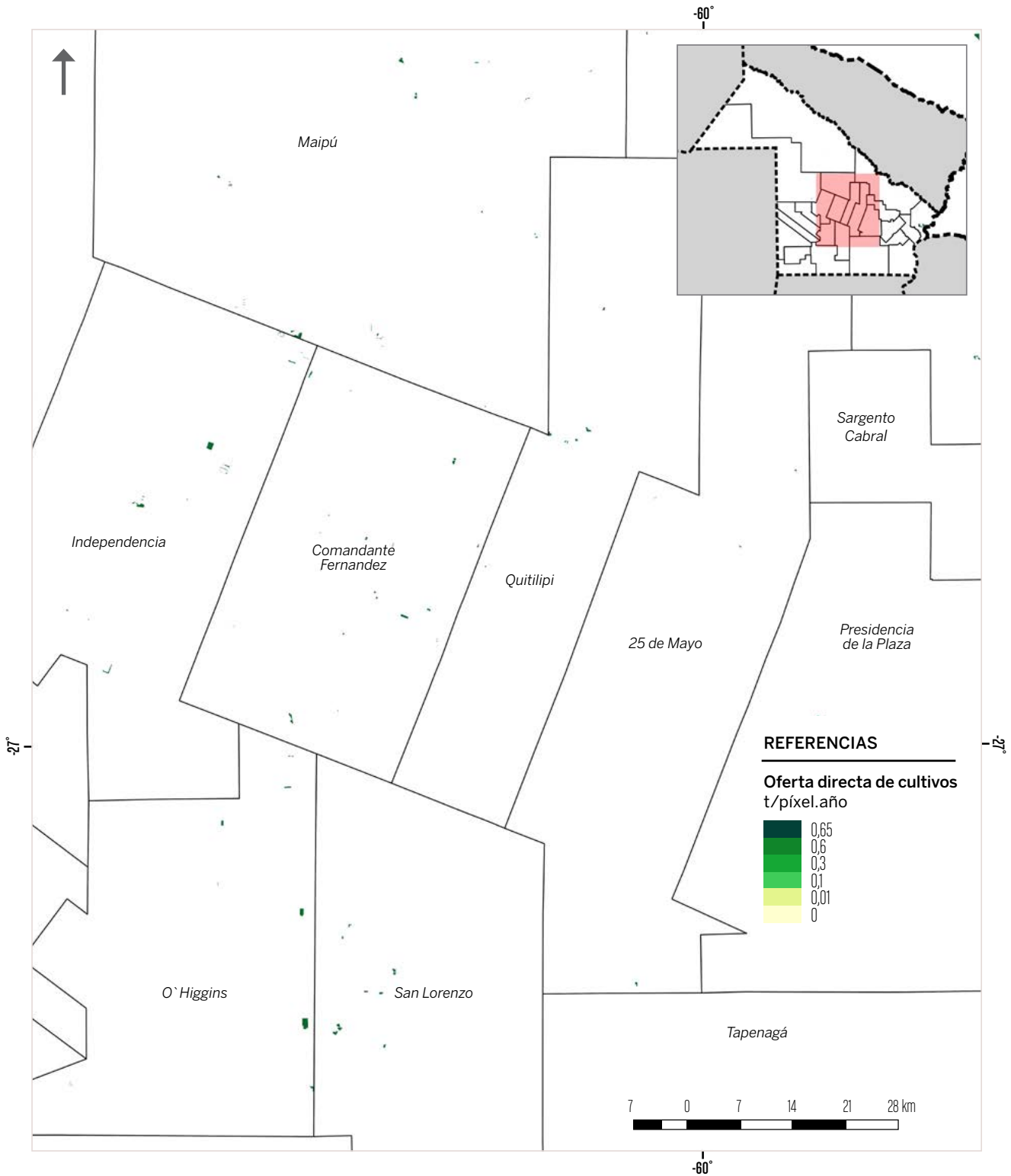




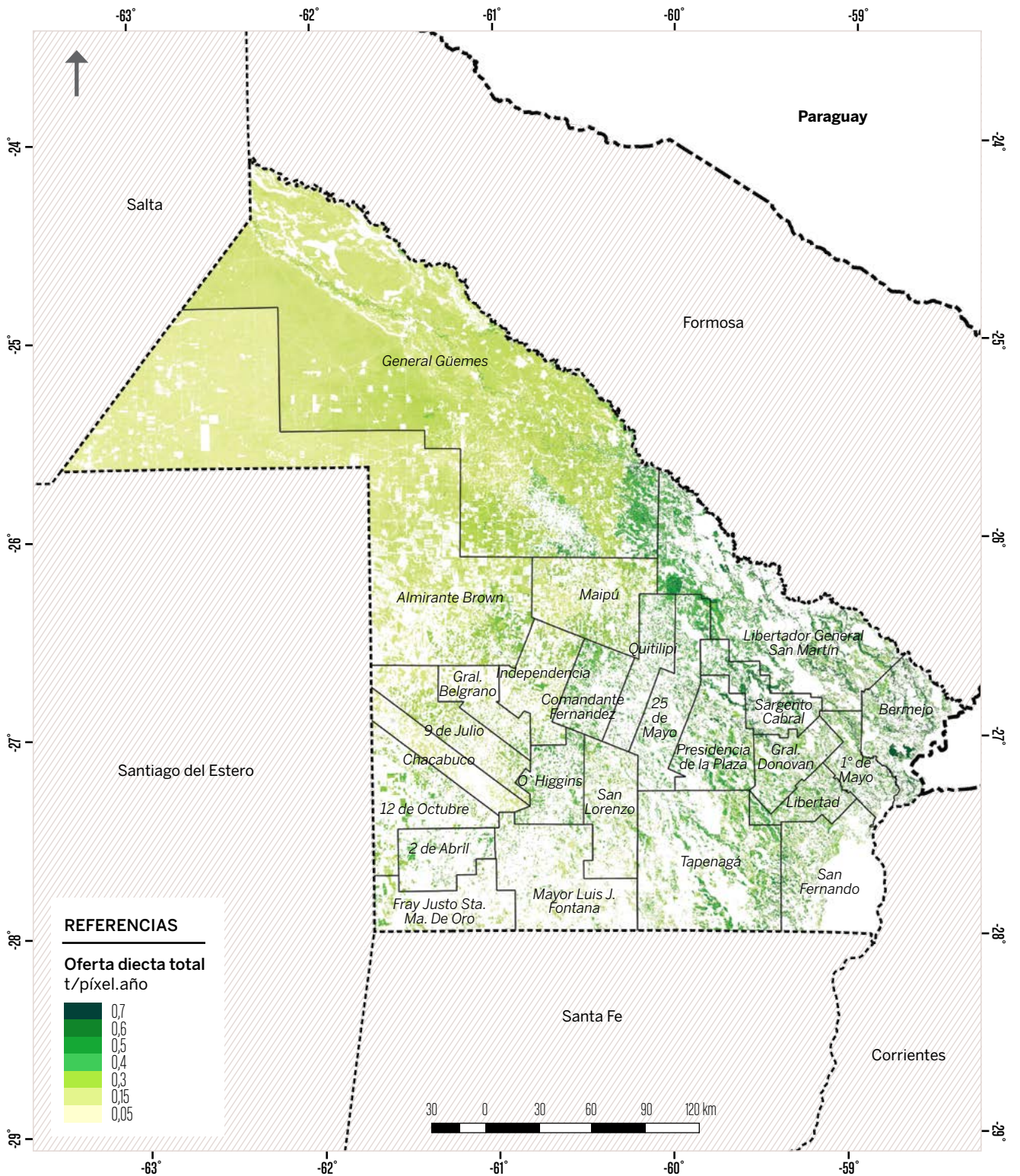
**Mapa 5.** Oferta directa total por cultivo, zoom departamento de Bermejo  
**Fuente.** Elaborado por los autores



**Mapa 6.** Oferta directa total por cultivo, zoom zona central con forestaciones  
**Fuente.** Elaborado por los autores



**Mapa 7.** Oferta directa total  
**Fuente.** Elaborado por los autores



**Cuadro 6**

Oferta directa total por departamento

Departamento	Oferta directa total (t/año)			Total
	Bosques nativos y otras formaciones leñosas	Arroz	Forestaciones	
Almte. Brown	1306698,52	–	811,70	1307510,22
Bermejo	227496,73	18 212,92	30,60	245740,25
Cmte. Fernández	97582,29	–	406,29	97988,58
Chacabuco	40426,58	–	203,28	40629,86
12 de Octubre	94162,41	–	16,80	94179,21
2 de Abril	43070,09	–	25,11	43095,20
Fr.J. Sta. María de Oro	48138,70	–	35,84	48174,54
Gral. Belgrano	42330,18	–	–	42330,18
Gral. Donovan	136378,73	–	–	136378,73
Gral. Güemes	2754015,73	–	305,15	2754320,88
Independencia	100687,77	–	465,88	101153,65
Libertad	103742,51	–	217,11	103959,62
Lib. Gral. San Martín	770689,03	–	716,02	771405,05
Maipú	213496,38	–	438,51	213934,89
My. L.J. Fontana	100535,00	–	130,55	100665,56
9 de Julio	111408,58	–	20,16	111428,74
O`Higgins	92010,66	–	637,23	92647,89
Prescia. De la Plaza	212813,93	–	71,94	212885,88
1º de Mayo	122463,68	–	–	122463,68
Quitilipi	100471,71	–	207,47	100679,18
San Fernando	199393,70	–	–	199393,70
San Lorenzo	120064,28	–	372,16	120436,44
Sgto. Cabral	166010,36	–	–	166010,36
Tapenagá	384185,66	–	–	384185,66
25 de Mayo	177819,43	–	58,15	177877,58
<b>Total</b>	<b>7766092,64</b>	<b>18212,92</b>	<b>5169,98</b>	<b>7789475,55</b>



### 5.2.1 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 del bosque nativo, del manejo de las plantaciones forestales, etc., dado que estos recursos se encuentran distribuidos en el territorio. El desplazamiento entre dos puntos del espacio implica una fricción, que se expresa en términos de costos económicos, energéticos (transporte, combustible, mano de obra) y de tiempo dependiendo de la distancia y pendiente que separa estos puntos.

La accesibilidad física es un parámetro espacial que define la accesibilidad de un determinado recurso biomásico con relación a la distancia del lugar más cercano y de fácil acceso y a 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, 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 a la posibilidad de desplazamiento ofrecida por un medio físico en un punto concreto. Las superficies de fricción contienen valores de costo que expresan la resistencia que presenta una celda a ser recorrida.

Por esta razón, se creó un mapa de accesibilidad que contempla los factores mencionados en relación con el mapa de fricción. A diferencia del WISDOM Argentina (FAO, 2009), donde la accesibilidad se divide en 20 categorías discretas (100% accesible, 95% accesible, 90% accesible, hasta 0%), en el análisis espacial realizado con *Dinámica EGO* no se categorizó el mapa de costo acumulado, sino que se usaron valores continuos. Así, un píxel 58,7% accesible, tendrá un 58,7% de su IMA potencializable con fines bioenergéticos.

En este análisis espacial se aplicó una función exponencial para calcular el costo acumulado para llegar a un determinado píxel (en vez de la función lineal utilizada en el WISDOM Argentina), con la

que los píxeles experimentan un rápido incremento del costo acumulado a medida que se alejan del lugar de origen, sea red vial, ferroviaria o 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 bajo IMA disponible para utilizar.

#### Red vial

El análisis de la red vial se realizó empleando la capa vectorial correspondiente proporcionada por la Dirección de Vialidad Provincial del Chaco, actualizada a mayo de 2016. La misma fue codificada en base a bibliografía específica sobre relaciones entre el tipo de calzada de los caminos 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, considerando los atributos de la capa, se asignaron cuatro coeficientes, tal como se detalla en el Cuadro 7.

#### Ferrocarriles

Con relación a los ferrocarriles, la capa geográfica que se utilizó fue la correspondiente al SIG250 del IGN, que fue actualizada por el INTA anulando las

### Cuadro 7

Coeficientes por tipo de red vial

#### Fuente

Adaptado en base al Banco Mundial (1995)

Red Vial		Coeficiente
Tipo	Clase	
Todos	Pavimentado	1
Todos	Consolidado	0,72
Rutas	Todas las que no sean consolidadas o pavimentadas	0,72
Camino	Tierra	0,46

vías inactivas o desmanteladas. La ponderación otorgada a las vías férreas fue de 0,72 (72% de accesibilidad), equivalente a una calzada de tipo camino consolidado.

### **Ejidos urbanos**

La capa de centros poblados urbanos se generó a partir de la selección de los radios censales de tipo "urbano" del CNPHyV de 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) a fin de incorporar al análisis los parajes rurales, a los que se les asignó una accesibilidad del 100 por ciento.

### **Pendiente del terreno**

Se creó un mosaico a partir de 16 escenas correspondientes al MDE provistas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). El MDE fue utilizado como insumo para realizar un mapa de pendientes (mapa de fricción o impedancia) y, a su vez, este se utilizó para calcular el costo acumulado de una variable en el espacio (red vial, ferrocarriles, ejidos urbanos y parajes rurales).

Como puede observarse en el Mapa 8, los valores más altos de accesibilidad física están relacionados estrechamente con la red vial nacional y provincial y con los centros poblados. Los principales ejes de accesibilidad coinciden con las rutas nacionales: RN 16, que atraviesa la provincia de este a oeste; la RN 95, que cruza el territorio de norte a sur; la RN 89, en el oeste, y la RN 11, en el este, así como con rutas provinciales al norte y al sur de la RN 16. Los niveles de accesibilidad disminuyen en la zona del llamado Impenetrable chaqueño, debido a la baja densidad de centros poblados y vías de comunicación. No obstante, en esta zona se observan focos de alta accesibilidad física que se corresponden con centros poblados urbanos o rurales.

## **5.2. II Accesibilidad legal**

Este es un parámetro espacial que define la accesibilidad a un determinado recurso biomásico en relación con las restricciones legales a las que están sujetas 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 el desarrollo del WISDOM provincial se incluyó el OTBN. En este sentido, el mapa de accesibilidad legal correspondiente a la disponibilidad de los recursos biomásicos se constituyó integrando las distintas categorías de las áreas protegidas y del OTBN, con sus respectivas ponderaciones.

### **Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos**

La Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos N.º 26331/07 establece la necesidad de realizar el OTBN, que define tres categorías de conservación de la biodiversidad (Anexo I) y fue reglamentado mediante la Ley provincial 6409/09.

En este marco, a las categorías del OTBN del Chaco se les asignaron ponderaciones de accesibilidad que están presentadas en el Cuadro 8. La capa del OTBN fue otorgada por la Dirección de Bosques provincial.

La Categoría Rojo en el análisis espacial ha sido restringida totalmente, ya que indica sectores de muy alto valor de conservación que no pueden transformarse. Por ello, se considera que la oferta de biomasa es nula en ese sector.

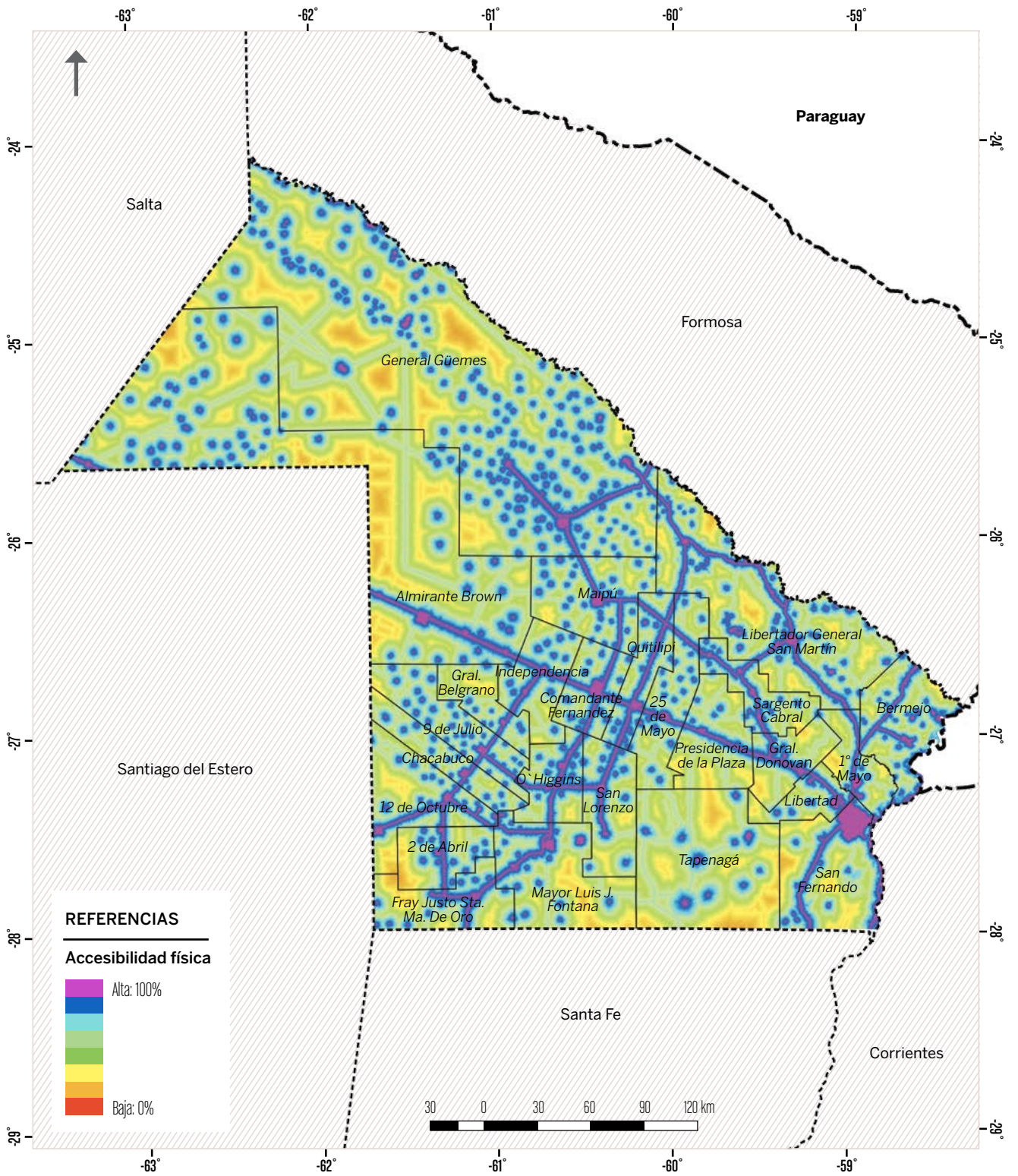
### **Cuadro 8**

Coeficientes asignados según categorías del OTBN

Categoría	Coeficiente
Rojo	0
Amarillo	0,5
Verde	1

Mapa 8. Accesibilidad física

Fuente. Elaborado por los autores



En las áreas correspondientes a la Categoría Amarillo, la oferta será restringida a un 50% del crecimiento anual de los bosques, esto permitiría recuperar áreas degradadas y también fomentar la producción mixta a través de un manejo silvopastoril.

Por último, a la Categoría Verde se le asignó una disponibilidad del 100% de accesibilidad legal, ya que comprende sectores de bajo valor de conservación que pueden transformarse parcial o totalmente dentro de los criterios de la Ley.

Cabe aclarar que, para hacer un aprovechamiento de los bosques nativos en áreas definidas como Amarillo, la autoridad local de aplicación debe aprobar un plan de manejo forestal. Y para hacer uso del bosque nativo en zonas Verde, se deberá cumplir con el procedimiento de evaluación de impacto ambiental<sup>4</sup>.

### Áreas Naturales Protegidas

Para generar la capa de restricción legal correspondiente a las áreas naturales protegidas, se utilizó la provista por la Dirección de Fauna y Áreas Naturales Protegidas provincial, actualizada por el INTA. Así, la oferta de biomasa se restringió de acuerdo con los coeficientes del Cuadro 9.

A partir de la unión de las restricciones generadas por el OTBN y por las áreas naturales protegidas se generó el Mapa 9, que muestra el acceso legal a los recursos biomásicos en Chaco.

En el Mapa 9 se observan las zonas rojas, que se corresponden con las áreas naturales protegidas y la Categoría Rojo del OTBN y tienen una restricción del 100%. Territorialmente, las grandes áreas de conservación se ubican en el oeste provincial, en la zona del Impenetrable chaqueño. Aquellas zonas que presentan una restricción legal del 50% coinciden con la categoría Amarillo del OTBN. Las zonas verdes tienen una accesibilidad legal del 100 por ciento.

### 5.2.III Accesibilidad total

A partir de la conjunción de las restricciones físicas y legales, se combinaron los coeficientes a efectos

### Cuadro 9

Coeficientes de restricción según áreas naturales protegidas

Tipo	Nombre	Coeficiente
Parque Nacional	Chaco	0
Parque Provincial	Pampa del Indio	0
Parque Provincial	Fuerte Esperanza	0
Parque Provincial	Loro Hablador	0
Reserva Natural	Isla del Cerrito	0
Reserva Provincial	Roque Sáenz Peña	0
Reserva	Augusto Schultz	0
Parque Provincial	Paranacito	0,5
Reserva Cultural	Campo del Cielo	0,5
Reserva Educativa	Colonia Benítez	0,5

de construir el mapa de «accesibilidad total», incluyendo todas las limitaciones. En este sentido, las áreas no restringidas por ninguno de ellos permanecerán en el mapa con valores de accesibilidad del 100%, mientras que las áreas donde la restricción es total fueron consideradas de accesibilidad nula.

### Síntesis de oferta directa accesible

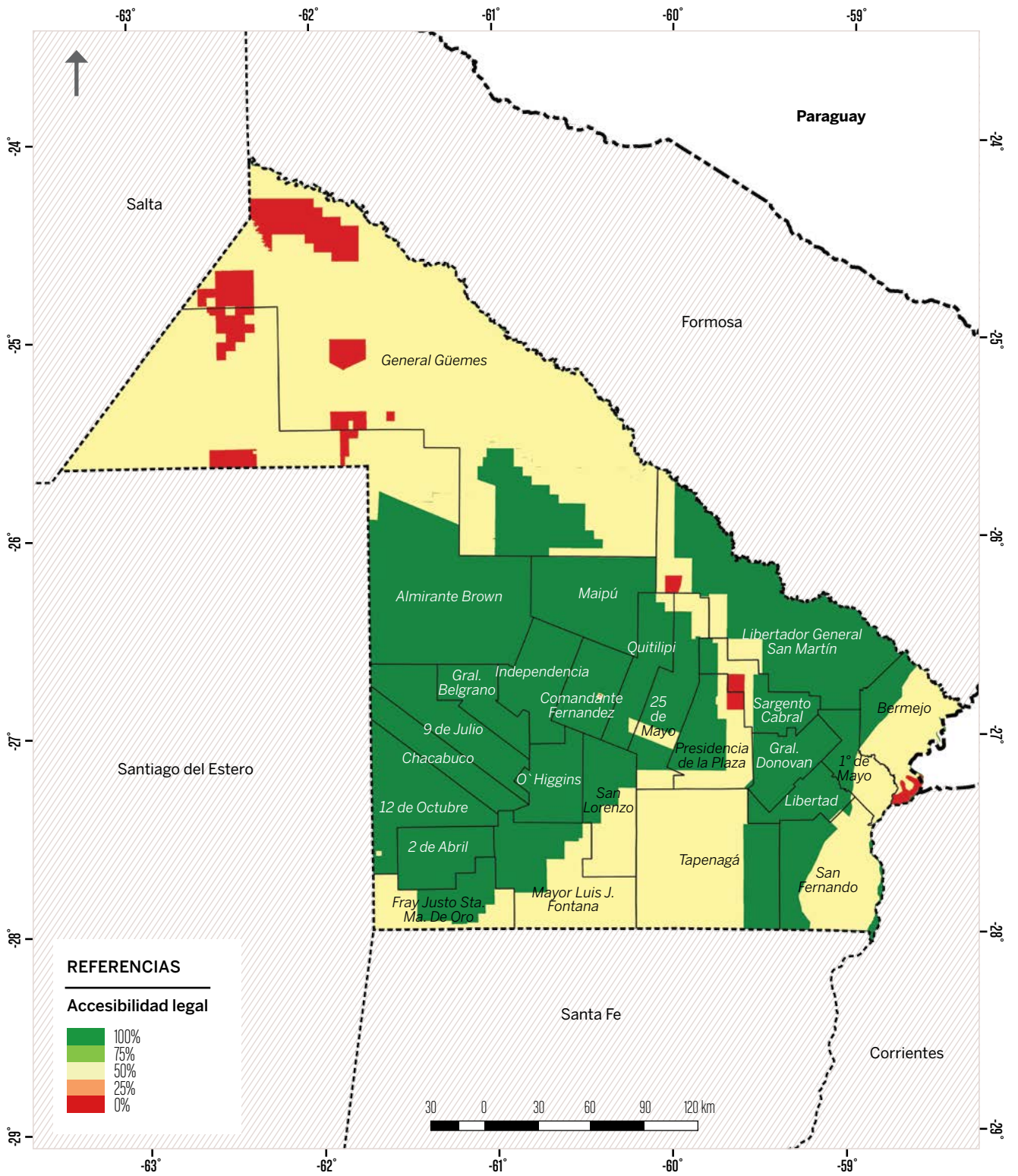
De la oferta directa total, estimada en 7 789 475,55 t/año, la que cuenta con accesibilidad total (física y legal) es de 3 567 298,27 t/año. El resultado aparece en el Mapa 11 y en el Cuadro 10, donde se observa una reducción de la disponibilidad de biomasa con fines energéticos en los cultivos analizados y en las formaciones nativas en relación con las condiciones de accesibilidad.

De esta manera, al comparar el Cuadro 6, donde se presentan los valores estimados de oferta directa total por departamento, con el Cuadro 10, se aprecia una reducción de 54% en la disponibilidad de los recursos biomásicos provenientes de los bosques nativos. A diferencia de estos, donde la disponibilidad se reduce por restricciones legales, la oferta directa total de cultivos se ve restringida principalmente por factores físicos.

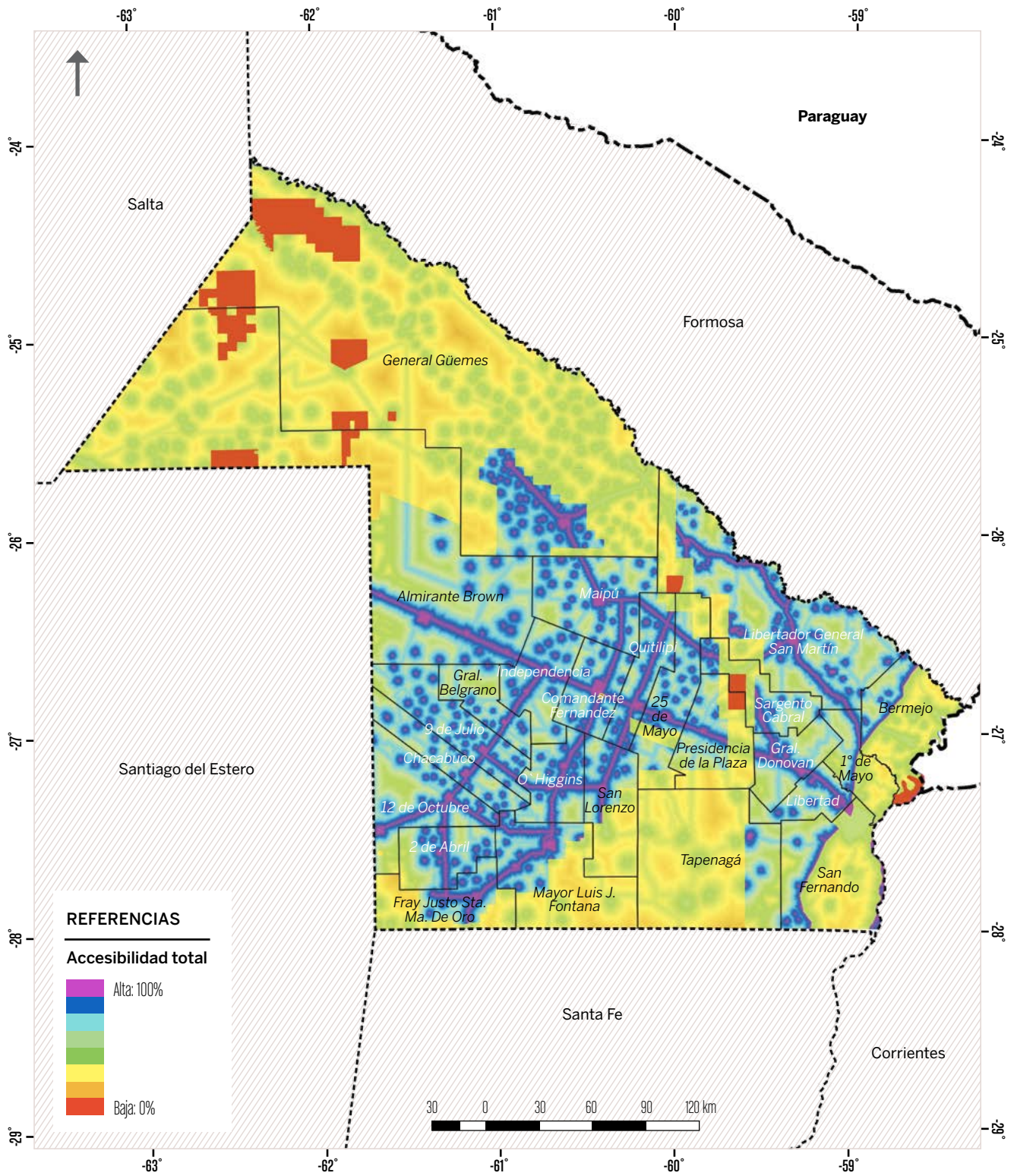
<sup>4</sup> Las legislaciones vigentes relacionadas con la Dirección de Bosques de la Provincia del Chaco están disponibles en: <http://direcciondebosques.blogspot.com.ar/p/legislacion.html>



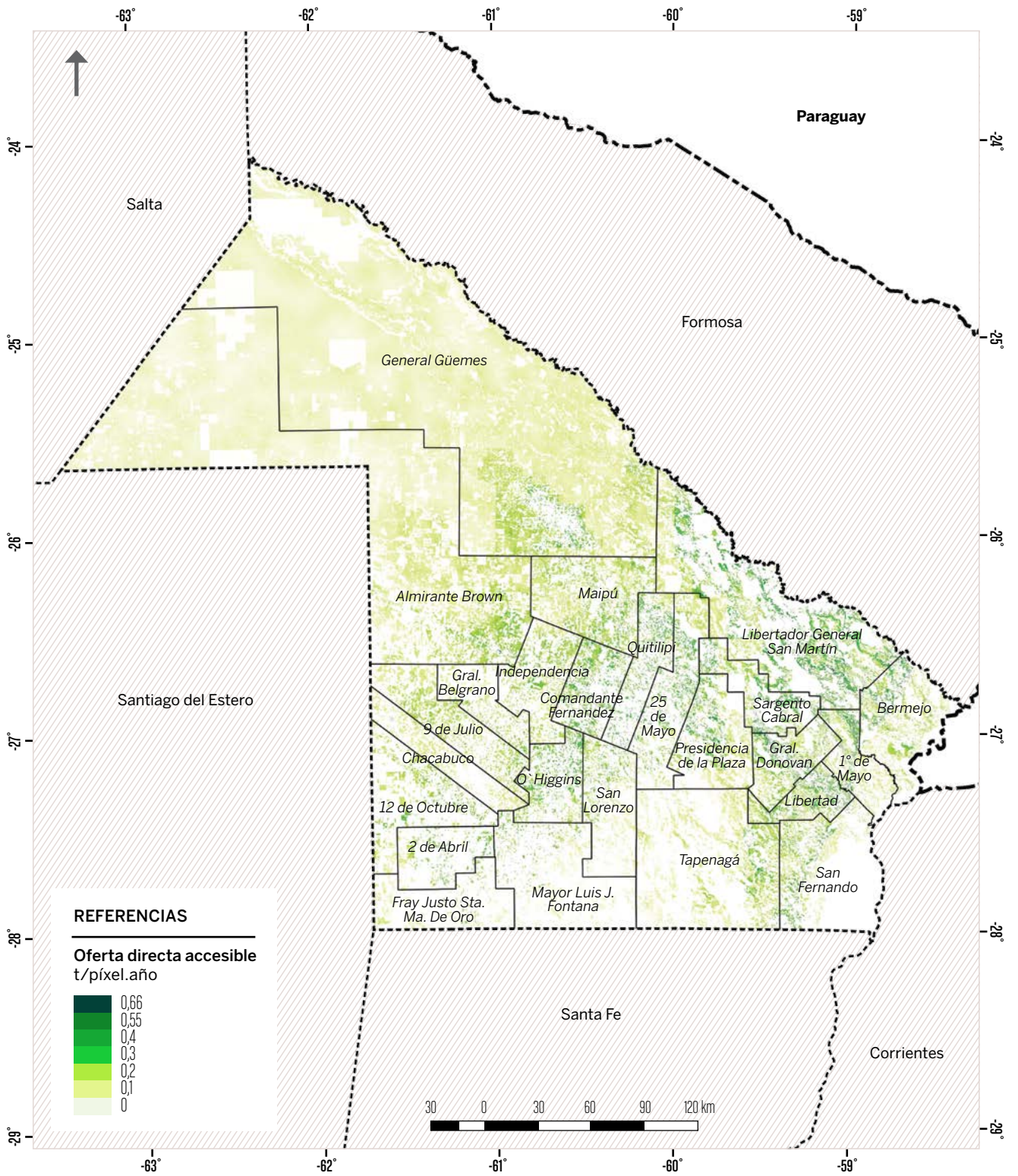
**Mapa 9.** Accesibilidad legal  
**Fuente.** Elaborado por los autores



**Mapa 10.** Accesibilidad total  
**Fuente.** Elaborado por los autores



**Mapa 11.** Oferta directa accesible  
**Fuente.** Elaborado por los autores



**Cuadro 10**

Valores estimados de oferta directa accesible

Departamento	Oferta directa accesible (t/año)			Total
	Bosque nativo y otras formaciones leñosas	Arroz	Forestaciones	
Almte. Brown	523 675,52	–	694,26	524 369,78
Bermejo	100 329,51	6 551,52	9,81	106 890,84
Cmte. Fernández	74 277,18	–	327,60	74 604,77
Chacabuco	28 386,23	–	155,51	28 541,74
12 de Octubre	63 284,26	–	8,51	63 292,76
2 de Abril	28 749,80	–	21,13	28 770,93
Fr.J. Sta. María de Oro	21 522,86	–	27,46	21 550,31
Gral. Belgrano	30 094,68	–	–	30 094,68
Gral. Donovan	92 459,60	–	–	92 459,60
Gral. Güemes	908 927,92	–	234,45	909 162,37
Independencia	73 040,38	–	359,28	73 399,66
Libertad	72 138,20	–	134,70	72 272,89
Lib. Gral. San Martín	441 495,33	–	529,09	442 024,42
Maipú	153 843,35	–	294,69	154 138,04
My. L.J. Fontana	47 622,01	–	104,40	47 726,42
9 de Julio	83 392,06	–	15,83	83 407,89
O`Higgins	68 133,11	–	476,07	68 609,18
Prescia. De la Plaza	101 786,68	–	59,34	101 846,02
1º de Mayo	65 965,95	–	–	65 965,95
Quitilipi	74 795,45	–	146,47	74 941,92
San Fernando	96 241,96	–	–	96 241,96
San Lorenzo	67 163,40	–	291,47	67 454,87
Sgto. Cabral	91 517,09	–	–	91 517,09
Tapenagá	145 578,61	–	–	145 578,61
25 de Mayo	102 403,97	–	31,60	102 435,58
<b>Total</b>	<b>3 556 825,11</b>	<b>6 551,52</b>	<b>3 921,65</b>	<b>3 567 298,27</b>



### 5.3 Módulo de oferta indirecta

Se entiende por oferta indirecta la biomasa que resulta de un proceso de transformación industrial. A diferencia de la considerada como oferta directa, estos residuos o subproductos se encuentran concentrados espacialmente. En Chaco, la oferta indirecta está conformada por subproductos de los molinos arroceros (como la cascarilla y el afrecho), los residuos de la industria forestal (como costaneros, despuntes, virutas, aserrín, corteza, astillas y carbonilla) y los de las desmotadoras de algodón. El objetivo de este módulo es evaluar la disponibilidad de este tipo de biomasa para producción de energía, a partir de la información de las actividades productivas mencionadas. La oferta indirecta se presupone 100% accesible.

#### 5.3.1 Desmotadoras de algodón

La industria procesadora del algodón genera residuos potencialmente aprovechables con fines energéticos, como carpelos, palos, hojas, restos de bochas inmaduras y alguna cantidad de fibras de algodón.

En base a datos del INTA Sáenz Peña se contabilizaron 28 desmotadoras en la provincia, con un promedio de desmote de 255 t/día en 2014. En base a estimaciones de referentes del INTA EEA Sáenz Peña, como Diego Bela, se consideró que un 18% de la materia prima que ingresa queda como residuo, lo que da un promedio estimado de 45,9 t/día. Este resultado se multiplicó por 150, que es la cantidad de días que opera uno de estos establecimientos durante un año calendario, desde marzo hasta septiembre. Así, la oferta indirecta de residuos algodoneros asciende a 192 780 t/año.

#### 5.3.2 Hornos de carbón

La producción de carbón vegetal es convencional en la zona y se realiza en los hornos conocidos como "media naranja". El método se basa en la combustión parcial de la carga de leña para generar el calor necesario para la carbonización; por consiguiente, el rendimiento depende en gran medida del contenido de humedad de la madera (la seca produce más carbón que la húmeda). Con una buena práctica, son posibles rendimientos de

1 kg de carbón a partir de 4 a 5 kg de leña secada al aire (FAO, 2002).

La mayor producción de carbón vegetal se encuentra en los departamentos de Almirante Brown, Maipú, General Belgrano, Comandante Fernández, Independencia, 9 de Julio y General Güemes. Generalmente, los hornos están ubicados cerca de donde proviene la materia prima y, en muchos casos, al lado de una industria que les provee los costaneros y otras maderas de descarte.

Para el análisis espacial se incorporó la producción de carbón vegetal por departamento multiplicada por cuatro, ya que para producir 250 kg de carbón se necesita 1 t de madera (FAO, 2002), y se estima un residuo del 20% (de acuerdo con el referente en esta materia, Bejarano, 2016), correspondiente a la madera que no culminó el proceso de obtención de carbón vegetal y a lo que queda en los hornos, la carbonilla. Hay dos empresas en Chaco que aprovechan la carbonilla para la producción de briquetas, que luego exportan.

De esta manera, de acuerdo con las estadísticas forestales de 2015 presentadas por la Dirección de Bosques de la provincia, se produjeron 210 912 t/año y, así, se determinó que en Chaco la oferta indirecta de biomasa con fines energéticos por parte de los productores de carbón es de 168 728 t/año.

#### 5.3.3 Aserraderos

El análisis espacial de los aserraderos se realizó a partir de los datos del censo industrial ejecutado por el CONES, que proporcionó una lista de establecimientos georreferenciados con datos de cantidad de empleados. En base a encuestas realizadas por CEDETEMA (CONES, 2007) y al antecedente en el WISDOM Salta (FAO, 2016b) se clasificaron los aserraderos en pequeños (con 1 a 10 empleados), medianos (con 10 a 20 empleados) y grandes (con más de 20 empleados). A partir de esta clasificación, se asignó un valor estimado de residuos para cada tipo de aserradero según su tamaño (Cuadro 11), a la espera de contar con valores reales de producción, o bien, de los residuos generados en los mismos. Este valor estimado dio una disponibilidad total de residuos de aserraderos de 41 500 t/año.

**Cuadro 11**

Clasificación de aserraderos

Cantidad de empleados	Tamaño del aserradero	Residuos estimados (t/año)
1 a 10	Pequeño	1000
10 a 20	Mediano	2500
Mas de 20	Grande	5000

### 5.3.4. Molinos arroceros

Chaco cuenta con dos molinos arroceros, ubicados en el departamento Bermejo: uno en la localidad de La Leonesa y otro en Las Palmas. Según información del Ministerio de Industria, Trabajo y Empleo del Chaco, se estima que los molinos arroceros generan un 32% de residuos (22% de cáscara y 10% de afrecho), dato que se aplicó para incorporar al modelo espacial. De acuerdo con lo declarado por las firmas arroceras, entre ambos molinos procesan un total de 57 000 t/año de grano.

En este sentido, el total estimado de residuos provenientes de la industria arrocerera es de 18 240 t/año. En este caso, se consideró el total de residuos debido fundamentalmente a que en la provincia son escasos los establecimientos de cría avícola en gran escala, que son los demandantes de la cascarilla de arroz para la cama de los gallineros.

### Síntesis de la oferta indirecta

En Chaco, la oferta indirecta de biomasa con fines energéticos alcanza 421 248,80 t/año, concentrada en las desmotadoras y los hornos de carbón, que son los mayores generadores de residuos y representan el 90% del recurso potencial disponible. La mayor parte procede de los departamentos de Almirante Brown, Mayor Luis J. Fontana, Comandante Fernández, 12 de Octubre, Maipú y 9 de Julio. Los dos primeros departamentos son los que ofrecen mayor volumen, especialmente por las desmotadoras de algodón que hay en la zona. Los residuos de la industria forestal ocupan el tercer lugar en importancia (8,8%), con los departamentos de Independencia y Presidencia De la Plaza, seguidos por

San Fernando, como los de mayor disponibilidad de biomasa, debido principalmente a la concentración de aserraderos. El departamento de Bermejo es el único que aporta residuos de molinos arroceros, debido a que los únicos dos molinos de la provincia se encuentran en esa zona (Cuadro 12).

### 5.4 Módulo de demanda

La biomasa como recurso energético ha sido utilizada a lo largo de la historia por diversos sectores sociales y con diferentes fines. Este uso responde tanto a patrones tradicionales como a factores ecosistémicos, socioeconómicos y técnicos. Asimismo, la falta de acceso a las redes eléctrica y de gas natural y la irregularidad en el aprovisionamiento de gas envasado licuado y su alto costo, entre otros factores, hacen de su empleo una necesidad fundamental, ya que es una de las fuentes energéticas más accesibles. El uso más generalizado de esta fuente es la combustión directa.

En el plano doméstico, históricamente la biomasa se ha utilizado con fines energéticos para hacer frente a las condiciones climáticas, cocinar los alimentos, calentar agua e iluminar.

El consumo de biomasa en el sector público hoy se encuentra representado por las escuelas rurales que utilizan leña para la cocción de alimentos para sus comedores, si bien cada vez más usan gas en garrafa de 10 kilogramos.

Con respecto al sector industrial, los recursos biomásicos han tenido diversas finalidades de acuerdo con la actividad productiva. En Chaco, los residuos de los aserraderos (costaneros y recortes de madera de grandes espesores) tienen como principal destino los hornos de los pequeños productores de carbón y/o ladrilleras que los usan como leña.

La mayoría de la industria ladrillera en Chaco se caracteriza por ser una actividad informal, y muchas familias consideran este rubro como un segundo ingreso.

En relación con el consumo de biomasa con fines energéticos en el sector comercial (panaderías, parrillas, restaurantes), no se tuvo acceso a información oficial sobre la ubicación y cantidad de establecimientos, por lo que no se pudo cuantificar su demanda de leña y carbón vegetal.

**Cuadro 12**

Oferta indirecta por departamento

Departamento	Oferta indirecta (t/año)				Total
	Desmotadoras	Hornos de carbón	Aserraderos	Molinos arroceros	
Almte. Brown	-	62 595,2	3 000,0	-	65 595,2
Bermejo	-	-	-	18 240,0	18 240,0
Cmte. Fernández	18 630,00	13 132,8	2 500,0	-	34 262,8
Chacabuco	5 400,0	5 470,4	1 000,0	-	11 870,4
12 de Octubre	48 600,00	3 055,2	-	-	51 655,2
2 de Abril	5 400,0	-	-	-	5 400,0
Fr. J. Sta. María de Oro	14 310,0	70,4	-	-	14 380,4
Gral. Belgrano	-	14 587,2	3 500,0	-	18 087,2
Gral. Donovan	-	621,6	2 000,0	-	2 621,6
Gral. Güemes	-	6 392,0	3 500,0	-	9 892,0
Independencia	5 400,0	13 020,0	6 000,0	-	24 420,0
Libertad	-	-	-	-	0,0
Lib. Gral. San Martín	-	2 112,8	1 000,0	-	3 112,8
Maipú	12 150,0	17 902,4	-	-	30 052,4
My. L.J. Fontana	56 430,0	1 069,6	3 000,0	-	60 499,6
9 de Julio	18 900,0	10 843,2	-	-	29 743,2
O`Higgins	7 560,0	1 099,2	1 000,0	-	9 659,2
Prescia. De la Plaza	-	2 183,2	6 000,0	-	8 183,2
1º de Mayo	-	-	-	-	-
Quitilipi	-	1 901,60	1 000,0	-	2 901,6
San Fernando	-	104,80	5 500,0	-	5 604,8
San Lorenzo	-	1 562,4	-	-	1 562,4
Sgto. Cabral	-	1 575,2	-	-	1 575,2
Tapenagá	-	320,8	-	-	320,8
25 de Mayo	-	9 108,8	2 500,0	-	11 608,8
<b>Total</b>	<b>192 780,0</b>	<b>168 728,8</b>	<b>41 500,0</b>	<b>18 240,0</b>	<b>421 248,8</b>

### 5.4.1. Sector residencial

En el sector residencial, los usos finales de la biomasa como combustible son la cocción de alimentos, la calefacción, utilización de agua con fines sanitarios y, en menor medida, la iluminación.

En el análisis del consumo residencial, a cada radio censal de tipo “urbano” y a los centros poblados del BAHRA<sup>5</sup> se les asignó la cantidad de habitantes promedio de hogares que emplean leña o carbón vegetal como combustible principal para cocinar, según el CNPhyV 2010 (INDEC, 2010). De acuerdo con esta fuente, más de 33 000 hogares de la provincia utilizan leña para ese fin, un 11% del total. Se presupone que gran parte de ese universo también usa biomasa para calefaccionarse y calentar agua para uso sanitario.

Debido a la ausencia de datos del volumen de biomasa consumida en los hogares, se estimó el consumo de leña (y el equivalente de biomasa en carbón vegetal) a partir del WISDOM Argentina (FAO, 2009), donde se considera que cada persona consume un total de 0,75 t/año. Este coeficiente pretende compensar el total de hogares que, si bien utilizan otros combustibles para cocinar, consumen combustibles leñosos para calefaccionarse.

Como resultado de estas estimaciones, se registró una demanda residencial de 98 234,58 toneladas anuales de leña y/o carbón vegetal.

### 5.4.2. Sector industrial

#### Carbón vegetal

La producción de carbón vegetal en la provincia, además de generar un residuo pasible de usos bioenergéticos, implica un consumo de biomasa, generalmente leña, para producir la combustión parcial de la madera en ausencia de aire dentro de los hornos y, así, causar la carbonización.

De acuerdo con las estadísticas forestales 2015, en la provincia se produjeron 210 912 t/año de carbón vegetal. Para determinar la leña utilizada con fines energéticos por los hornos de carbón, en el

análisis espacial se aplicó la relación de 4 toneladas de leña por cada una de carbón vegetal producida. Así, al total de leña utilizada durante la producción de carbón vegetal se le descontó un 20% correspondiente a los residuos que integran la oferta indirecta y el total de carbón vegetal generado.

De esta manera, se estimó que la demanda de leña para la obtención de carbón vegetal asciende a 464 006 toneladas anuales.

#### Ladrilleras

La producción de ladrillos en Chaco, generalmente, está a cargo de grupos familiares que viven en los alrededores de los diferentes pueblos y ciudades, en general bajo cierta informalidad. La producción de ladrillo puede realizarse mediante métodos artesanales, basados en el trabajo manual, o por procedimientos mecanizados. En ambos casos, la etapa de cocción del ladrillo se realiza en hornos cuyo insumo principal es la leña. Se trata de un proceso muy importante, ya que le confiere a las piezas las propiedades deseadas.

La georreferenciación de las ladrilleras fue realizada por personal del INTA, a través de interpretación visual con el programa Google Earth. Se identificaron 58 ladrilleras, en la zona central de la provincia. Para el presente análisis se utilizó esta información, a la espera de contar con datos más exhaustivos.

Para estimar la producción de ladrillos se consideraron los datos otorgados por los ladrilleros de la zona, y así se decidió adjudicar una producción de 30 000 ladrillos mensuales, aproximadamente, por cada ladrillera identificada, a la espera de obtener valores reales para cada establecimiento.

El consumo anual de leña para la fabricación de ladrillos se calculó considerando los siguientes datos del WISDOM Argentina (FAO, 2009): un ladrillo pesa aproximadamente 1,55 kg y se consume 0,39 kg de leña por cada kilogramo de ladrillo (por lo tanto, cada ladrillo consume 0,0006045 t de leña). Esta estimación arrojó una demanda del sector ladrillero de 12 621,45 t/año de leña.

<sup>5</sup> En el análisis espacial, cuando los radios de tipo “mixto” o “rural” no se correspondían a ningún BAHRA se los consideró en su totalidad.



### 5.4.3. Escuelas rurales

En la provincia existen escuelas rurales que consumen leña durante el ciclo lectivo para la elaboración de alimentos. Desde el Programa Mapa Educativo Nacional del Ministerio de Educación de la Nación se ejecutó un Relevamiento de Escuelas Rurales (RER) donde se consultaba a cada establecimiento qué combustible utilizaba para cocinar.

Este programa brindó los datos de ubicación de las escuelas rurales y la cantidad de alumnos entre 2008 y 2012. Se asignó a cada escuela la matrícula por año y se calculó el promedio de alumnos de ese quinquenio. Para la estimación del consumo de leña se tomaron como referencia los resultados del *Estudio Exploratorio del Uso de la Leña en Escuelas Rurales de la Provincia de Santiago del Estero* (Luna, 2010), de acuerdo con el WISDOM Salta (FAO, 2016b). Con esos datos, se calculó el promedio de consumo de leña por alumno por día (0,35 kg) y por año (66,5 kg). Para la extrapolación anual se multiplicó el consumo diario por los 190 días escolares previstos en el calendario escolar de 2014.

En Chaco se contabilizaron un total de 607 establecimientos educativos en esta condición y se estimó un consumo anual de 2 232,52 toneladas.

### Síntesis de la demanda de biomasa

En el Cuadro 13 puede verse que la demanda de biomasa con fines energéticos en Chaco totaliza 577 095,45 t/año. La mayor parte la consumen los hornos de carbón, con una participación del 80,40%; el sector residencial demanda el 17,02% del total; un 2,18% la elaboración de ladrillos y, por último, las escuelas rurales representan un 0,38% del total.

El departamento que presenta mayor demanda de biomasa con fines energéticos para la producción de carbón vegetal es Almirante Brown (171 136 t/año), seguido por Maipú, Comandante Fernández, Independencia, General Belgrano y General Güemes. Con relación a la demanda residencial, los departamentos de General Güemes, Libertador San Martín y Maipú son los que se destacan del total. Como contraparte, los departamentos 2 de Abril, 1º de Mayo y Libertad son los que presentan los más bajos valores de demanda.

### 5.5 Módulo de integración de la oferta y la demanda

El balance entre la oferta potencial y el consumo actual estimado de biomasa permite obtener un mapa de disponibilidad de recursos que facilita la identificación de áreas deficitarias y zonas de superávit. Esta zonificación biomásica es útil para la formulación de políticas públicas y para la planificación energética.

Para realizar el balance bioenergético, al mapa resultante de la oferta total accesible se le restó el mapa de la demanda total. Esta operación se realizó a nivel de cada píxel.

Otra forma de representar esa relación es realizar un balance promedio focalizado, promediando los valores de los píxeles comprendidos en ventanas de 20 píxeles de lado, o sea, de 800 m de lado (64 ha) (Mapa 13).

Del análisis espacial realizado se observa, en el Mapa 13 y Mapa 14 y en el Cuadro 14, que Chaco presenta un superávit de 3 411 451,63 t/año de biomasa disponible con fines energéticos.

Los departamentos con mayor superávit son General Güemes, Libertador General San Martín y Almirante Brown, ubicados al norte de la provincia, debido a que allí se encuentra el mayor volumen de oferta directa, fundamentalmente proveniente de los bosques nativos y otras formaciones leñosas. El departamento de Almirante Brown cuenta a su vez con un aporte sustancial de la oferta indirecta de los hornos de carbón, que sin embargo se ve contrarrestada por el propio consumo de leña que hacen.

A esos tres departamentos los siguen en superávit el de Tapenagá, ubicado al sur de la provincia, que tiene grandes aportes de los bosques nativos y otras formaciones leñosas; el de 25 de Mayo, que presenta oferta de los bosques nativos y residuos de hornos de carbón y aserraderos; el departamento de Presidencia De la Plaza, con aportes de aserraderos, hornos de carbón y formaciones leñosas; y el de Maipú, que además de la oferta de bosques nativos tiene una oferta indirecta de hornos de carbón y desmotadoras, aunque registra un gran consumo bionérgico a partir de la leña utilizada durante la carbonización.

Cabe resaltar que el departamento de Bermejo es el único que complementa el aporte de los bosques nativos con oferta de residuos agrícolas de cosecha de arrozales y de molinos arroceros. Asimismo, la gran concentración de hornos de carbón y desmolidoras en los departamentos Mayor Luis J. Fontana

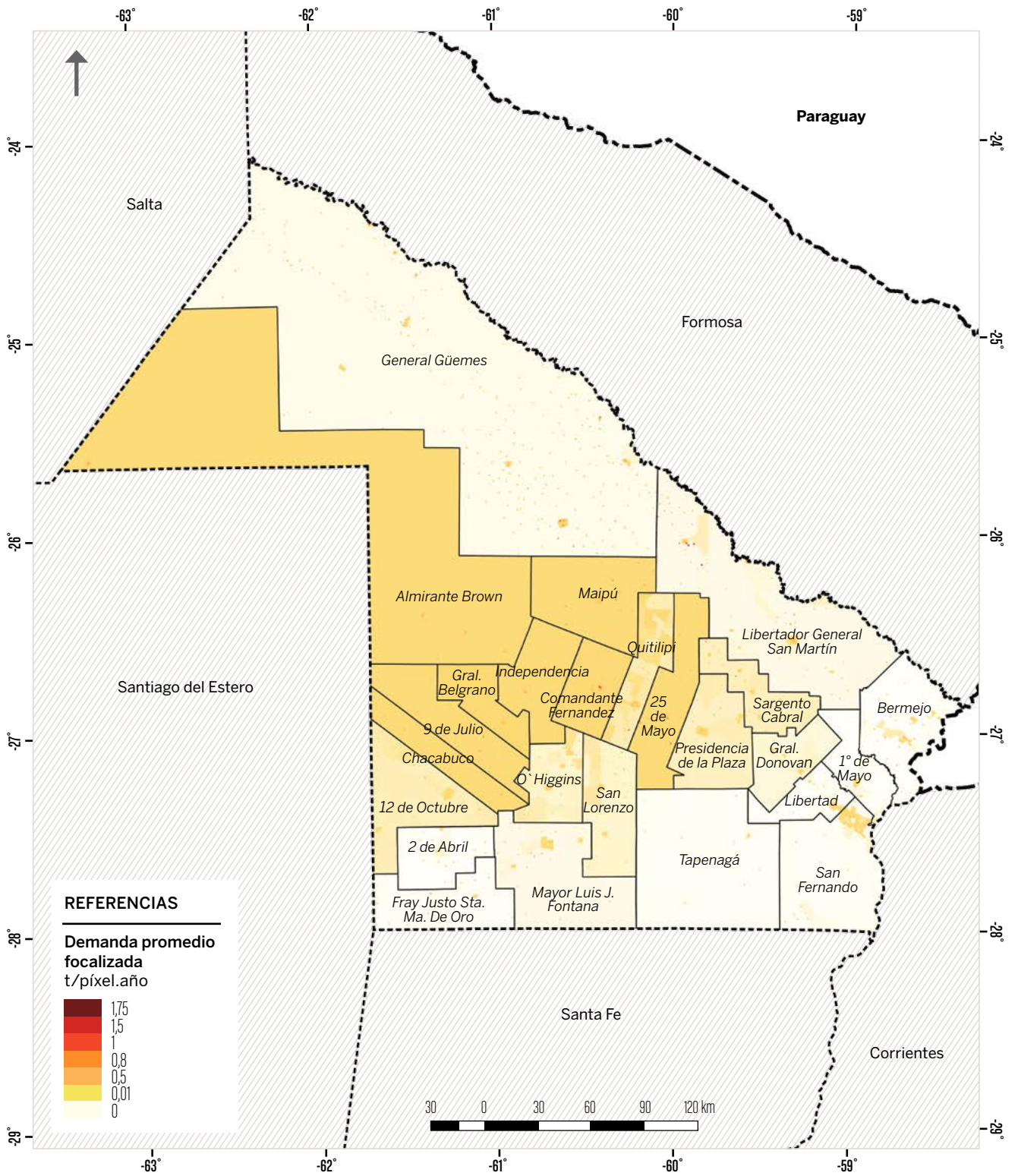
na y 12 de Octubre los ubica en una situación muy favorable para impulsar proyectos bioenergéticos. En el Mapa 13 puede observarse un gradiente decreciente de noroeste a sudeste, que corresponde a los valores del balance de biomasa. Este gradiente está fuertemente asociado a la regionalización

### Cuadro 13

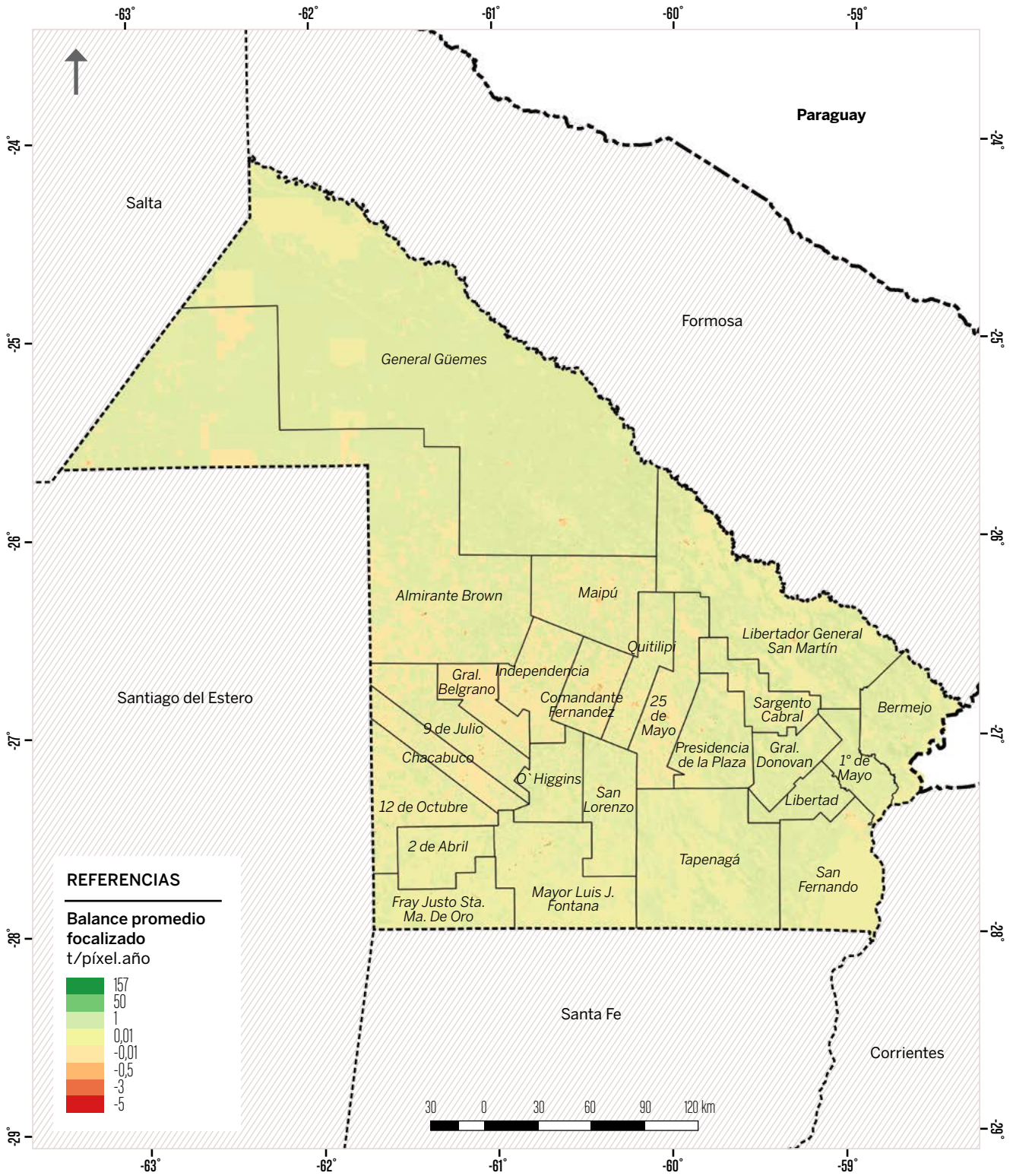
Demanda de biomasa con fines energéticos, por sector y departamento

Departamento	Demanda (t/año)				Total
	Carbón vegetal	Residencial	Ladrilleras	Escuelas rurales	
Almte. Brown	172 136,80	6 403,62	217,62	50,19	178 808,23
Bermejo	–	2 403,25	–	66,66	2 469,91
Cmte. Fernández	36 115,20	5 812,07	6 963,84	97,33	48 988,44
Chacabuco	15 043,60	1 829,70	–	39,70	16 913,00
12 de Octubre	8 401,80	1 505,93	–	22,73	9 930,46
2 de Abril	–	494,89	–	17,18	512,07
Fr. J. Sta. María de Oro	193,60	1 084,30	–	18,47	1 296,37
Gral. Belgrano	40 114,80	1 533,10	–	14,62	41 662,52
Gral. Donovan	1 709,40	1 059,17	–	12,10	2 780,67
Gral. Güemes	17 578,00	21 334,05	652,86	656,37	40 221,28
Independencia	35 805,00	3 586,86	4 134,78	80,36	43 607,00
Libertad	–	655,42	–	29,87	685,29
Lib. Gral. San Martín	5 810,20	10 627,23	–	258,27	16 695,70
Maipú	49 231,60	7 019,93	435,24	145,49	56 832,26
My. L.J. Fontana	2 941,40	2 389,91	–	33,44	5 364,75
9 de Julio	29 818,80	3 377,12	–	72,19	33 268,11
O` Higgins	3 022,80	2 479,84	–	51,96	5 554,60
Prescia. De la Plaza	6 003,80	1 965,47	–	24,87	7 994,14
1º de Mayo	–	655,86	–	23,85	679,71
Quitilipi	5 229,40	6 367,51	217,62	170,00	11 984,53
San Fernando	290,40	3 953,76	–	12,57	4 256,73
San Lorenzo	4 296,60	2 650,89	–	84,81	7 032,30
Sgto. Cabral	4 331,80	2 624,96	–	99,20	7 055,96
Tapenagá	882,20	395,43	–	51,14	1 328,77
25 de Mayo	25 049,20	6 024,31	–	99,14	31 172,65
<b>Subtotal</b>	<b>464 006,40</b>	<b>98 234,58</b>	<b>12 621,96</b>	<b>2 232,52</b>	<b>577 095,46</b>
<b>Total</b>	<b>577 095,46</b>				

**Mapa 12.** Demanda total promediada  
**Fuente.** Elaborado por los autores



**Mapa 13.** Balance promedio focalizado  
**Fuente.** Elaborado por los autores





productiva y a la ubicación de los montes nativos, así como a la localización de los principales centros urbanos, que manifiesta el consumo periurbano de la biomasa con fines energéticos. La oferta de biomasa en la región oeste de la provincia se encuentra limitada por restricciones legales y también por las de vías de acceso.

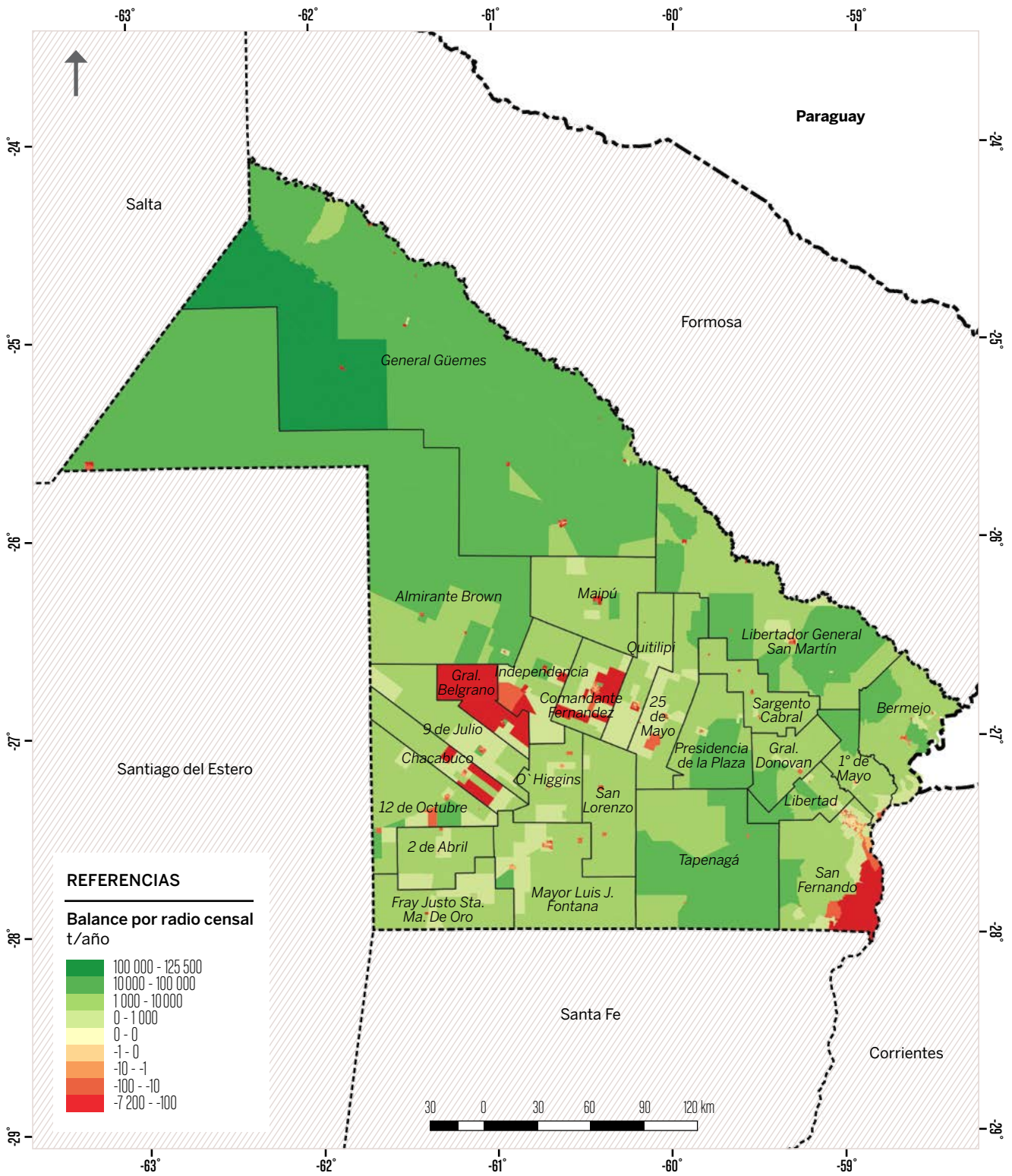
Vale destacar, a partir de los datos que surgen del Cuadro 14, que ningún departamento registró déficit en el balance de biomasa con fines energéticos. No obstante, como se observa en el Mapa 14, en el balance expresado a nivel de radios censales se observan algunos deficitarios, particularmente por la concentración de hornos de carbón en el centro provincial.

#### Cuadro 14

Balance total por departamento

Departamento	Oferta directa	Oferta indirecta	Demanda	Balance
Almte. Brown	524 369,78	65 595,20	178 808,23	411 156,75
Bermejo	106 890,84	18 240,00	2 469,91	122 660,93
Cmte. Fernández	74 604,77	34 262,80	48 988,44	59 879,13
Chacabuco	28 541,74	11 870,40	16 913,00	23 499,14
12 de Octubre	63 292,76	51 655,20	9 930,46	105 017,50
2 de Abril	28 770,93	5 400,00	512,07	33 658,86
Fr. J. Sta. María de Oro	21 550,31	14 380,40	1 296,37	34 634,34
Gral. Belgrano	30 094,68	18 087,20	41 662,52	6 519,36
Gral. Donovan	92 459,60	2 621,60	2 780,67	92 300,53
Gral. Güemes	909 162,37	9 892,00	40 221,28	878 833,09
Independencia	73 399,66	24 420,00	43 607,00	54 212,66
Libertad	72 272,89	–	685,29	71 587,60
Lib. Gral. San Martín	442 024,42	3 112,80	16 695,70	428 441,52
Maipú	154 138,04	30 052,40	56 832,26	127 358,18
My. L.J. Fontana	47 726,42	60 499,60	5 364,75	102 861,27
9 de Julio	83 407,89	29 743,20	33 268,11	79 882,98
O`Higgins	68 609,18	9 659,20	5 554,60	72 713,78
Prescia. De la Plaza	101 846,02	8 183,20	7 994,14	102 035,08
1º de Mayo	65 965,95	–	679,71	65 286,24
Quitilipi	74 941,92	2 901,60	11 984,53	65 858,99
San Fernando	96 241,96	5 604,80	4 256,73	97 590,03
San Lorenzo	67 454,87	1 562,40	7 032,30	61 984,97
Sgto. Cabral	91 517,09	1 575,20	7 055,96	86 036,33
Tapenagá	145 578,61	320,80	1 328,77	144 570,64
25 de Mayo	102 435,58	11 608,80	31 172,65	82 871,73
<b>Total</b>	<b>3 567 298,27</b>	<b>421 248,80</b>	<b>577 095,45</b>	<b>3 411 451,63</b>

**Mapa 14.** Balance por radio censal  
**Fuente.** Elaborado por los autores



---

# 6. MÓDULO DE OFERTA DE BIOMASA HÚMEDA

- 
- 6.1 *Feedlots* bovinos
  - 6.2 Establecimientos porcinos



---

---

**En el WISDOM Chaco se avanzó en la estimación de la biomasa húmeda para producir biogás que aportarían los efluentes de establecimientos de ganado (sobre todo porcino), lo que aparejaría ventajas ambientales.**

---

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 de oxígeno (aeróbica) o en ausencia (anaeróbica). A partir de este último puede obtenerse bioenergía mediante la utilización del metano ( $\text{CH}_4$ ) producido. La digestión anaeróbica es un proceso biológico que puede ser utilizado como un sistema de recuperación de energía y nutrientes contenidos en la materia orgánica. En él intervienen un grupo de microorganismos que transforman la materia orgánica en una mezcla de gases (fundamentalmente  $\text{CH}_4$  y dióxido de carbono o  $\text{CO}_2$ ), conocida como biogás, y en un efluente denominado digestato. El valor energético del biogás depende principalmente del contenido de  $\text{CH}_4$ , que varía entre 50 y 75%. El digestato contiene macro y micronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, entre otros) y puede utilizar-

se como biofertilizante, ya que presenta excelentes características agronómicas; y, al permitir el aumento de la fertilidad química de los suelos, sustituye algunos agroquímicos de origen sintético.

El proceso de digestión anaeróbica se realiza en contenedores herméticamente cerrados, denominados reactores, biodigestores o fermentadores. La digestión anaeróbica puede ocurrir en residuos ganaderos y agrícolas, así como en residuos provenientes de las industrias de transformación de productos agropecuarios. Por su diseño y funcionamiento, los biodigestores permiten la codigestión con otras materias primas, como puede ser la biomasa proveniente de cultivos bioenergéticos, lo que garantiza el suministro de combustible a la planta de generación. 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 surge como alternativa a la disposición inadecuada de los efluentes de actividades pecua-



rias, que puede contaminar tanto el suelo 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 la 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 afectando el resto del ecosistema acuático. Asimismo, por la composición química que suele tener este tipo de sustratos (alto contenido de sales minerales y en especial de nitrógeno), al degradarse la materia orgánica se forman compuestos volátiles como  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ , lo que genera altas concentraciones de nitrógeno en el agua y produce así una gran proliferación de algas, favoreciendo la eutrofización.

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

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

- Uso de energía sustentable renovable.
- 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, lo que mejora 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.
- Beneficio económico 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.

Si se tienen en cuenta los sectores productivos más relevantes del Chaco, las materias primas que se podrían considerar para la producción de biogás son los efluentes de las actividades de cría y explotación de ganado (porcino y bovino) y de las industrias alimentarias, entre otros. Para el presente análisis solo se han considerado los dos primeros, porque son los que cuentan con información disponible.

Para el análisis espacial se aplicó una restricción de carácter estructural, la forma de producción, ya que tiene incidencia directa en la disposición de los residuos. Así, se consideró únicamente la 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.

Para el caso de las producciones ganaderas, las estimaciones se llevaron a cabo a partir de información actualizada en octubre 2015, brindada por el SENASA, con la localización de cada establecimiento y su número de cabezas. En base a ello se realizaron los cálculos de la oferta por tipo de actividad: bovinos (*feedlot*) y porcinos. Para estimar los residuos generados por cabeza y por tipo de producción se utilizó el criterio aplicado por Flores *et al.* (2009).

### 6.1 Feedlots bovinos

Para los *feedlots* bovinos se estimó un residuo potencial de 23,9 kg de estiércol fresco/día/animal. Al multiplicarlo por la cantidad de días del año resulta en 8 708 kg de estiércol fresco/año/animal.

## 6.2 Establecimientos porcinos

En el caso de los establecimientos porcinos se calculó un residuo potencial de 3,4 kg estiércol fresco/día/animal, lo que da 1 241 kg de estiércol fresco/año/animal.

En el Cuadro 15 se pueden observar los valores obtenidos para cada tipo de establecimiento.

Como poder calorífico del biogás se adoptó el de 5 500 kcal/m<sup>3</sup> y para el factor de conversión a tonelada equivalente de petróleo (tep) se utilizó el de 10<sup>7</sup> kcal por cada tep.

En el Cuadro 16 se presentan los valores en tep/año y por departamento para cada actividad productiva.

La mayor oferta de residuo pasible de aprovechamiento energético es generada por la producción porcina, con 2 887,32 tep/año estimadas en la provincia. El departamento de Bermejo concentra

un 30% de la oferta potencialmente disponible ya que cuenta con un establecimiento grande de porcinos con frigorífico y una planta de elaboración de subproductos. Le siguen en orden de importancia los departamentos de General Güemes y General Donovan, con confinamiento bovino (*feedlots*).

Si se consideran ambos tipos de fuentes potenciales de biogás, la mayor oferta sigue concentrada en el departamento de Bermejo (con criaderos porcinos y *feedlots*) y, en menor medida, en los departamentos de General Güemes, General Donovan, Comandante Fernández y 1° de Mayo, también con ambos tipos de establecimientos. Asimismo, en los departamentos del sudoeste del Chaco se visualiza una gran cantidad de establecimientos porcinos, lo que marca el potencial que se ofrece para la generación de biogás (Mapa 15).

### Cuadro 15

Potencial de generación de biogás estimado por tipo de animal

#### Fuente

Adaptado por Mariano Butti (FAO, 2016b) en base a Flores *et al.* (2009) y Hilbert (2008)

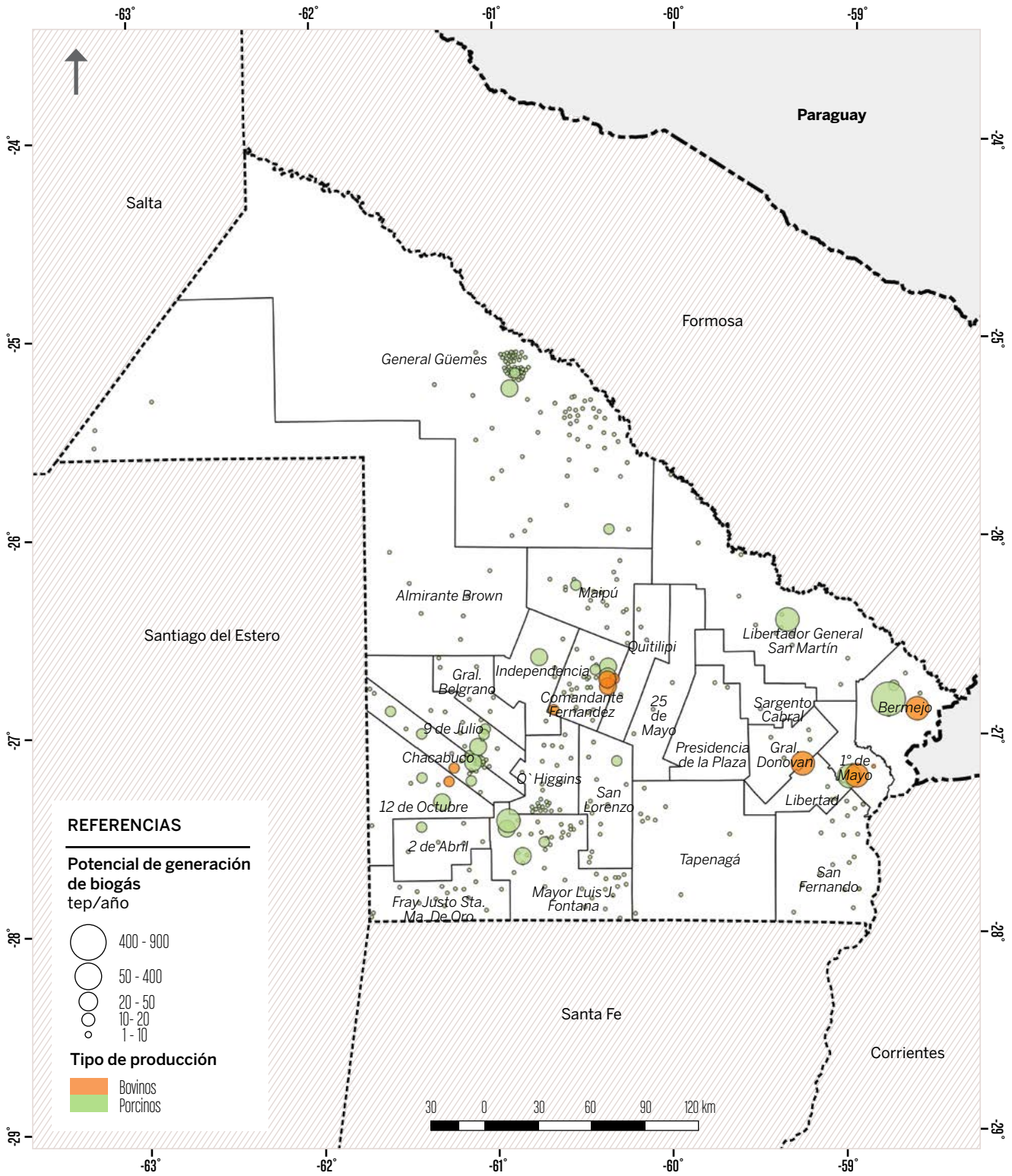
	<i>Feedlots</i>	Porcino
Biogás (m <sup>3</sup> /kg estiércol fresco)	0,0315	0,0495
Biogás (m <sup>3</sup> /animal/año)	274,3	61,45
Energía (kcal/animal/año)	1508 627	337 962
Energía (tep/animal/año)	0,1509	0,0338

**Cuadro 16**

Oferta potencial de biogás, por fuente y departamento

Departamento	Biogás (tep/año)		Total (tep/año)
	Porcinos	Feedlots	
Almte. Brown	46,20	–	46,20
Bermejo	893,20	124,76	1017,97
Cmte. Fernández	181,86	111,49	293,35
Chacabuco	173,92	11,77	185,68
12 de Octubre	94,36	10,11	104,47
2 de Abril	21,29	–	21,29
Fr. J. Sta. María de Oro	72,16	–	72,16
Gral. Belgrano	13,21	–	13,21
Gral. Donovan	18,86	379,87	398,73
Gral. Güemes	405,49	–	405,49
Independencia	41,84	–	41,84
Libertad	15,88	–	15,88
Lib. Gral. San Martín	91,49	–	91,49
Maipú	93,99	–	93,99
My. L.J. Fontana	296,49	–	296,49
9 de Julio	83,65	–	83,65
O` Higgins	103,72	–	103,72
Prescia. De la Plaza	6,02	–	6,02
1º de Mayo	62,93	134,42	197,35
Quitilipi	14,40	–	14,40
San Fernando	55,46	–	55,46
San Lorenzo	60,12	–	60,12
Sgto. Cabral	1,89	–	1,89
Tapenagá	21,43	–	21,43
25 de Mayo	17,47	–	17,47
<b>Total</b>	<b>2 887,32</b>	<b>772,42</b>	<b>3 659,74</b>

**Mapa 15.** Potencial de generación bioenergético por tipo de producción  
**Fuente.** Elaborado por los autores





## Conclusiones

Los resultados del presente análisis refuerzan la noción de que la provincia del Chaco tiene un gran potencial bioenergético, debido especialmente al volumen que ofrece la biomasa de los bosques nativos, las desmotadoras, los hornos de carbón y, en menor medida, la industria forestal, el cultivo de arroz y sus molinos arroceros, además de las forestaciones, y la potencialidad de la biomasa húmeda, susceptible de producir energía renovable.

Este trabajo pretende constituir un aporte técnico para apoyar la presentación de proyectos bioenergéticos de diferentes escalas capaces de producir distintos vectores energéticos (biogás, electricidad, calor) de manera sustentable.

Para ello, tal como se recomienda en el WISDOM Argentina, se profundizó y enriqueció la metodología a nivel provincial, considerando no sólo el incremento medio anual del bosque nativo, sino también los recursos provenientes del agro y la industria forestal, los residuos de cosecha y los provenientes del manejo de los cultivos con un mayor nivel de detalle (mayor resolución espacial). Adicionalmente, se estimó el potencial de energía a partir de la oferta de biomasa húmeda proveniente de los establecimientos bovinos (*feedlots*) y porcinos.

Las actividades llevadas a cabo por el equipo del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA) y el Centro Regional Chaco-Formosa del INTA permitieron arribar a esta versión final del análisis espacial del balance energético derivado de biomasa aplicando la metodología WISDOM en Chaco.

Considerando los recursos biomásicos existentes, aproximadamente el 43% de la oferta directa accesible se distribuye en los departamentos de Almirante Brown y General Güemes debido fundamentalmente a la oferta del bosque nativo. La mayor disponibilidad de biomasa está dada por el uso sustentable del bosque nativo y otras formaciones leñosas, con un total de 3 556 825,11 t/año, volumen que se encuentra distribuido por todo el territorio aunque principalmente en los departamentos de General Güemes, Almirante Brown, Libertador General San Martín y Maipú. En tanto, el potencial biomásico a partir de cultivos suma en conjunto solamente 10 473,17 t/año y está representado por las forestaciones y el arroz. Especialmente, este último se concentra en el departamento de Bermejo, con una alta oferta local que, si bien por cuestiones de accesibilidad se restringe a un 30% del total del cultivo, permitiría hacer un aprovechamiento bioenergético mediante una buena gestión del residuo.

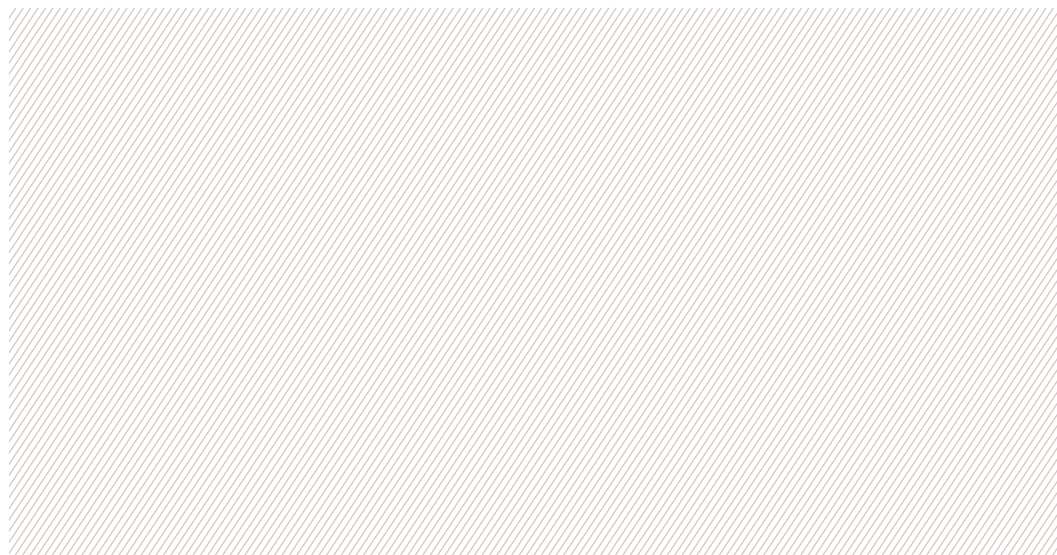


© INTA

---

En Chaco no hay ningún departamento que presente déficit de recursos biomásicos. Sin embargo, cuando se analiza a nivel de radios censales aparecen sectores deficitarios, especialmente en los centros urbanos de las ciudades de la provincia, donde los aportes de la oferta directa se ven ampliamente superados por la demanda de biomasa energética del sector residencial.

Asimismo, en este estudio se avanzó en la evaluación del potencial de biogás derivado del aprovechamiento de las deyecciones de ganadería vacuna y porcina, en lo que se destaca el departamento de Bermejo, con una oferta de 1 017,97 tep, el 30% de la oferta potencial de biogás del Chaco. Explotar ese potencial incidiría sosteniblemente en las prácticas productivas de estos establecimientos, ya que, por un lado, favorecería el reemplazo de fuentes fósiles por renovables y, por el otro, a través de una gestión adecuada de los residuos, evitaría un pasivo ambiental y generaría biofertilizantes.



# 8.



© INTA

## Recomendaciones

Considerando 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 de dendro y agroenergía, se hace más necesario contar con un grupo técnico multidisciplinario para el análisis de la información. Por lo tanto, se recomienda la conformación de una Unidad Provincial Ejecutora para otorgar un marco institucional a la actualización del WISDOM Chaco que enriquezca el análisis espacial incorporando fuentes que no fueron consideradas en este estudio. Es menester contemplar siempre la protección de 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, resultará de interés que los organismos provinciales y nacionales puedan, en forma conjunta, instrumentar mecanismos 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.

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 y el análisis de biocuencas de abastecimiento, junto con estudios sobre la ubicación óptima de plantas consumidoras de biomasa con fines energéticos, facilitarán la formulación de políticas públicas y estrategias energéticas.

La combinación, a nivel geográfico, de dendro y agroenergía con otros aspectos producirá una aproximación más cercana a esta temática tan multifacética referente a la bioenergía, y generará un nivel de conocimiento y de capacidad de formular políticas y planes adaptados a las realidades locales.

Con respecto al análisis espacial, se realizan las siguientes recomendaciones:

- **Módulo de oferta directa:**

- Rever sistemas de cosecha, cuantificar residuos, determinar su humedad, su transporte y formas de densificación.
- Cultivos: constatar en campo los valores asignados de productividad por cultivo y provincia fitogeográfica; relevar e incorporar información perteneciente a todos aquellos cultivos que generan residuos potencialmente utilizables con fines energéticos.
- Forestaciones: actualizar el estado de las forestaciones, su georeferenciación y cantidad total en la provincia y determinar el volumen

---

de residuo generado. En cada rodal, relevar especie, densidad y diámetro cuadrático medio (o edad de la plantación). Asimismo, desarrollar ecuaciones alométricas para aquellas especies de las que no se tiene información. Con respecto a la estimación de la oferta por forestaciones, sería conveniente poder actualizar los datos y también plantear que en muchos casos las plantaciones de algarrobo están planteadas con un manejo silvopastoril.

- Bosques nativos: incorporar al modelo una tabla de productividad de bosques con mayor detalle. Realizar mediciones del estrato arbustivo para mejorar la estimación de biomasa de esas formaciones y hacer remediciones a fin de estimar su productividad.

- Fomentar el uso de biomasa proveniente de especies exóticas o de cultivos: constatar en campo los valores asignados de productividad por cultivo y fitogeográfica; relevar e incorporar información perteneciente a todos aquellos cultivos que generan residuos potencialmente utilizables con fines energéticos, como algodón, forestaciones, tabaco y arroz.

- Tabaco: elaborar una capa geoespacial que represente la distribución del tabaco y asignar un valor de residuo diferenciado según distintos niveles productivos, especialmente porque hay dos cooperativas que comercializan el tabaco en la provincia.

• **Módulo de oferta indirecta:**

- Industria forestal: localizar todos los establecimientos de la primera y segunda transformación de la madera. Cuantificar el volumen de residuo generado o, en su defecto, la producción anual. Analizar la disposición final del residuo.

- Desmotadoras de algodón: actualizar la información en cuanto a localización espacial de las plantas y volúmenes procesados.

- Poda urbana: estimar e incluir el volumen anual y composición (proporción de hojas y ramas, humedad, especie) de los residuos de poda urbana por localidad, en toda la provincia.

• **Módulo de demanda:**

- Ladrilleras: mejorar la georreferenciación y actualizar las producciones, especialmente por la demanda de leña y el consumo de residuos de las desmotadoras y aserraderos en la cocción de los ladrillos. Calcular el consumo de biomasa con fines energéticos de cada uno de ellos o, en su defecto, constatar la correlación entre unidad producida y consumo de leña requerido.

- Parrillas, panaderías y hotelería: relevar todos los comercios que utilizan biomasa con fines energéticos y cuantificar el volumen de leña y/o carbón vegetal consumido.



---

---

## Bibliografía

**APAT.** 2003. *Le biomasse legnose. Un'indagine delle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia*, Roma.

**Banco Mundial.** 1995. *Vehicle operating cost (VOC). Versión 3.0. HDM III The highway design and maintenance standards model*. Washington.

**Bejarano, M.O.** 2016. *Valor Agregado y sustentabilidad forestal en el bosque chaqueño*, Departamento General Güemes, Chaco. Ponencia presentada en las XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos, septiembre de 2016. Concordia (Argentina).

**Bernal-González, M.** 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*. Tecnología, Ciencia, Educación, vol. 27, N.º 2, julio-diciembre 2012. Monterrey (México), págs. 80-88.

**Burkart, R. et al.** 1999. *Ecorregiones de la Argentina*. Administración de Parques Nacionales y Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires.

**Cabrera, Á.** 1971. *Fitogeografía de la República Argentina*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 1-2. Buenos Aires, págs. 1-42.

**CONES.** 2007. *Producción Forestal en Chaco*. Libro CONES. Capítulo 4. Consejo Económico y Social de la Provincia del Chaco. Resistencia (Argentina). (disponible en: [http://coneschaco.org.ar/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&id=5:libro-cones&Itemid=162](http://coneschaco.org.ar/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=5:libro-cones&Itemid=162)).

**CONES.** 2010. *Información demográfica de la Provincia del Chaco. Actualizado hasta 2010*, Consejo Económico y Social de la Provincia del Chaco, Resistencia (Argentina). (disponible en: [http://www.coneschaco.org.ar/wp/?page\\_id=42](http://www.coneschaco.org.ar/wp/?page_id=42)).

**CONES.** 2016. *Dinámica y composición del sector agropecuario en Chaco*, Consejo Económico y Social de la Provincia del Chaco, Resistencia (Argentina). (disponible en [http://www.coneschaco.org.ar/images/pdf/trabajosinvestigacion/agro\\_chaco\\_2016.pdf](http://www.coneschaco.org.ar/images/pdf/trabajosinvestigacion/agro_chaco_2016.pdf)).

**Dirección de Bosques.** 2015. *Estadísticas Forestales 2015*. Dirección de Bosques de la Provincia del Chaco. (disponible en <http://direcciondebosques.blogspot.com/p/estadisticas.html>).

**FAO.** 2002. "Producción y uso del carbón vegetal en África". *Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales* Vol. N.º 53. Roma.

**FAO.** 2004. *Terminología Unificada sobre la Bioenergía (TUB). Terminología de los dendrocombustibles sólidos*, Departamento Forestal de la FAO, 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*, FAO Forestry Paper N.º 162, Roma.

**FAO.** 2010b. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe Nacional Argentina*, Roma.

**FAO.** 2016a. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Tucumán*. Buenos Aires. Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG) – FAO (disponible en: [http://www.probiomasa.gov.ar/\\_pdf/WISDOM\\_Tucuman\\_baja.pdf](http://www.probiomasa.gov.ar/_pdf/WISDOM_Tucuman_baja.pdf)).

**FAO.** 2016b. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Salta*. Buenos Aires. Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG) – FAO (disponible en: [http://www.probiomasa.gov.ar/\\_pdf/WISDOM\\_Salta\\_baja.pdf](http://www.probiomasa.gov.ar/_pdf/WISDOM_Salta_baja.pdf)).

**FAO.** 2016c. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de La Pampa*. Buenos Aires. Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG) – FAO (disponible en: [http://www.probiomasa.gov.ar/\\_pdf/WISDOM\\_laPampa\\_baja.pdf](http://www.probiomasa.gov.ar/_pdf/WISDOM_laPampa_baja.pdf)).

**FAO.** 2017a. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Mendoza*. Buenos Aires. Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa

---

(UTF/ARG/020/ARG) – FAO (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. Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG) – FAO (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)).

**Flores Marco, N. et al.** 2009. *Potencial de producción de biogás en la provincia de Santa Fe*, Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Buenos Aires. Mimeo.

**Hansen, M., Potapov, P., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., Thau, D.** 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change". *Science* Vol. 342. Washington DC. American Association for the Advancement of Science (disponible en: [10.1126/science.1244693](http://10.1126/science.1244693)).

**Hilbert, J.** 2008. *Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural.* INTA Castelar. Buenos Aires.

**IEA.** 2009. *Bioenergy – a sustainable and reliable energy source. A review of status and prospects.* París.

**INDEC.** 2010. *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas.* Ministerio de Economía. Buenos Aires.

**Kees, S. et al.** 2015. "Contribución al conocimiento del ingreso bruto de un sistema silvopastoril en la provincia del Chaco". *3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles: VII Congreso Internacional Sistemas Agroforestales*, Ediciones INTA, Santa Cruz (Argentina).

**Kozak Grassini, A. et al.** 2012. "Propuesta de Política Agroindustrial", documento de trabajo realizado en el marco de un convenio entre la Cámara de Diputados de Chaco y el INTA, UNNE, UTN y UNCAUS. (Mimeo).

**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. Santiago del Estero (Argentina).

**Manrique, S. et al.** 2011. "Propuesta metodológica para la toma de decisiones sobre bioenergía en un contexto complejo y diverso". *Avances en Energías*

*Renovables y Medio Ambiente* 12. ASADES. Salta (Argentina).

**MAGyP.** 2015. *Avances en la silvicultura del Algarrobo Blanco.* Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Buenos Aires. (disponible en: <http://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/biblioteca-forestal/algarrobo-blanco-avances-en-la-silvicultura.pdf>).

**Ministerio de Agroindustria.** 2017. Datos abiertos del Ministerio de Agroindustria. República Argentina. (Disponible en <https://datos.magyp.gob.ar/>).

**Ministerio de la Producción.** 2005. *Inventario Forestal de la Provincia del Chaco.* Ministerio de la Producción de la Provincia del Chaco.

**Ministerio de la Producción.** 2007. *Manual para el manejo forestal sustentable de los bosques nativos de la Provincia del Chaco.* Ministerio de la Producción de la Provincia del Chaco.

**MINEM.** 2012. *Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (Permer).* (disponible en: <http://permer.minem.gob.ar/www/836/25525/chaco>).

**MIMEM.** 2015. *Informe estadístico del sector eléctrico 2015.* Buenos Aires (disponible en <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=4219>)

**Ministerio de Energía.** 2016. Balance Energético Nacional (BEN) 2016. Buenos Aires (disponible en <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>).

**RIAN.** 2010. *Zonificación RIAN Chaco-Formosa.* Red de Información Agropecuaria Nacional. Centro Regional Chaco-Formosa (disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/zonificacion-rian-de-chaco-formosa>).

**Secretaría de Energía.** 2009. *Energías Renovables. Diagnóstico, barreras y propuestas.* Área de Energías Renovables, Dirección Nacional de Promoción, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Buenos Aires.

**Sosa, N.** 2015. *Reposición de nutrientes con la utilización de residuos pecuarios.* INTA. (Disponible en [http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_aprovechamiento\\_de\\_residuos\\_pecuarios.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aprovechamiento_de_residuos_pecuarios.pdf))

**Sultana, A. y Kumar A.** 2012. "Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors". *Biomass and Bioenergy*, Alberta (Canadá).

---

# Anexo I

## Marco normativo

---

La Ley 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 ellos brindan a la sociedad. En esta Ley se establecen tres categorías de bosques, 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 ser 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 podrán 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.

# ANÁLISIS ESPACIAL DEL BALANCE ENERGÉTICO DERIVADO DE BIOMASA

METODOLOGÍA WISDOM

Provincia del Chaco

---

# N° 9

COLECCIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS

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

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

ISBN 978-92-5-130899-8



9 7 8 9 2 5 1 3 0 8 9 9 8

CA1313ES/1/09.18