



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

ANÁLISIS ESPACIAL DEL BALANCE ENERGÉTICO DERIVADO DE BIOMASA

METODOLOGÍA WISDOM

Provincia de Misiones

COLECCIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS

Nº 13



Secretaría de Energía
Ministerio de Hacienda
Presidencia de la Nación



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

ANÁLISIS ESPACIAL DEL BALANCE ENERGÉTICO DERIVADO DE BIOMASA

METODOLOGÍA WISDOM

Provincia de Misiones

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

Martiarena, R., Silva, F., Alvarenga, F., Keller, A., Marastoni, A. y Correa, M. 2019.
Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM.
Provincia de Misiones. Colección Documentos Técnicos N. ° 13. Buenos Aires. FAO

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 978-92-5-131668-9

© FAO, 2019



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. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: copyright@fao.org.

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

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

Luis Miguel Etchevehere
Ministro de Agricultura, Ganadería
y Pesca de la Nación

Andrés Murchison
Secretario de Alimentos y Bioeconomía

Miguel Almada
Director de Bioenergía

Ministerio de Hacienda

Nicolás Dujovne
Ministro de Hacienda

Gustavo Lopetegui
Secretario de Gobierno 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

Hivy Ortiz Chour
Oficial Forestal Principal
Oficina Regional América Latina

Francisco Yofre
Oficial de Programas
Oficina Argentina

Rodolfo Martiarena
Fidelina Silva
Fernando Alvarenga
Aldo Keller
Ariel Marastoni
Miguel Correa
Autores

Celina Escartín
Francisco Denaday
Guillermo Parodi
Coordinación y supervisión técnica

Verónica González
Coordinación Colección

Sofía Damasseno
Colaboración Colección

Alejandra Groba
Edición y corrección

Mariana Piuma
Diseño e ilustraciones



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

ÍNDICE

Prólogo	ix
Agradecimientos	xi
Siglas y acrónimos	xiii
Unidades de medida	xiii
Resumen ejecutivo	xv

1.

Introducción	1
Ejecución de los WISDOM provinciales	3

2.

Bioenergía	5
------------	---

3.

Marco de referencia geográfico y ambiental	9
---	---

4.

Sistemas bioenergéticos y metodología WISDOM	15
---	----

5.

Módulos y resultados del WISDOM Misiones	21
5.1 Unidad de análisis y resolución espacial	21
5.2 Módulo de oferta directa	21
5.2.1 Cultivos	22
5.2.2 Bosques nativos	56
5.3 Módulo de oferta indirecta	63
5.4 Módulo de demanda	71
5.5 Módulo de integración	76

6.

Módulo de oferta de biomasa húmeda	79
Industria mandioquera	79
Frigoríficos bovinos	79
Feedlots	79
Frigoríficos porcinos	79

7.

Conclusiones	80
--------------	----

8.

Recomendaciones	82
-----------------	----

Bibliografía	84
--------------	----

Anexo	87
-------	----

Cuadros

Cuadro 1	IMA en forestaciones convencionales por edad y especie	31
Cuadro 2	IMA en forestaciones de alta densidad por edad y especie	32
Cuadro 3	Oferta directa por cultivo y departamento	55
Cuadro 4	Oferta directa de bosque nativo por departamento	59
Cuadro 5	IMA de fuste en forestaciones convencionales por especie	65
Cuadro 6	Oferta indirecta por cultivo y departamento	69
Cuadro 7	Oferta indirecta de bosques nativos por departamento	70
Cuadro 8	Demanda de biomasa por departamento y actividad productiva	75
Cuadro 9	Balance de biomasa	76

Mapas

Mapa 1	Red vial de la provincia	12
Mapa 2	Distribución de las plantaciones forestales	23
Mapa 3	Plantaciones forestales convencionales	24
Mapa 4	Plantaciones forestales de alta densidad	25
Mapa 5	Oferta directa potencial de forestaciones convencionales de <i>Pinus</i>	34
Mapa 6	Oferta directa potencial de forestaciones convencionales de <i>Eucalyptus</i>	35
Mapa 7	Oferta directa potencial de forestaciones convencionales de <i>Araucaria angustifolia</i>	36
Mapa 8	Oferta directa potencial de forestaciones convencionales de otras especies forestales	37
Mapa 9	Oferta directa potencial total de forestaciones convencionales	38
Mapa 10	Oferta directa potencial de forestaciones de <i>Pinus</i> con manejo de alta densidad	39
Mapa 11	Oferta directa potencial de forestaciones de <i>Eucalyptus</i> con manejo diferencial	40
Mapa 12	Oferta directa potencial de forestaciones con alta densidad y manejo diferencial	42
Mapa 13	Oferta directa potencial total de forestaciones	43

Mapa 14	Oferta directa potencial total de forestaciones por tipo y departamento	44
Mapa 15	Oferta directa potencial de plantaciones de cítricos	45
Mapa 16	Oferta directa potencial de plantaciones de yerba mate	47
Mapa 17	Oferta directa potencial de plantaciones de té	48
Mapa 18	Oferta directa potencial de plantaciones de mandioca	50
Mapa 19	Oferta directa potencial de plantaciones de caña de azúcar	51
Mapa 20	Oferta directa potencial de plantaciones de tabaco	52
Mapa 21	Oferta directa potencial total de cultivos	53
Mapa 22	Oferta directa potencial total de cultivos y peso relativo por departamento	54
Mapa 23	Zonas de bosques nativos	57
Mapa 24	Distribución de las zonas de acuerdo con el OTBN	58
Mapa 25	Oferta directa potencial de bosques nativos	60
Mapa 26	Accesibilidad física	62
Mapa 27	Accesibilidad total (física y legal)	64
Mapa 28	Oferta indirecta total de cultivos	68
Mapa 29	Balance entre oferta potencial y demanda de biomasa	77

Gráficos

Gráfico 1	Composición de la oferta interna de energía primaria en la Argentina	6
Gráfico 2	Modelo Conceptual WISDOM Misiones	19
Gráfico 3	Distribución de las forestaciones de Misiones por edad	32

Imágenes

Imagen 1	Residuos de poda en plantaciones de <i>Pinus sp.</i>	26
Imagen 2	Biomasa forestal remanente luego de la cosecha de plantaciones de <i>Pinus taeda</i>	27
Imagen 3	Residuos de poda en plantaciones de <i>Araucaria angustifolia</i>	29



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

Prólogo

La matriz energética argentina está conformada, en su gran mayoría, por combustibles fósiles. Esta situación presenta desafíos y oportunidades para el desarrollo de las energías renovables, ya que la gran disponibilidad de recursos biomásicos en todo el territorio nacional constituye una alternativa eficaz frente al 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 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, acorde a su potencial, la proporción de bioenergía en la matriz energética nacional.

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

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

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

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

Esta Colección de Documentos Técnicos pone a disposición 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 Argentina.

Agradecimientos

La elaboración de esta publicación ha sido posible gracias a la cooperación de diferentes organismos públicos y privados del ámbito nacional, provincial y municipal. A nivel nacional, se agradece al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA); al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC); al Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI); al Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA); a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones (FCF - UNaM) y al Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM).

A nivel provincial, colaboraron la Subsecretaría de Ordenamiento Territorial y Dirección de Manejo Sustentable de Bosques Nativos, dependientes de la Dirección General de Bosques Nativos del Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables; la Secretaría de Estado de Energía; la Subsecretaría de Desarrollo Forestal y la Subsecretaría de Desarrollo y Producción Animal, ambas dependientes del Ministerio del Agro y la Producción; y el Ministerio de Industria de Misiones.

También se agradece la información brindada por cooperativas, empresas, asociaciones de productores y municipios, entre ellos, la Cooperativa Agroindustrial de Misiones Limitada (CTM); la Cooperativa Agrícola Mixta de Montecarlo; la Comisión de Tabaco de la Provincia de Misiones (COTAPROM); el Ingenio Azucarero San Javier; las empresas Arauco Argentina SA, Pindo SA, Papel Misionero - Arcor (Ex Grupo Zucamor), Establecimiento Don Guillermo SRL, Lipsia – Bioenergía, GP Energy SA, Bioenergy International y COFRA; los responsables de las secretarías de obras públicas de los municipios de Oberá, Eldorado, Montecarlo, Jardín América, Posadas, Leandro N. Alem, Colonia Wanda, Puerto Esperanza, Concepción de la Sierra, Gobernador Roca, Santo Pipó y Cerro Azul, y a los técnicos referentes en diferentes temáticas que aportaron sus conocimientos para la determinación de los coeficientes utilizados.

Asimismo, cabe un agradecimiento a Agustina Branzini y Juan Ignacio Paracca por su cuidadosa revisión de este documento.



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

Siglas y acrónimos

AICA: Áreas Importantes para la Conservación de las Aves
COTAPROM: Comisión de Tabaco de la Provincia de Misiones
CTM: Cooperativa Agroindustrial de Misiones Limitada
DNV: Dirección Nacional de Vialidad
EEA: Estación Experimental Agropecuaria
FCAE: Ferrocarril Argentino del Este
FCCBA: Ferrocarril Central de Buenos Aires
FCER: Ferrocarril de Entre Ríos
FCNEA: Ferrocarril Nordeste Argentino
IGN: Instituto Geográfico Nacional
IMA: Incremento medio anual
INDEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos
INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
INTI: Instituto Nacional de Tecnología Industrial
INYM: Instituto Nacional de la Yerba Mate
OTBN: Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos
SENASA: Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria
SIFIP: Sistema de Información Foresto Industrial Provincial
SIG: Sistema de Información Geográfica
UNaM: Universidad Nacional de Misiones
UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México
WISDOM: Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping

Unidades de medida

°C: grado Celsius
cm: centímetro
ha: hectárea
kg: kilogramo
kg/ha: kilogramo por hectárea
km²: kilómetro cuadrado
m: metro
m³/ha: metro cúbico por hectárea
m³/(ha*año): metro cúbico por hectárea por año
t/ha: tonelada por hectárea
mm: milímetro
pl/ha: plantas por hectárea
t: tonelada
t/año: tonelada por año
t/px: tonelada por píxel
t/(ha.año): tonelada por hectárea por año

Resumen ejecutivo

El objetivo del presente trabajo fue identificar y cuantificar la disponibilidad y el consumo de los recursos biomásicos de Misiones. Se realizó un diagnóstico tanto de la oferta de biomasa que podría ser potencialmente utilizada en generación de energía en la provincia, como de la demanda. El balance se desagregó a nivel departamental y por radio censal, con lo que se construyó una base de datos geoespacial a partir de información brindada por diferentes organismos y empresas. Se identificaron siete fuentes como posibles generadoras de biomasa de manera directa: del total potencial, de 4 725 000 t/año, las plantaciones forestales aportan el 64%, seguidas de las de té (24%), mandioca (6%), yerba mate (3%), tabaco (2%), cítricos (0,4%) y caña de azúcar (0,1%).

En cuanto a oferta indirecta de biomasa para generación de energía, se identificaron como posibles aportantes las plantaciones forestales (88%), seguidas de caña de azúcar (5%), poda urbana (3%), té (2%), yerba mate (1%) y mandioca (1%). Su aporte potencial de biomasa en conjunto se acerca a 1 721 000 t/año.

También se estimó el potencial aporte de biomasa del bosque nativo, que alcanzaría 3 613 905 t/año en forma directa y 3 355 729 t/año como oferta indirecta.

El consumo de biomasa supera los 5 755 000 toneladas al año (t/año), liderado por las papeleras y generadoras de energía, que demandan el 69% del total. Los secaderos de madera, yerba mate y té utilizan el 10, 8 y 4%, respectivamente, mientras el resto se reparte entre industrias de menor envergadura.

El balance entre oferta y demanda de biomasa evidencia un superávit a nivel provincial. Los departamentos del sur tienen menor oferta que los del norte, lindantes al río Paraná; no obstante, estos últimos también registran mayor consumo y, por ello, presentan déficits. Lo mismo ocurre en la zona tealera y yerbatera del centro sur de la provincia, con una interesante oferta de biomasa pero que no alcanza para cubrir la necesidad de dichas industrias.

En resumen, si bien la información contenida en el presente informe debe ser actualizada periódicamente y ajustar algunos parámetros, muestra que Misiones cuenta con una importante oferta de biomasa con posibilidades de ser utilizada para la generación de energía.

1. INTRODUCCIÓN



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

El análisis WISDOM no se acota solo a dendrocombustibles (leña, carbón vegetal, residuos forestales y de la industria forestal), sino que incluye bagazo, orujos, cascarillas, residuos de cosecha y otros tipos de biomasa.

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 trabajo *Análisis del Balance de energía derivada de Biomasa en Argentina - WISDOM Argentina*¹ (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 la Argentina es un país que cuenta con abundantes cantidades de biomasa apta y disponible para uso energético.

La metodología WISDOM fue desarrollada por la FAO, en cooperación con el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), como herramienta para visualizar espacia-

cialmente las áreas prioritarias para el desarrollo de combustibles leñosos. Esta metodología está basada en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten integrar y analizar información estadística y espacial sobre la producción (oferta) y consumo (demanda) de combustibles.

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 mate, 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

¹ Proyecto de Cooperación Técnica TCP/ARG/3103.

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, ma-
taderos, 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 orígenes de aprovisionamiento, suministrada por fuentes primarias (encuestas y censos) y secundarias (entes gubernamentales, organismos descentralizados y estudios científicos).
- Conocer la disponibilidad de recursos de biomasa, lo que resulta 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, el equipo de Fortalecimiento Institucional del Proyecto tuvo como principal tarea evaluar los recursos biomásicos disponibles para la generación de energía aplicando la metodología WISDOM a escala provincial. En una primera etapa se evaluaron 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, el proyecto 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 siete 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.

En cada provincia, el análisis espacial de la oferta y la demanda de biomasa se pudo llevar a cabo tras un largo proceso interinstitucional que generó conocimiento y redes de trabajo, condiciones fundamentales para formular políticas públicas y promover proyectos de bioenergía.

Ejecución de los WISDOM provinciales

En el marco de la Carta de Acuerdo, el Centro Regional del INTA de Misiones estableció una nómina de técnicos especializados de las estaciones experimentales agropecuarias (EEA) Montecarlo y Cerro Azul para llevar adelante el relevamiento en el ámbito provincial, adaptando la metodología a la realidad productiva, energética y sociodemográfica provincial.

El equipo fue coordinado y asistido 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. Se estableció la estrategia para recopilar la información ya procesada en el INTA y otras instituciones, sin realizar relevamiento a campo.

El trabajo se organizó en función de los cultivos que mostraban a priori mayor aporte potencial de biomasa para generación de energía, así como de las actividades que más la demandaban. Entre los primeros aparecían los forestales, por la superficie y la biomasa que podrían aportar en forma directa e indirecta; y también los de yerba mate –con mayor superficie– y de té. Además, se identificaron los cultivos de mandioca, caña de azúcar, cítricos, tabaco y el arbolado urbano.

En cuanto a los bosques nativos, se decidió contemplar en primer lugar las restricciones legales que los protegen por razones ambientales e incorporar aquellas zonas que no están clasificadas en el OTBN y que permiten considerar la conservación del ambiente en su conjunto, como es el caso de la reserva de biósfera, AICAs y corredores de biodiversidad.

Respecto de la demanda, sobresalían sectores productivos como el forestal, los generadores de energía eléctrica a partir de biomasa, el tealero y el yerbatero. Y se relevaron otros más, como el tabacalero, cañero, cítrícola, frigorífico, carbonero y de calderas para otros usos industriales, además de calcular el consumo por hogares y escuelas, tanto para la preparación de alimentos como para calefacción.

Adicionalmente, se identificaron también algunos sectores que podrían aportar biomasa húmeda, como el citrícola, el mandioquero y los frigoríficos, cuyo aporte para la generación de biogás resulta de interés.

Los datos se obtuvieron por medio de consultas a organismos y empresas. El INTA fue un actor clave, ya que permitió acceder a información de investigaciones y de técnicos referentes. En diciembre de 2016, se realizó en la ciudad de Posadas un taller de capacitación dictado por consultores de la FAO, destinado a técnicos especialistas en SIG de las provincias de Corrientes y Misiones, sobre la implementación de la metodología WISDOM.

Esta metodología requiere el armado de módulos con gran volumen de información. Para ello, se evaluaron las posibles fuentes de información, su nivel de detalle y grado de actualización. Una vez obtenidos los datos correspondientes, se calcularon los coeficientes para cada uno de los cultivos. Posteriormente, para cada módulo considerado se armaron modelos en Dinamica EGO, que permiten realizar operaciones entre mapas ráster (lo que se conoce como álgebra de mapas), pudiendo por ejemplo incorporar información en formato matricial y vectorial para realizar reclasificaciones.

Luego se corrieron los modelos y se obtuvieron los mapas que se presentan en este trabajo. Por último, se cotejó la información y los mapas de cada modelo con el conocimiento de campo de los técnicos.

2. BIOENERGÍA



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

Cerca del 90% de la energía que consume Misiones es hidroeléctrica, y en 25 años demandaría toda la que produce la represa Yacyretá. La política energética provincial es duplicar la generación en 10 años, en gran medida con biomasa.

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 (FAO, 2004). 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).

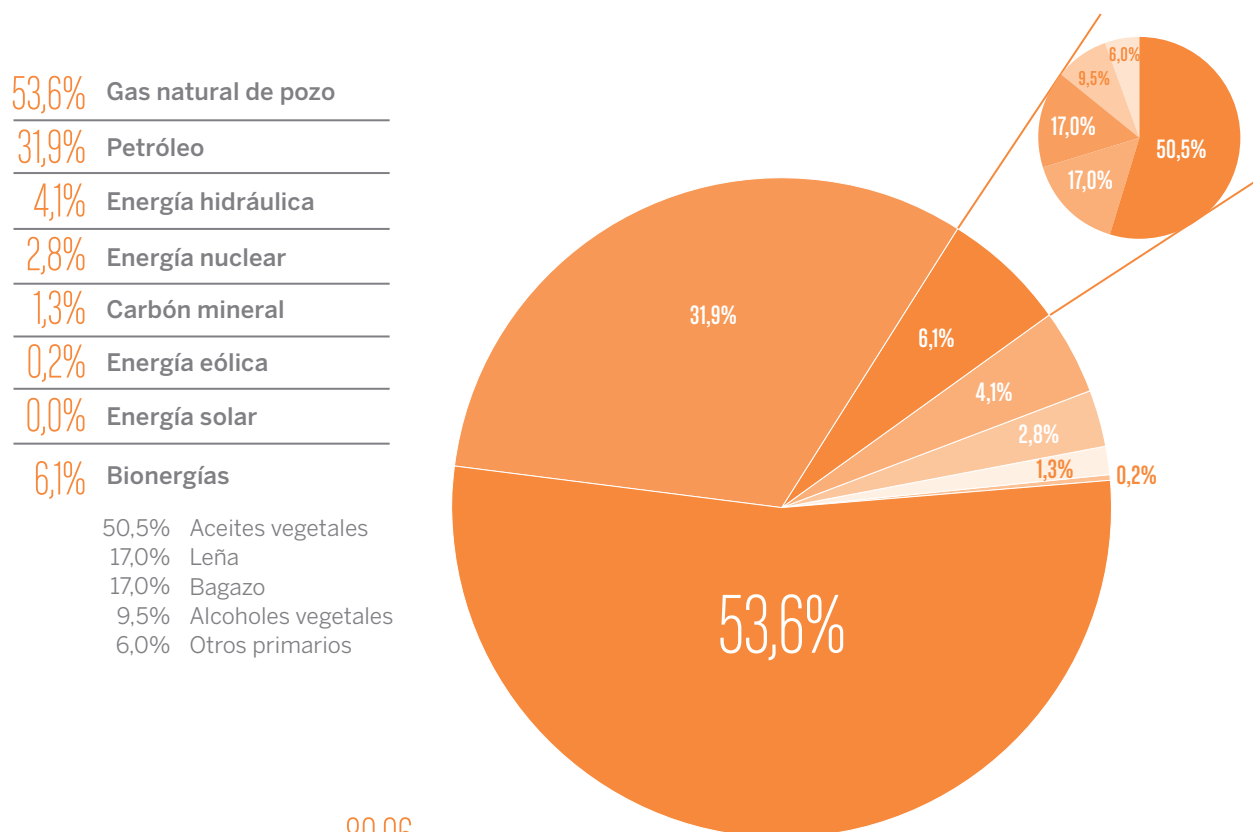
Es necesario tener en cuenta que la biomasa es una fuente de baja densidad energética, que se encuentra ampliamente dispersa y que tiene una alta dependencia geográfica. Esto hace que el costo de transporte constituya una parte significativa del costo de producción, que puede alcanzar entre 33 y 50% 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.

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).

Gráfico 1

Composición de la oferta interna de energía primaria en la Argentina



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

Fuente: MINEM (2016)

Misiones tiene otra realidad energética. Se estima que el 90% de la energía que consume es de fuente hidroeléctrica, y que en 25 años demandará toda la que produce la represa hidroeléctrica Yacyretá, que actualmente aporta el 17% de la energía del país. La provincia busca duplicar su matriz energética en los próximos diez años con distintas fuentes de generación a través de proyectos que ya están en marcha, basados esencialmente en el aprovechamiento de la biomasa forestal y orgánica².

A fin de implementar medidas tendientes a generar energía para abastecer la demanda actual y la proyectada, entre otras cuestiones, la legislatura provincial aprobó la Ley XVI – N.º 106, relativa al marco regulatorio de los recursos dendroenergéticos renovables de su territorio. Uno de los objetivos de la ley es la mejora de la eficiencia energética de las agroindustrias en el uso y manejo de leña renovable y otros productos de biomasa forestal. Además, en línea con el objetivo provincial de cambiar la matriz energética, se están emprendiendo distintos proyectos de transformación de biomasa en energía, como así también pequeñas usinas hidroeléctricas en los arroyos del interior³. La provincia también tiene la Ley 97 (antes Ley 4439), de promoción para la investigación, desarrollo y uso sustentable de fuentes de energías renovables no convencionales, biocombustibles e hidrógeno. Así también, en agosto de 2016, la legislatura provincial aprobó la Ley de Balance Neto, que tiene por objeto establecer las condiciones administrativas, técnicas y económicas para aplicar esa modalidad de suministro de energía eléctrica. En la norma se entiende como consumo de balance neto el consumo instantáneo o diferido de la energía eléctrica que hubiera sido producida en el interior de la red de un punto de suministro o instalación de titularidad de un usuario y que estuviera destinada al consumo propio.

² <http://misionesonline.net/2016/06/07/misiones-busca-duplicar-la-matriz-energetica-en-los-proximos-diez-anos/>

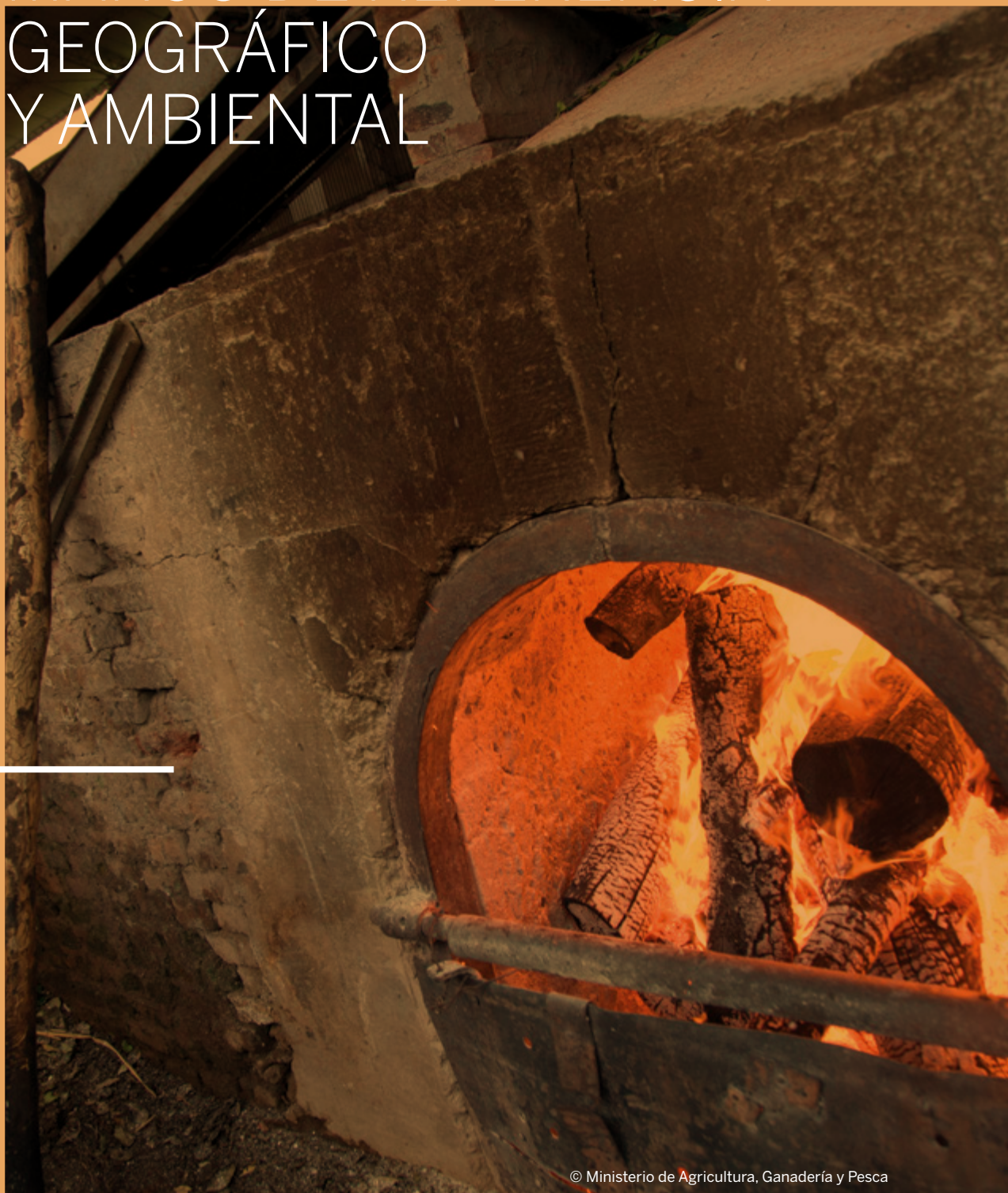
³ <http://misionesonline.net/2017/05/17/la-provincia-trabaja-dos-lineas-proyectos-producir-energias-limpias/>

Respecto al balance bioenergético de la provincia de Misiones, el sector forestal es un gran consumidor debido a grandes industrias como las papeleras, los aserraderos y los secaderos de madera, aunque en gran medida se autoabastecen. Ello se debe a que se cuenta con cinco generadores de energía eléctrica que utilizan la misma materia prima que provee el sector forestal. Por otro lado, los secaderos de té y de yerba, grandes consumidores de energía, también utilizan en gran parte esa materia prima para generar energía térmica, principalmente en forma de chip. En este panorama complejo, la aplicación de la metodología WISDOM, que permite identificar y cuantificar la oferta y demanda de biomasa con posibilidades de aprovechamiento energético en cada zona, posibilitará al sector productivo, público o privado, tomar decisiones que podrían mejorar sus ecuaciones actuales, tanto en cuestiones energéticas como económico-financieras.



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

3. MARCO DE REFERENCIA GEOGRÁFICO Y AMBIENTAL



Misiones es la provincia con la mayor cantidad relativa de hogares que utilizan biomasa como principal fuente de energía para cocinar los alimentos: el 23% de las viviendas emplean para ello leña o carbón, frente al 2,7% de la media nacional.

La provincia de Misiones tiene una superficie de 29801 km², que representa el 1,1% del área continental de la República Argentina. Se encuentra situada entre los 25° 28' y 28° 10' de latitud sur y los 53° 38' y 56° 03' de longitud oeste. Está dividida en 17 departamentos, que a su vez se subdividen en un total de 75 municipios. La capital provincial es Posadas.

Según datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda (CNPHyV) de 2010, Misiones es la novena provincia más habitada del país, con 1 101 593 habitantes, que representan el 2,7% de la población argentina. El 73,8% reside en zonas urbanas y el 26,2% restante en zonas rurales; de estos últimos, el 81,2% vive en áreas consideradas "dispersas", como parajes y picadas. La densidad poblacional de la provincia es de casi 37 hab/km².

De los 302 953 hogares relevados por el CNPHyV 2010, el 85,9% son tipo casa; el 5,8%, departamentos; el 4%, casillas; el 2,7%, ranchos, y el 1,2%, piezas de inquilinato.

Misiones es la provincia con mayor cantidad relativa de hogares que consumen leña para cocinar los alimentos; en el 23% de ellos se usa leña o carbón como principal fuente de combustión para hacerlo, frente a una media nacional de 2,7 por ciento.

Relieve

En Misiones no existen suelos realmente planos o que ofrezcan pendientes inferiores al 2%. Su relieve ondulado y con pronunciada pendiente favorece la erosión ocasionada por las precipitaciones anuales. Se destacan, de sudoeste a nordeste, las Sierras del Imán o Itacuara, de unos 50 km de longitud; las Sierras Centrales o de Misiones, con 180 km de largo, que en su extremo noreste (altiplanicie de San Pedro), cerca de Bernardo de Irigoyen, presentan su altura máxima, que supera los 800 m; y la Sierra de la Victoria, de 70 kilómetros (km) de longitud. El límite natural de esta formación mesetaria

alcanza el sector norte de Corrientes, a la altura del río Aguapey (INDEC, 2012).

Clima

El clima de la provincia se encuadra en el tipo subtropical sin estación seca. Se caracteriza por un alto porcentaje de humedad ambiental y gran cantidad de lluvias, lo que mantiene la humedad superficial del suelo y posibilita el crecimiento de vegetación y el desarrollo de la Selva Misionera (INDEC, 2012). Las precipitaciones medias anuales van de 1600 mm en el sudoeste a 2200 mm en el nordeste, de régimen frecuentemente torrencial. En líneas generales, rondan los 2000 mm, mientras que la temperatura media anual es de 20 °C (Ligier et al., 1990).

Suelo

La típica tierra colorada de Misiones es un suelo laterítico. Se trata de una arcilla plástica y húmeda, con tonalidades rojizas, cuya roca madre es el basalto, que durante miles de siglos ha sufrido un proceso de lixiviación. Este proceso, mediante la acción de la humedad y las altas temperaturas, ha logrado extraer minerales como el óxido de aluminio y el óxido férrico, y este último es el que le da a la tierra su distintiva coloración.

A grandes rasgos, los suelos misioneros se dividen en dos grupos: los conocidos localmente como “suelos rojos”, comprendidos en los órdenes taxonómicos Ultisoles, Oxisoles y Alfisoles, y los llamados “suelos pedregosos”, que pertenecen taxonómicamente a los órdenes Inceptisoles, Entisoles y Molisoles (Soil Survey Staff, 2010). Los suelos rojos se caracterizan por un desarrollo en profundidad mayor a los 2 metros, con una secuencia de horizontes A-AB-Bt-C, de color rojo, libres de pedregosidad y fragmentos gruesos, permeabilidad moderada y bien drenados. En tanto, los suelos pedregosos tienen limitantes físicas debido a la presencia de fragmentos gruesos y piedras, con elevada infiltración, secuencia de horizontes A-AC-C y, en general, son de desarrollo vertical somero, aunque pueden variar desde pocos centímetros hasta 1 metro de profundidad (Etchevehere, 1976).

Hidrografía

Misiones tiene un sistema hídrico muy importante, con ríos colectores de gran porte como el Paraná, el Iguazú y el Uruguay. Alrededor de estos tres cursos de agua hay aproximadamente 800 arroyos, de los que cerca de 270 desembocan en el Paraná, y 120 en el Iguazú y el San Antonio, su principal afluente. Los 400 arroyos restantes desaguan hacia el río Uruguay y su afluente, el Pepirí Guazú. La mayoría de estos cauces internos nacen en el sector de las Sierras Centrales y en la altiplanicie de San Pedro, el gran centro dispersor de aguas, y desde allí bajan formando saltos y cascadas con ecosistemas de gran diversidad biológica, sostenida por la humedad ambiente propia de las lloviznas que producen las cascadas (INDEC, 2012).

Vegetación natural

La provincia de Misiones presenta dos formaciones fitogeográficas bien diferenciadas, el Bosque Atlántico Interior o Selva Paranaense y los Campos y Malezales. La Selva Paranaense ocupa la tercera parte del territorio misionero, es densa, hidrófila, semidecidua, de gran biodiversidad. La estructura vertical está representada por cuatro estratos o pisos de vegetación: formaciones herbáceas de hasta 3 m, el estrato arbustivo (3 a 10 m), árboles de entre 10 y 20 m (dosel) y árboles de más de 20 m de altura en el estrato emergente. Así, en los dos estratos de mayor altura se mezclan la araucaria o pino paraná (*Araucaria angustifolia*), el palo rosa (*Aspidosperma polyneuron*) y otros árboles de gran talla con gran diversidad de plantas epífitas, lianas y trepadoras, diferentes helechos arborescentes y cañas tacuaras o bambúes. Algunos otros árboles de este ecosistema son la cañafístola (*Peltophorum dubium*), el cedro (*Cedrela fissilis*), el timbó (*Enterolobium contortisiliquum*), el alecrín (*Holocalyx balansae*), el angico colorado (*Piptadenia rígida*), el azota caballo (*Luehea divaricata*), la cancharana (*Cabralea canjerana*), la guayubira (*Patagonula americana*), el guatambú blanco (*Balfourodendron riedelianum*), el incienso (*Myrocarpus frondosus*), el laurel negro (*Nectandra megapotómica*) y el lapacho negro (*Tabebuia heptaphylla*), entre otros (INDEC, 2012).

El ecosistema de Campos y Malezales ocupa la franja sur de la provincia y alberga dos ambientes: uno de selva baja, con árboles de menor fuste que los de la Selva Paranaense, en donde se destacan el urunday (*Astronium balansae*), árbol típico y predominante; el tatané (*Pitecellobium scalare*); el aguaribay (*Schinus molle*); el curupay (*Anadenanthera macrocarpa*) y la chichita (*Lithraea molleoides*); el otro ambiente corresponde a las formaciones de pastos bajos.

Fauna

La Selva Paranaense representa uno de los últimos refugios que existen en la Argentina para especies animales con grandes requerimientos ecológicos y en peligro de extinción: predadores, herbívoros y omnívoros. Como en todas las ecorregiones neotropicales, el grupo de las aves es el principal protagonista de la biodiversidad: en esta región hay más de 500 especies. Además, hay una amplia diversidad de peces, de gran interés para la economía ictícola; numerosas especies de sapos y ranas, que eliminan insectos dañinos en quintas, huertas y casas, y una gran cantidad de insectos, como moscas, vinchucas, chicharras, abejas, avispas, mosquitos, mariposas, coleópteros, piques y hormigas de todo tipo,

como la llamada “minera”, una verdadera plaga para los productores rurales (INDEC, 2012).

Red vial

Misiones se comunica con otras provincias mediante dos rutas nacionales: la RN 12, con origen en Buenos Aires-Campana (empalme RN 9), que pasa por Entre Ríos y Corrientes hasta su destino en Puerto Iguazú, tiene una longitud de 1 549 km; y la RN 14, que comienza en Entre Ríos (empalme RN 12), y pasa por Corrientes hasta finalizar en Bernardo de Irigoyen, atraviesa 1 197 km.

Además, la red vial de Misiones es travesada por varias rutas provinciales y tiene más de 15 000 km de caminos terrados vinculados con la producción.

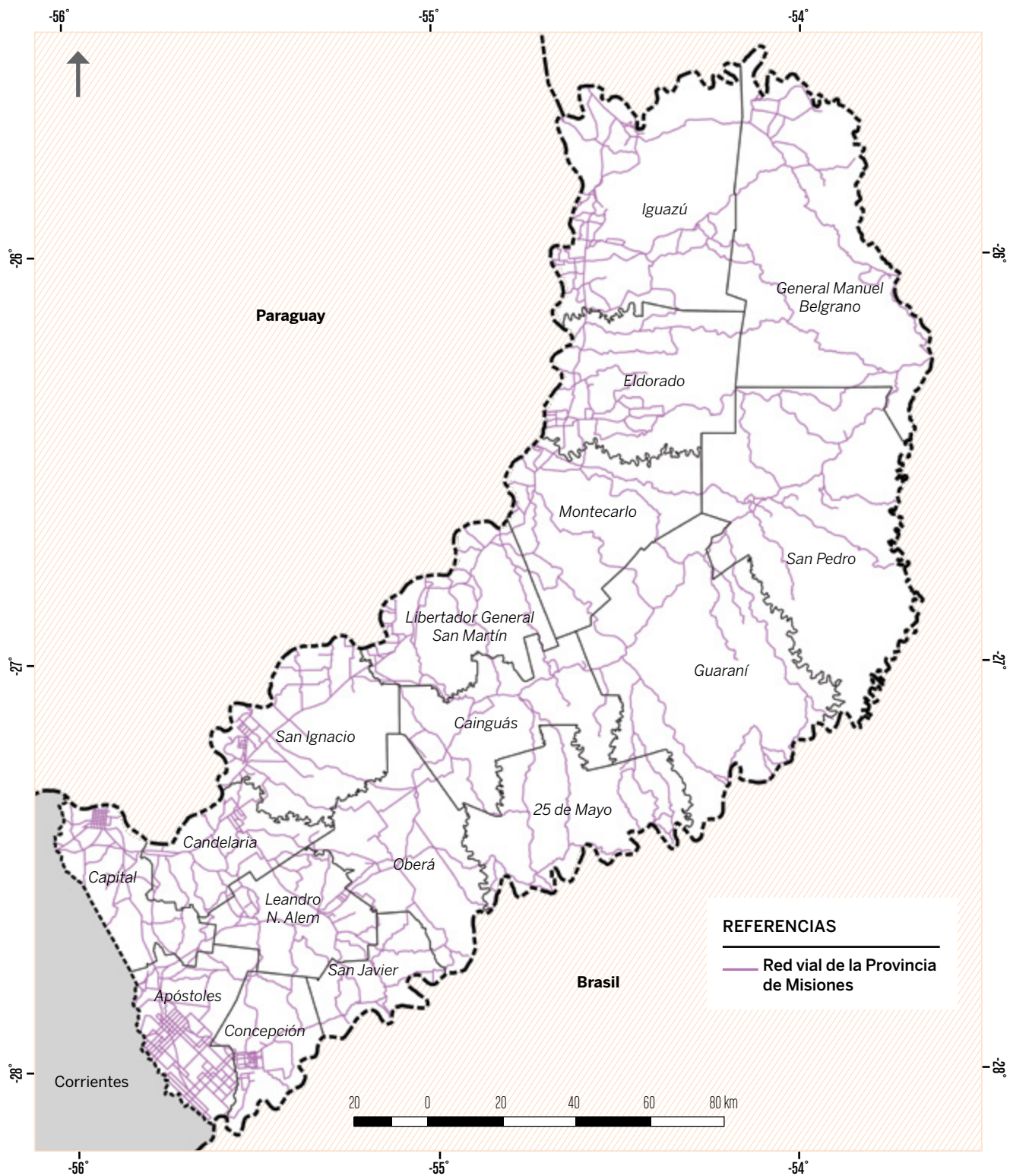
Red ferroviaria

En la actualidad, Misiones cuenta con una sola línea de transporte ferroviario: el ferrocarril General Urquiza, conocido como “el gran capitán”, que tiene tres estaciones, Garupá, Apóstoles y Pindapoy. Además del traslado de pasajeros interprovinciales, este tren es utilizado para el envío y recepción de cargas de soja (principalmente para guaya), cítricos, mandioca, pasta celulosa, té, papel y maderas laminadas y aserradas (INDEC, 2012).



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

Mapa 1. Red vial de la provincia



Fuente: Dirección provincial de Vialidad



4. SISTEMAS BIOENERGÉTICOS Y METODOLOGÍA WISDOM



Una particularidad de los sistemas bioenergéticos es su heterogenidad, ya que comprenden todas las fases y operaciones que se requieren para la producción, preparación, transporte, comercialización y conversión de biomasa en energía.

Un sistema bioenergético comprende todas las fases y operaciones que se requieren para la producción, preparación, transporte, comercialización y 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 (FAO, 2016a).

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*: estos sistemas 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.

- *Interdisciplinaridad*: 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 puntos de alta concentración, 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



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

las redes eléctricas y de gas, generan distintos patrones espaciales. Por ello, la necesidad de comprender los sistemas bioenergéticos a diferentes escalas haciendo énfasis en estudios de sitios específicos.

- *Heterogeneidad en las fuentes de oferta de biomasa:* la oferta de residuos biomásicos abarca forestaciones implantadas o sistemas de silvicultura de corta rotación, el incremento medio anual (IMA) de formaciones vegetales nativas, residuos agrícolas de cosecha, la poda urbana y de frutales, estiércol pecuario, entre las más importantes. Conocer la disponibilidad y el tipo de recurso a 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, hallamos grandes consumidores industriales que generan energía para su propia producción y también para vender a la red, consumidores comerciales como panaderías y parrillas, y pequeños consumidores residenciales que utilizan leña, carbón vegetal o residuos vegetales y animales para cocinar, calefaccionar o calentar 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, se ha destacado históricamente la leña, ya que ha sido la primera fuente en proporcionar usos energéticos tales como la cocción y calefacción, necesarios para la alimentación y la protección frente a las inclemencias climáticas.

Debido que aún existen regiones no abastecidas por fuentes modernas de distribución comercial, como la electricidad, los combustibles fósiles o 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, 2010b).

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 a ser transportados generen altos costos logísticos y, por ello, es importante contemplar su accesibilidad.

Como consecuencia de las características mencionadas, y dada la complejidad de la generación de energía a partir de biomasa, surgió la necesidad de contar con herramientas metodológicas que sirvan de apoyo para aunar políticas energéticas, forestales y agropecuarias que generen proyectos sustentables y perdurables a largo plazo. En este sentido, la metodología WISDOM desarrollada por el Programa de Dendroenergía de la FAO 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 los mismos.

Si bien la metodología WISDOM presentaba inicialmente un enfoque centrado en la evaluación de la biomasa leñosa proveniente del bosque nativo, de las forestaciones y de la industria forestal, ha sido ampliada para considerar otros tipos de biomasa no leñosa, como los residuos y subproductos agrícolas y los agroindustriales. Esta versión “extendida” fue utilizada para realizar el WISDOM Argentina (FAO, 2009).

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 especializada procedente de múltiples ámbitos. Al no presentar una estructura rígida ni utilizar un *software* predeterminado, la misma permite un alto grado de flexibilidad y adaptabilidad a la heterogeneidad, la fragmentación de los datos y la información disponible referente a la producción y consumo de bioenergía. Además, el enfoque WISDOM tiene la

Una política pública sobre sistemas bionergéticos requiere que los sectores involucrados (forestal, industrial, agrícola, energético, comercial, residencial) estén concebidos en sus interrelaciones. Además, se precisa la concurrencia de varias disciplinas, como silvicultura, gestión forestal, ciencias ambientales, ingeniería, agronomía y geografía y otras.

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).

Para realizar el análisis espacial integrado de la oferta y demanda de biomasa con fines energéticos de Misiones se utilizaron diversos *software* 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 los datos que no lo estuvieran aún, y para homogeneizar y estandarizar la base de datos completa⁴; 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

oferta y demanda de biomasa con fines energéticos a nivel provincial implicó cuatro pasos analíticos principales:

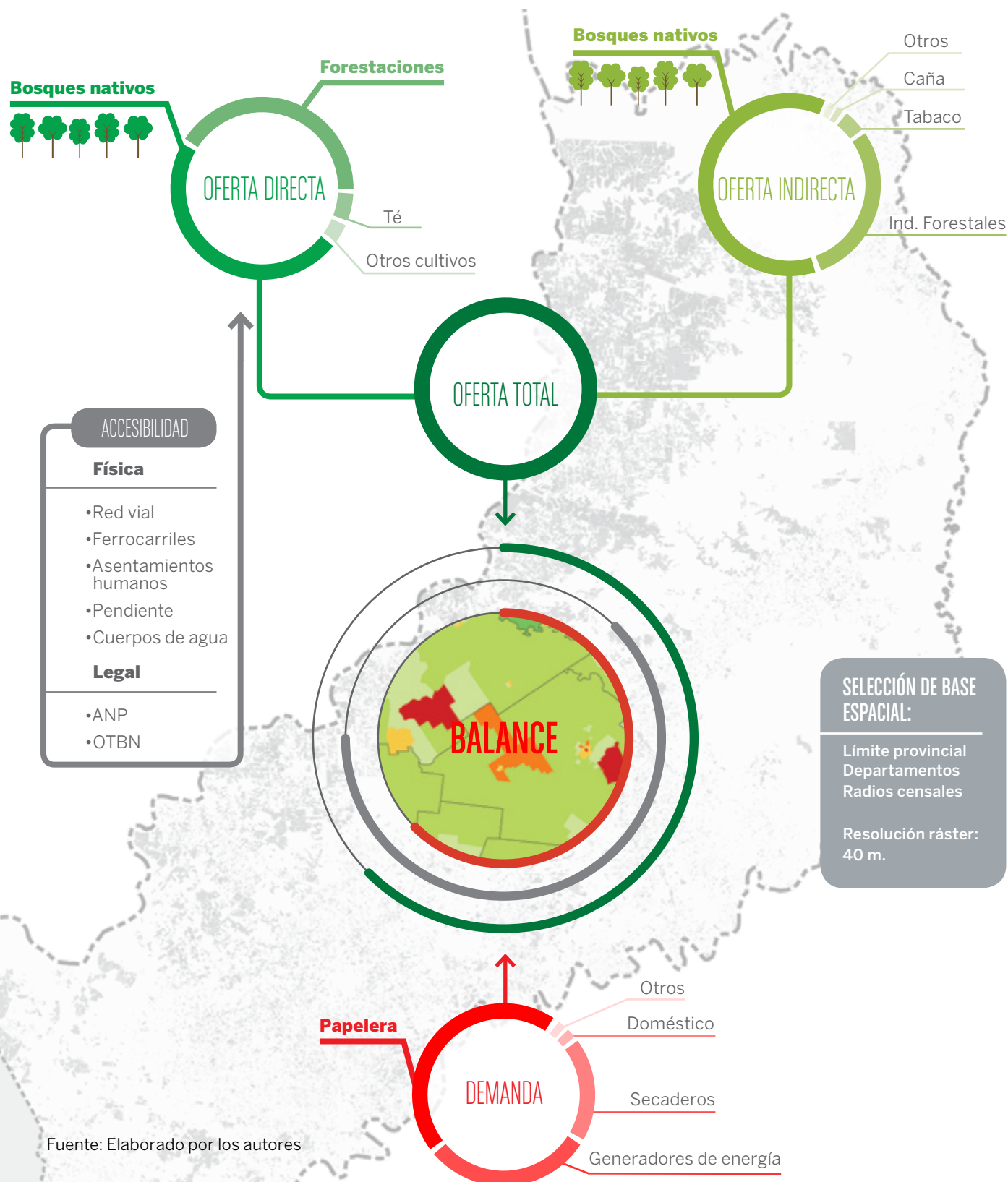
1. Definición de la unidad administrativa/espacial mínima de análisis
2. Desarrollo del módulo de oferta
3. Desarrollo del módulo de demanda
4. Desarrollo del módulo de integración

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

En el Gráfico 2 se muestran de manera ilustrativa los módulos y las principales capas utilizadas. La metodología de análisis espacial WISDOM se aplicó en la provincia de Misiones 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.

⁴ Esto se realiza para que todos los ráster con los que opere el Dinamica 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 2. Modelo conceptual WISDOM Misiones



Fuente: Elaborado por los autores

5. MÓDULOS Y RESULTADOS DEL WISDOM MISIONES

-
- 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

Las especies forestales conforman el cultivo predominante en Misiones, con más de 400 000 hectáreas. La industria forestal es el sector de mayor peso en las exportaciones de la provincia, aunque su participación ha disminuido en los últimos años.

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 17 departamentos con 2 671 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, en el que se utilizó una resolución espacial de 250 m (6,25 ha). En la mayoría de los casos, la información disponible se encuentra expresada en toneladas de biomasa seca por hectárea. Para adaptar estos valores a la resolución utilizada, todas las capas se multiplicaron por un valor cons-

tante de 0,16, que representa la superficie en hectáreas de cada píxel.

El sistema de coordenadas empleado fue Gauss Krüger Faja 7 POSGAR 94 WGS84. El límite provincial se confeccionó a partir de los límites departamentales del IGN.

5.2 Módulo de oferta directa

Se entiende por oferta directa la biomasa que se encuentra dispersa en el campo, que aportan los cultivos y las formaciones nativas. Si bien esta biomasa existe actualmente, se la denomina potencial bajo el punto de vista de que es necesario desarrollar sistemas de cosecha eficientes para extraerla y porque en el análisis todavía resta aplicar las restricciones relativas a la accesibilidad a esa biomasa.

Entre las fuentes directas de biomasa potencialmente disponible para usos energéticos, en Misiones se consideraron, por un lado, las resultantes de la poda, el raleo y los residuos de cosecha de las

plantaciones forestales, y de las podas y/o renovación de plantas de cítricos, yerba, té, mandioca, tabaco y el RAC de la caña de azúcar; por otro lado, se incluyó la fracción no maderable del incremento medio anual (IMA) de los bosques nativos.

5.2.1 Cultivos

Las especies forestales conforman el cultivo predominante de la provincia, con más de 400 000 ha, ubicadas en su mayoría a lo largo de una franja que acompaña al río Paraná. La industria forestal es el sector de mayor gravitación en las exportaciones de Misiones, aunque en los últimos años su participación ha disminuido en el valor bruto de la producción provincial (IPEC, 2016).

También es de gran importancia el cultivo de yerba mate, que en la actualidad ocupa aproximadamente 144 000 ha (INYM, 2016) en toda la provincia, aunque predomina en la zona centro sur. Otro cultivo tradicional es el de té, en una superficie que ronda las 40 000 ha, con predominio en los departamentos del centro sur que limitan con el río Uruguay. La mandioca, caña de azúcar, tabaco y citrus, si bien son cultivos de gran importancia para las economías regionales, ocupan menor superficie que las anteriores.

Plantaciones forestales

Misiones es la segunda provincia del país en superficie forestada, después de Corrientes. Más del 87% (350 000 ha) corresponde al género *Pinus*, particularmente *Pinus taeda*; el *Eucalyptus*, si bien en crecimiento en los últimos años, solo abarca 40 000 ha, y la *Araucaria angustifolia*, en retroceso, ocupa 16 000 ha, mientras que el resto concierne a especies de menor importancia. Las plantaciones ocuparon, históricamente, los sitios con suelos de alta calidad productiva (conocidos localmente como suelos rojos profundos), pero en la actualidad están avanzando hacia sitios menos productivos, que se ven afectados por las propias características físicas del suelo (Martiarena *et al.*, 2014).

Para relevar la información existente sobre la oferta directa de biomasa en las plantaciones forestales de la provincia, como primera herramienta se utilizó la actualización de base cartográfica y

volumétrica del Sistema de Información Foresto Industrial Provincial (SIFIP), trabajo realizado por un equipo técnico de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNaM por encargo de la FAO. En este trabajo se relevó y sistematizó en un sistema de información geográfica (SIG) la cobertura de plantaciones forestales de Misiones sobre la base de material fotogramétrico georreferenciado. Posteriormente, los coordinadores del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa le otorgaron las capas vectoriales a los técnicos del INTA para elaborar el presente informe. En el Mapa 2 se observa la distribución de las plantaciones forestales provinciales que plasmó aquel trabajo.

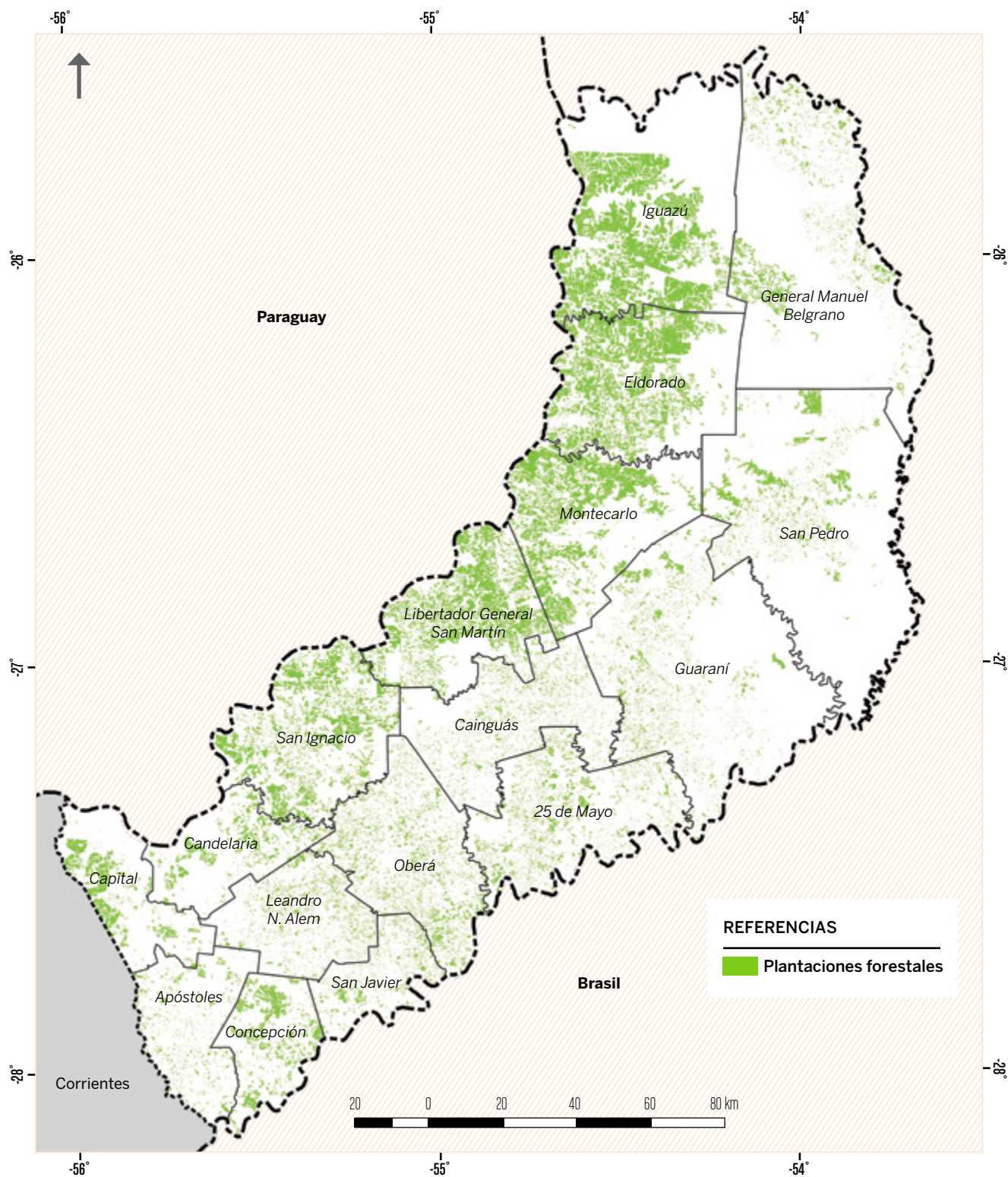
Sobre la base del SIFIP se identificaron los géneros botánicos y se simplificó la cobertura en cuatro grupos para la determinación de biomasa: *Pinus sp.*, *Eucalyptus sp.*, *Araucaria angustifolia* y Otras especies.

A partir de información recopilada en reuniones con actores del sector, se identificaron cultivos con un manejo silvicultural diferencial. Esto motivó a distinguirlos en dos nuevos mapas, principalmente según el turno de rotación y la densidad de la plantación al momento de la tala rasa. Así se diferenciaron las plantaciones convencionales, que ocupan el 72% de la superficie forestada total, y las plantaciones de alta densidad, que ocupan el 28%, como se observa en el Mapa 3 y el Mapa 4, respectivamente.

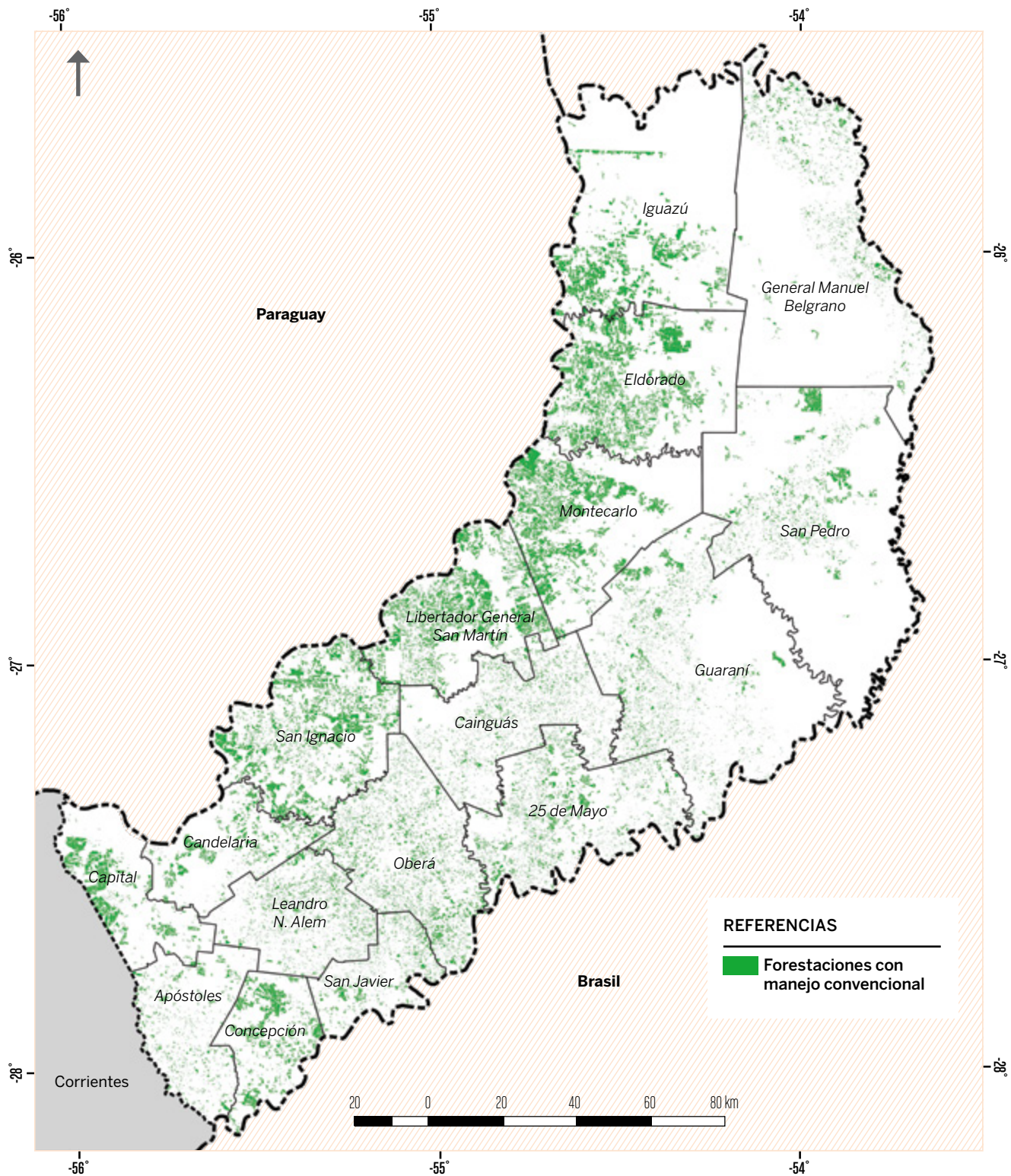
Determinación del aporte de biomasa y coeficientes para plantaciones forestales convencionales

A fin de determinar su aporte potencial de biomasa, para cada uno de los grupos de especies mencionados, los técnicos del INTA y de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNaM consensuaron un plan de manejo forestal promedio en la provincia, que fue puesto a consideración y aprobado por actores del sector. De ese trabajo surgió un documento sobre la silvicultura de cada grupo de especies y las actividades forestales que se realizan durante el turno de rotación, como así también sobre el aporte de biomasa en cada una de las actividades silviculturales. A partir de él se calculó la

Mapa 2. Distribución de las plantaciones forestales

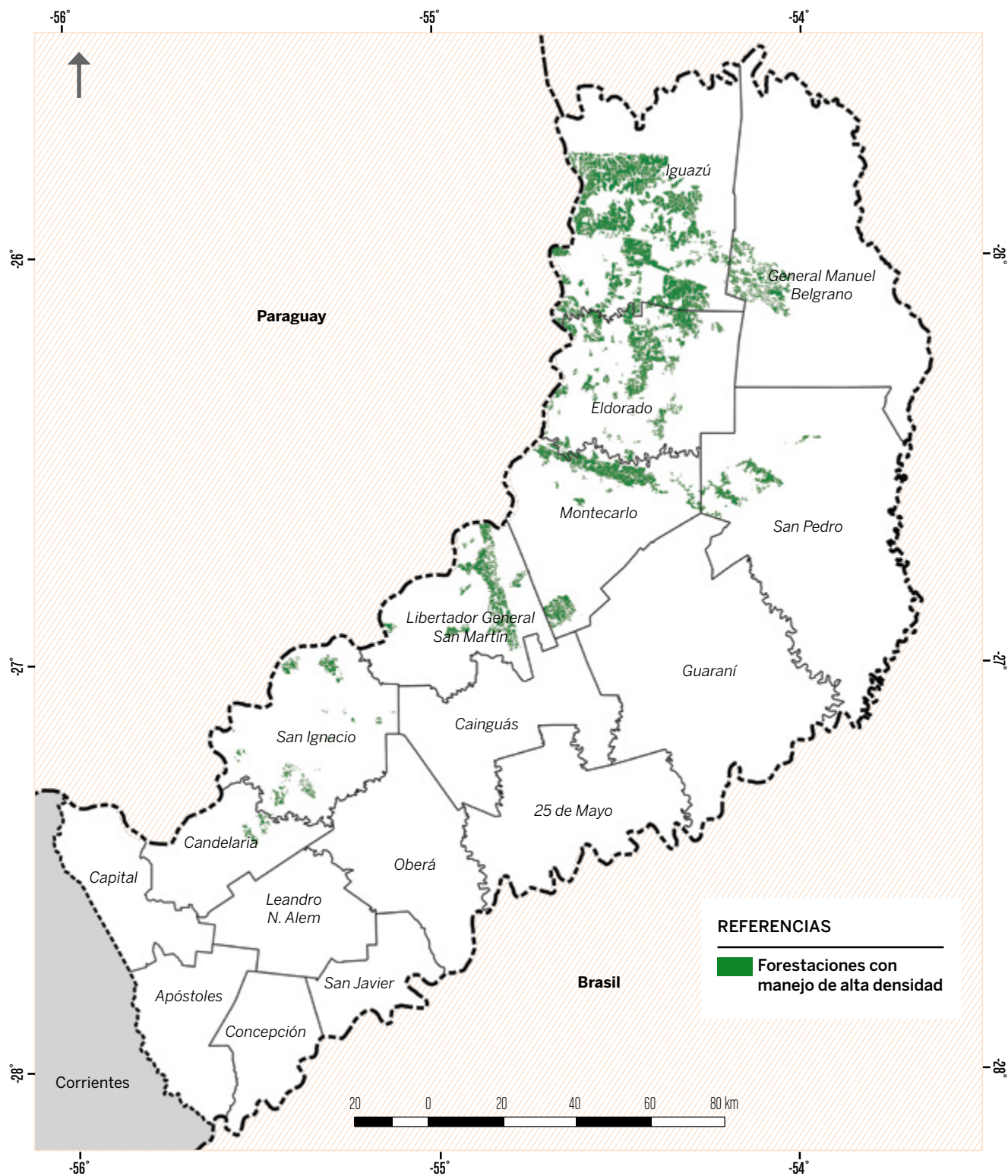


Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 3. Plantaciones forestales convencionales

Fuente: Dirección provincial de Vialidad

Mapa 4. Plantaciones forestales con manejo de alta densidad



Fuente: Dirección provincial de Vialidad

biomasa con fines energéticos que podrían aportar dichas plantaciones.

Plantaciones convencionales de Pinus sp

Podas: el esquema mencionado quedó establecido en tres podas durante el ciclo de rotación de la plantación, aplicadas a las edades de 3, 5 y 6 años. Según recomendaciones técnicas (Kurtz y Ferruchi, 2000), la poda no debe superar el 40% de la altura de los árboles; por lo tanto, el porcentaje que se extrae se calculó en aproximadamente un 30% de la copa del árbol. En la Imagen 1 se observan los residuos de la poda de plantaciones de pino en Misiones.

Para cuantificar, se tomaron datos de Martiarena (2016), según los cuales la biomasa seca promedio de ramas y hojas de plantaciones de *Pinus taeda* de entre 3 y 5 años de edad en Misiones es de 25,4 t/ha. En función del 30% correspondiente a la extracción de copa, la biomasa que se podría obtener en cada poda sería, aproximadamente, de 7,6 t/ha.

Imagen 1. Residuos de poda en plantaciones de *Pinus sp*.



Raleos: según Crechi *et al.* (2005), durante los raleos se debe tener cuidado de mantener un equilibrio entre la calidad de la madera, el volumen producido y la capacidad de uso de la tierra, para evitar que el terreno sea mal aprovechado debido a reducciones muy importantes del número de árboles. En función de las recomendaciones técnicas y las posibilidades financieras de los productores, el régimen de raleos que más se aplica en las plantaciones de pino de la provincia comprende tres intervenciones, con extracciones de alrededor del 30% del área basal remanente en cada una. El primer, segundo y tercer raleo se aplican alrededor de los 5, 9 y 13 años de edad, respectivamente, sin otras intervenciones hasta la corta final. Se considera que el primer raleo puede ser utilizado en su totalidad para la generación de bioenergía, dado que no resulta comercializable por su baja retribución económica. Los raleos a los 9 y 13 años de edad son comerciales, por lo tanto, la biomasa que puede obtenerse para generación de energía corresponde a los compartimentos hojas y ramas.

Según Martiarena (2016), el valor de biomasa aérea del rodal estimado para plantaciones de 5 años de edad es de 58,9 t/ha. En función de la recomendación de extracción del área basal, del 33%, y de que existe una muy alta correlación entre el área basal y el volumen, se determinó que la biomasa seca disponible en el primer raleo sería de 19,4 t/ha, mientras que la de los dos siguientes raleos sería de 8,4 y 9,4 t/ha, respectivamente.

Residuos de cosecha: en el ciclo forestal de 20 años, uno de los mayores aportes de biomasa, ya sea de copa o madera con fines comerciales, se obtiene durante la cosecha final. Según Fernández *et al.* (2016), los residuos remanentes en el sitio luego de la cosecha en plantaciones de *P. taeda* bajo la modalidad tradicional de fuste totalizan 84,3 t/ha. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las recomendaciones técnicas indican conservar esos residuos sobre el suelo para mantener su capacidad productiva. La Imagen 2 muestra los residuos que quedan luego de la cosecha forestal de *P. taeda* y la secuencia de procesamiento para su posterior utilización.

Imagen 2. Biomasa forestal remanente luego de la cosecha de plantaciones de *Pinus taeda*: a) biomasa en el terreno; b) recolección; c) y d) proceso de triturado; e) acumulación en campo, y f) detalle de la granulometría.



Plantaciones convencionales de *Eucalyptus* sp.

La mayoría de las plantaciones de *Eucalyptus* en Misiones son relativamente incipientes, con material proveniente de semilla, y la silvicultura implementada es muy similar a la de otras provincias. Por ello, los datos utilizados en este informe provienen principalmente de investigaciones sobre esta especie bajo esquemas de manejo y condiciones ambientales similares, aunque no necesariamente realizados en la provincia. El régimen más aplicado consiste en una densidad inicial de plantación de 800 a 1100 plantas por hectárea (pl/ha) (Carpinetti *et al.*, 1995; Sepliarsky, 2002), que se reduce a 250 pl/ha al momento de la corta final, aproximadamente a los 13 años de edad.

Podas: el régimen en plantaciones de *Eucalyptus grandis* consta de tres intervenciones, a los 12, 24 y 36 meses de edad (Kolln, 2000; CFCN, 2011). Según Cromer *et al.* (1993), la biomasa de la copa en estas plantaciones se mantiene prácticamente constante entre los 12 y 36 meses de edad. Ello permite deducir que hojas y ramas ocupan la totalidad del espacio aéreo. Según Paixão *et al.* (2006), en plantaciones de 5 años de edad, la biomasa fue de 2,3 t/ha en el compartimento hojas, 7,4 t/ha en ramas y 85,8 t/ha en fuste con corteza, aproximadamente. Según Cromer *et al.* (1993), en plantaciones de 3 años de edad, se dan valores próximos a 4 t/ha en hojas y 6 t/ha en ramas. También en plantaciones de 3 años, Hunter (2001) encontró valores de 6,7 t/ha, tanto de ramas como de hojas, y de 32,1 t/ha de fuste con corteza.

A partir de esos datos, y en una estimación prudente, se calculó que la biomasa que se podría obtener a nivel del rodal se aproxima a las 3 t/ha en hojas y 6 t/ha en ramas. A su vez, si se considera que en cada poda se extrae un 30% de la copa, la biomasa de hojas y ramas sería de 0,9 y 1,8 t/ha, respectivamente, con lo que se obtendría un valor próximo a 2,8 t/ha en total.

Raleos: según especificaciones técnicas, las intervenciones en plantaciones de *Eucalyptus* sp. se realizan cerca de los 2, 4 y 6 años de edad. A diferencia de otras especies, los productos de todos los raleos podrían ser comercializados; por lo

tanto, la biomasa disponible será la de las copas de los árboles extraídos en cada raleo. Para la cuantificación de la biomasa de raleos se aplican los mismos criterios de estabilización de la copa a edades tempranas, por lo que se mantienen los valores de 3 t/ha para hojas y 6 t/ha para ramas. Si se considera que en cada raleo se extrae el 33% del área basal remanente, la cantidad de biomasa disponible es aproximadamente de 3 t/ha entre ambos compartimentos de la copa.

Residuos de cosecha: Monteverde y Vilariño (2012) analizaron la biomasa de plantaciones de *Eucalyptus grandis* de 11 años de edad y obtuvieron valores de 7,4 t/ha de hojas, 22,5 t/ha de ramas y 153,2 t/ha de fuste con corteza. Así, la biomasa disponible para la generación de energía es de 29,9 t/ha, producto de la suma de ramas y hojas.

Plantaciones convencionales de *Araucaria angustifolia*

La densidad inicial de plantación de *Araucaria angustifolia* más frecuente en la región es de entre 1100 y 1600 pl/ha, aproximadamente (Crechi *et al.*, 2001). En la práctica, se aplican dos podas a los 6 y 9 años de edad y los tres raleos se realizan cerca de los 6, 13 y 20 años. El turno de corta para esta especie es aproximadamente a los 30 años.

Podas: Según Vega y Martiarena (2010), a los 6 años, la biomasa de copa es de 22,3 t/ha, con lo que la cantidad extraída por la poda (30% de la copa verde) sería de 6,7 t/ha en cada intervención (6 y 9 años de edad). En la Imagen 3 se observan los residuos de la poda de esta especie.

Raleos: la extracción en cada raleo es del 40% del área basal remanente, y se asume que este valor es aplicable al porcentaje de biomasa. Vega y Martiarena (2010) estimaron la biomasa aérea para los 6 y 20 años de edad. La de los 13 años se calculó a partir del promedio de las otras dos. Para el raleo a los 6 años, se incluye la biomasa del fuste con corteza, ramas y hojas; para los de 13 y 20 años, se estima solo la biomasa de la copa. Por lo tanto, para cada edad, los valores totales obtenidos fueron, respectivamente, 43,7 t/ha, 27,3 t/ha y 23,2 t/ha. A partir de esto, se dedujo que la biomasa disponible para generación de energía es de

17,5 t/ha, 10,9 t/ha y 9,3 t/ha para los raleos que corresponden a los 6, 13 y 20 años de edad.

Residuos de cosecha: La biomasa seca de los compartimentos de la copa, considerada como residuos forestales, alcanza 41,5 t/ha en plantaciones con edad cercana al turno de corta (Fernández et al., 2013).

Plantaciones convencionales de otras especies forestales

Este agrupamiento comprende todas aquellas especies de menor superficie cultivada en la provincia, como por ejemplo *Grevillea robusta*, *Toona ciliata*, *Melia azedarach* y algunas nativas. Dado que los turnos y manejos son diferentes en todas ellas y que faltan estudios científicos que permitan conocer su aporte de biomasa, a los efectos de estimarlo se establecieron los mismos que para la *Araucaria angustifolia*. No obstante, como podría

ser inferior, y debido a que algunas de las especies incluidas son de lento crecimiento, en este informe se considera que su aporte equivale a un 50% del de la *A. angustifolia*.

Determinación del aporte de biomasa y coeficientes para las plantaciones forestales de alta densidad

La distribución de las plantaciones de alta densidad se obtuvo a partir de la digitalización del mapa de plantaciones forestales de una empresa que realiza este tipo de manejo. Al igual que las convencionales, estas plantaciones se agruparon de acuerdo con su origen botánico: *Pinus sp* y *Eucalyptus sp*.

En *Pinus sp*, el manejo corresponde a un turno de 13 años sin podas ni raleos. El aporte de biomasa se estimó mediante la simulación de una plantación de esa edad bajo estas condiciones silviculturales

Imagen 3. Residuos de poda en plantaciones de *Araucaria angustifolia*



© INTA

específicas, y luego se le aplicaron las ecuaciones de biomasa disponible para la región.

En *Eucalyptus sp.*, el manejo de las plantaciones de alta densidad responde al convencional, por ello se aplicó el mismo régimen.

Procesamiento de datos

A partir del régimen de manejo establecido para cada especie, se utilizó el simulador forestal (Fassola *et al.*, 2013) para obtener los datos dasométricos. Luego, aplicando las ecuaciones alométricas para cada especie, se obtuvo el valor de biomasa de cada plantación en cada momento del turno de rotación. Con estos datos se calculó el IMA para cada compartimento arbóreo. La oferta directa de biomasa se conformó por los compartimentos de la copa.

Si bien en el modelo se cargaron los valores totales de la biomasa producida por estas plantaciones, existen cuestiones técnicas que podrían imposibilitar obtenerlos por completo: por un lado, en la práctica nunca se logra una recolección total de los residuos; por otro, en diversas publicaciones se sostiene que es técnicamente recomendable la conservación de los residuos en esta región (Fernández, 2003; Martiarena *et al.*, 2011). La decisión de incorporar la totalidad de los residuos en la carga de los modelos responde a que algunas empresas los queman antes de la preparación de terreno para instalar la siguiente plantación. De esta manera, cada silvicultor o tomador de decisiones sabrá si puede disponer o no de la cantidad de residuos con fines energéticos que se indica en este informe, o qué porcentaje puede usar.

Es importante aclarar que los valores presentados, tanto para plantaciones convencionales como de alta densidad, corresponden a biomasa seca, que fue tratada en estufa a 70°C hasta alcanzar peso constante, debido a que estas fueron las condiciones aplicadas a la biomasa de las investigaciones utilizadas aquí para las ecuaciones. En el Cuadro 1 se presentan los valores de IMA de biomasa utilizados en el modelo de plantaciones forestales convencionales, y en el Cuadro 2, los utilizados en el modelo de plantaciones de alta densidad.

Las plantaciones convencionales en Misiones abarcan el 72% de la superficie forestada total, y las de alta densidad ocupan el resto. En conjunto, generan 3 039 000 toneladas de oferta potencial de biomasa de manera directa.

La metodología aplicada en el presente informe da como resultado el valor medio de biomasa que pueden aportar las plantaciones forestales, equivalente a su IMA en el territorio provincial. Estimar incorporando los aportes reales en cada intervención habría exigido realizar el cálculo de proyecciones año por año, ya que el ritmo de plantación difiere (Gráfico 2) y, por ende, también el aporte anual de biomasa. Si bien el IMA de biomasa permite estimar el aporte potencial de todas las plantaciones y no exige hacer proyecciones para cada año en particular, no permite identificar cuál es el rodal que aporta biomasa, como así tampoco la cantidad real cada año ni qué biomasa viene de podas, raleos o cosecha final. Pero permite tener una visión global de la distribución y oferta potencial de biomasa con destino energético, herramienta útil para formular políticas públicas dirigidas al desarrollo de la bioenergía.

Oferta directa potencial de biomasa de plantaciones convencionales

Pinus

Las plantaciones forestales convencionales de esta especie se encuentran en todo el territorio provincial, como se observa en el Mapa 5. El departamento de Eldorado aporta la mayor cantidad de

Cuadro 1

IMA en forestaciones convencionales por edad y especie

Edad (años)	Especies (t/ha)			
	<i>Pinus</i>	<i>Eucalyptus</i>	<i>Angustifolia</i>	Otras especies
1	0,6	3,1	0,1	0,1
2	0,6	14,5	0,6	0,3
3	5,2	10,1	6,6	3,3
4	8,0	5,1	7,8	3,9
5	8,8	3,7	10,7	5,3
6	7,3	3,0	15,9	7,9
7	7,0	4,2	4,3	2,2
8	6,3	2,0	10,1	5,1
9	5,7	1,6	9,9	4,9
10	4,5	1,4	10,1	5,0
11	4,3	1,1	9,9	5,0
12	3,7	0,8	9,7	4,9
13	3,3	0,7	9,4	4,7
14	2,8	-	15,0	7,5
15	2,5	-	7,9	4,0
16	2,2	-	7,6	3,8
17	2,1	-	6,9	3,4
18	1,8	-	7,3	3,6
19	1,6	-	5,9	3,0
20	1,4	-	6,1	3,0
21	-	-	8,6	4,3
22	-	-	2,1	1,0
23	-	-	2,0	1,0
24	-	-	1,8	0,9
25	-	-	1,7	0,9
26	-	-	1,3	0,7
27	-	-	1,3	0,7
28	-	-	1,5	0,8
29	-	-	1,3	0,6
30	-	-	1,0	0,5

Fuente: Elaborado por los autores

Cuadro 2

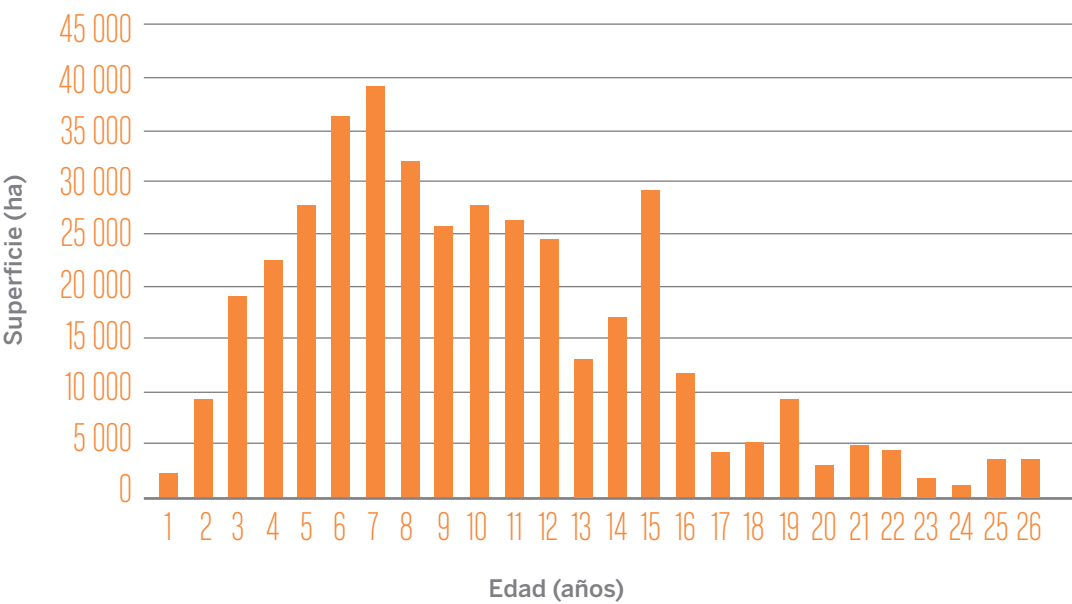
IMA en plantaciones de alta densidad por edad y especie

Edad (años)	Especies (t/ha)	
	<i>Pinus</i>	<i>Eucalyptus</i>
1	4,7	4,6
2	4,7	4,6
3	4,7	4,6
4	4,7	4,6
5	7,7	13,4
6	6,8	13,9
7	6,0	13,4
8	5,2	12,5
9	4,5	11,6
10	4,0	11,8
11	3,5	11,2
12	3,1	10,7
13	2,8	10,3

Fuente: Elaborado por los autores

Gráfico 3

Distribución de las plantaciones forestales por edad



Fuente: Elaborado por los autores

biomasa de *Pinus* en valores absolutos, seguido de Montecarlo e Iguazú. La oferta directa potencial de biomasa de estas plantaciones es de 1 175 000 t/año aproximadamente, de la que los siete departamentos que se encuentran a la vera del río Paraná aportan el 62%, y los otros 10, el 38% restante.

Eucalyptus

Las plantaciones de *Eucalyptus* solo representan un pequeño porcentaje de lo que aportan las de *Pinus*. Esta oferta ronda las 106 000 t/año. Como se observa en el Mapa 6, la mayor parte se encuentra en los departamentos de Montecarlo, Libertador Gral. San Martín, Eldorado y también Guaraní y 25 de Mayo, lo que pone de manifiesto el IMA de las forestaciones en esa región.

Araucaria angustifolia

El Mapa 7 muestra el potencial de biomasa y la distribución de las plantaciones convencionales de esta especie en el territorio provincial. En 14 de los 17 departamentos de la provincia hay plantaciones de *Araucaria*. Los departamentos con mayor oferta de biomasa son Eldorado y Montecarlo. El aporte potencial es de 117 000 t/año, aproximadamente.

Otras especies forestales

El Mapa 8 muestra que las especies distintas de *Pinus*, *Eucalyptus* y *Araucaria* se cultivan principalmente en Capital, San Ignacio y Libertador Gral. San Martín. Ello se debe a que en los dos primeros departamentos había una empresa dedicada a desarrollar especies alternativas y, si bien las tierras ya no le pertenecen, la mayoría de las plantaciones se conservan, en tanto que en el tercer departamento una compañía desarrolló la *Acacia mearnsii*. De todas maneras, el aporte de biomasa de estas especies es inferior: cerca de 71 000 t/año.

Potencial total de oferta directa de biomasa por las plantaciones forestales convencionales

El Mapa 9 muestra que las plantaciones forestales convencionales abarcan toda la provincia. El valor potencial total de biomasa seca que podrían aportar en Misiones es aproximadamente de

1 469 000 t/año. Las plantaciones de *Pinus* representan el 80,2%; luego siguen *Eucalyptus*, con 7,2%, y *Araucaria*, con 7,8%, mientras que el agrupamiento de otras especies forestales solo aportaría el 4,8%. En concordancia con las plantaciones de *Pinus*, la mayor cantidad de biomasa potencial implantada se encuentra en Eldorado, Montecarlo, San Ignacio y Libertador Gral. San Martín. Los departamentos con menor aporte son Apóstoles, San Javier y Cainguás. El orden en que son mencionados los departamentos resulta de los valores totales de biomasa de cada uno, pero no se corresponde con la concentración de biomasa por unidad de superficie.

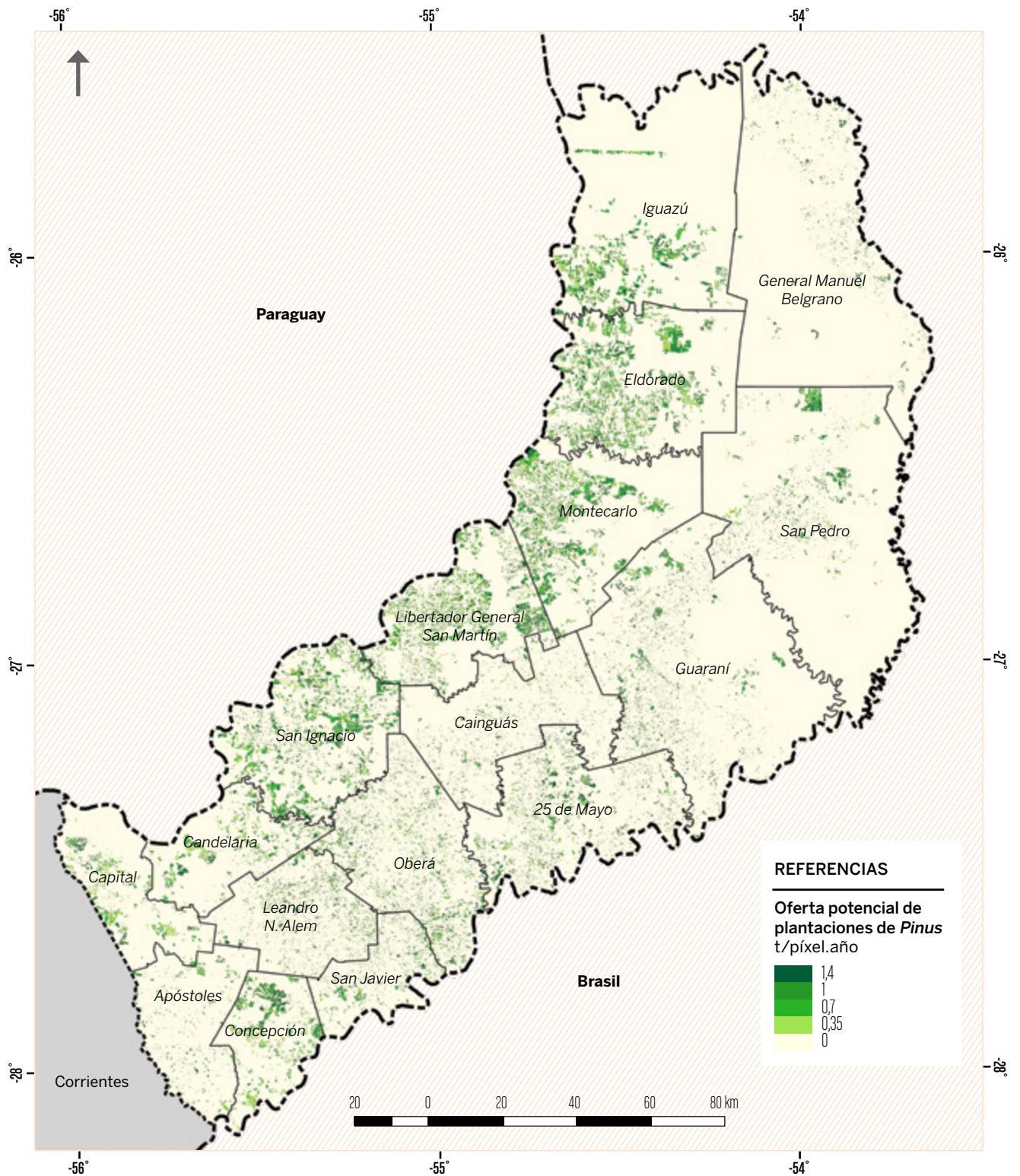
Oferta directa de forestaciones de *Pinus* con manejo de alta densidad

El potencial de biomasa de *Pinus* en plantaciones de alta densidad es aproximadamente de 1 506 000 t/año. Como se observa en el Mapa 10, el mayor aporte se registra en el departamento de Iguazú, que concentra casi el 50% del total, seguido de Eldorado, con 20%, y Montecarlo, con algo menos del 10%. El restante 20% se ubica en Libertador Gral. San Martín, San Ignacio, Candelaria, Manuel Belgrano y San Pedro, mientras que los nueve departamentos restantes no aportan biomasa.

Del total aportado por *Pinus* de alta densidad, aproximadamente el 71% proviene del fuste con corteza, mientras que el restante 29% resulta de los compartimentos de la copa.

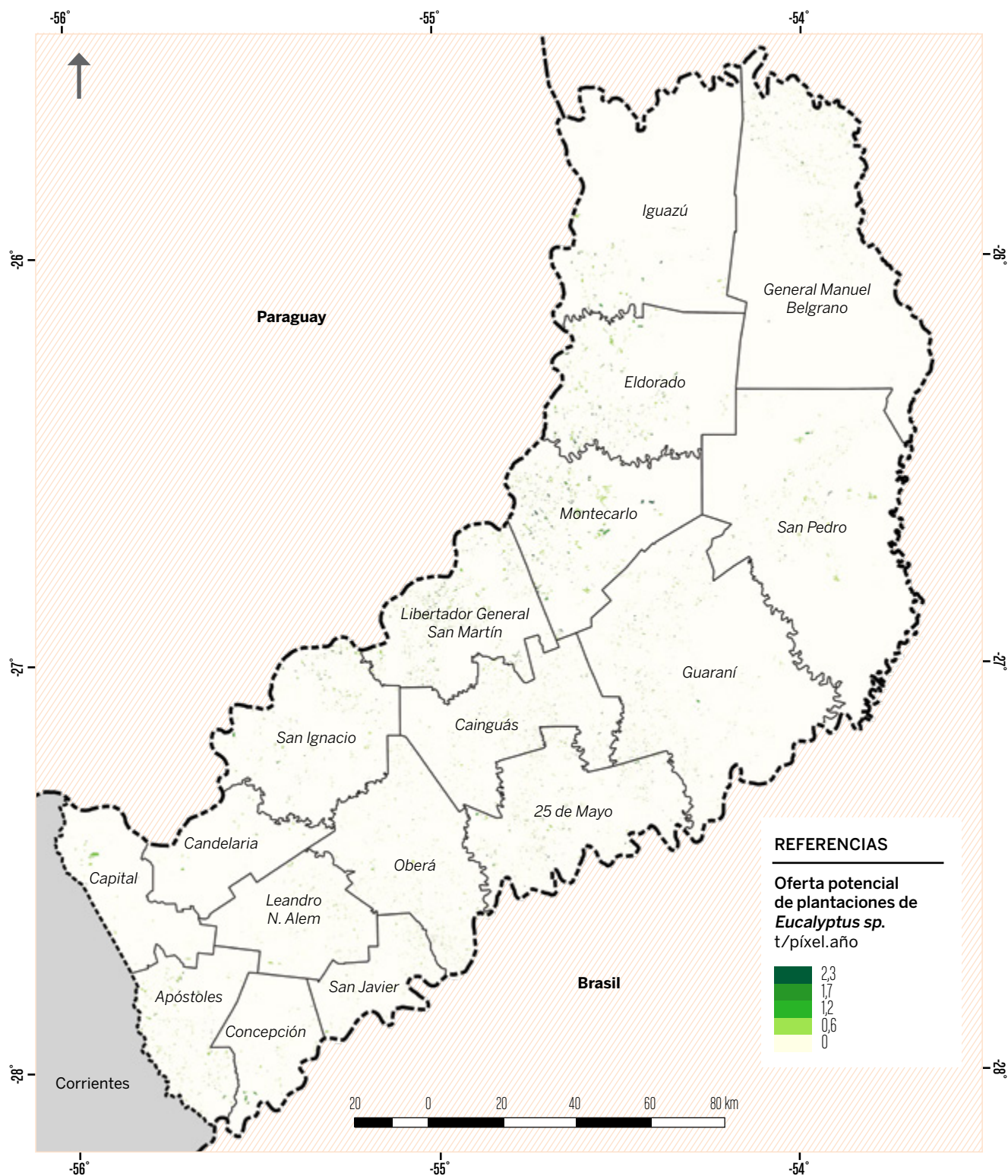
Oferta directa de plantaciones de *Eucalyptus* con manejo diferencial

Las plantaciones de *Eucalyptus* con manejo diferencial (Mapa 11) son dominio de la misma empresa forestal que las de *Pinus* de alta densidad. Por ello, los rodales se encuentran en las mismas zonas (departamentos de Iguazú, Eldorado, Montecarlo, Libertador Gral. San Martín, San Ignacio y San Pedro). La disponibilidad total de biomasa proveniente de las plantaciones de *Eucalyptus* es de casi 65 000 t/año.

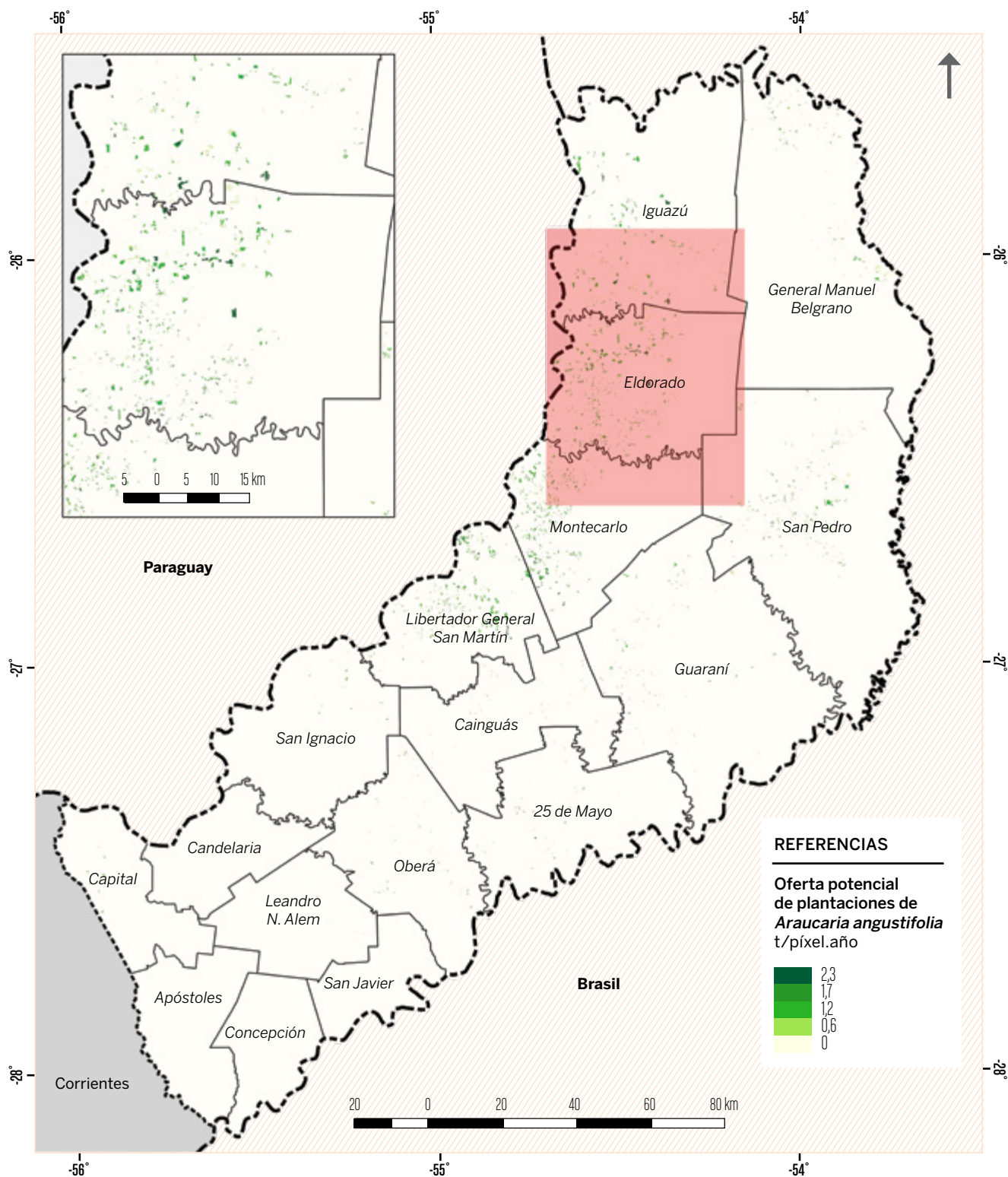
Mapa 5. Oferta directa potencial de forestaciones convencionales de *Pinus*

Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 6. Oferta directa potencial de forestaciones convencionales de *Eucalyptus sp.*

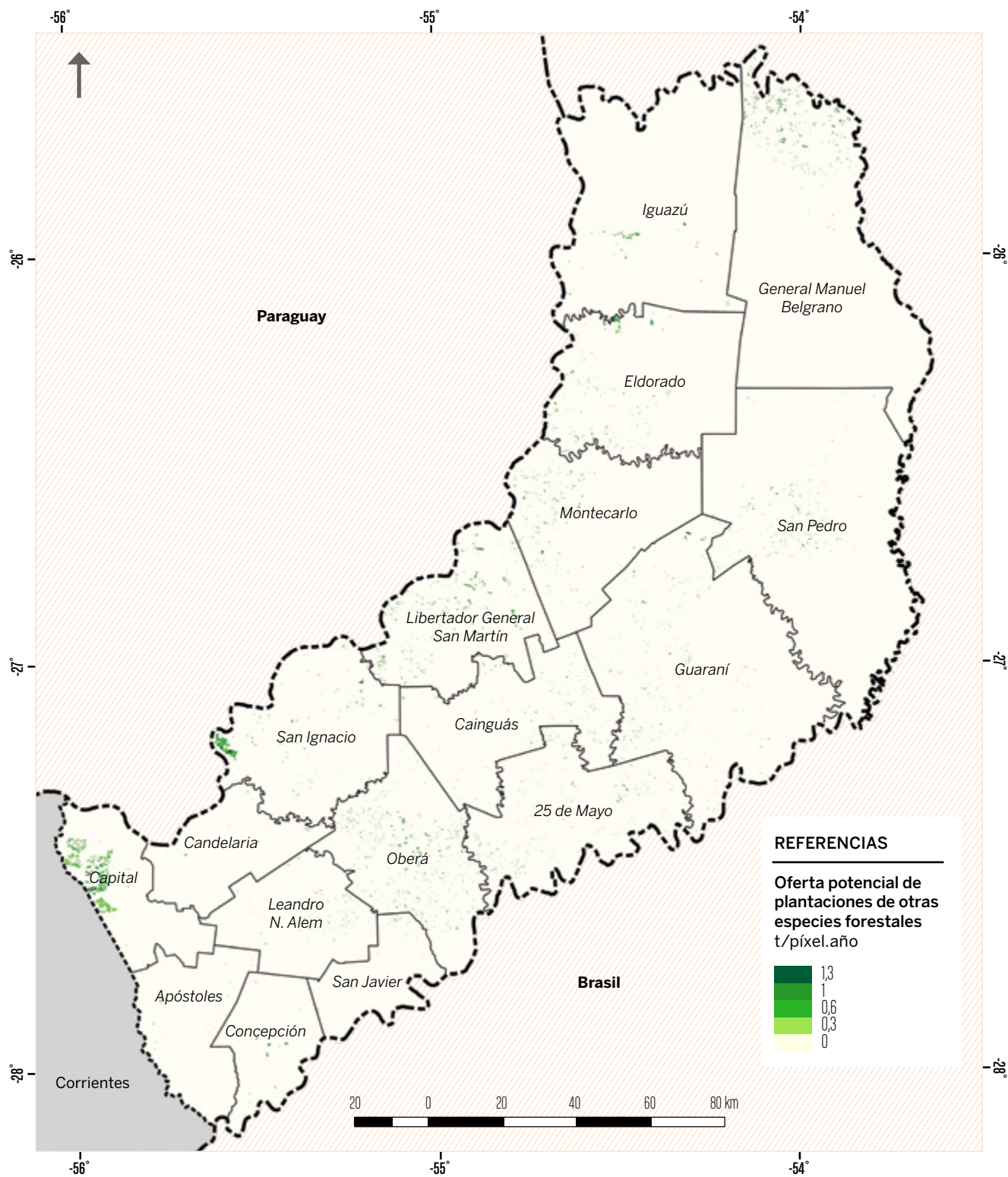


Fuente: Elaborado por los autores

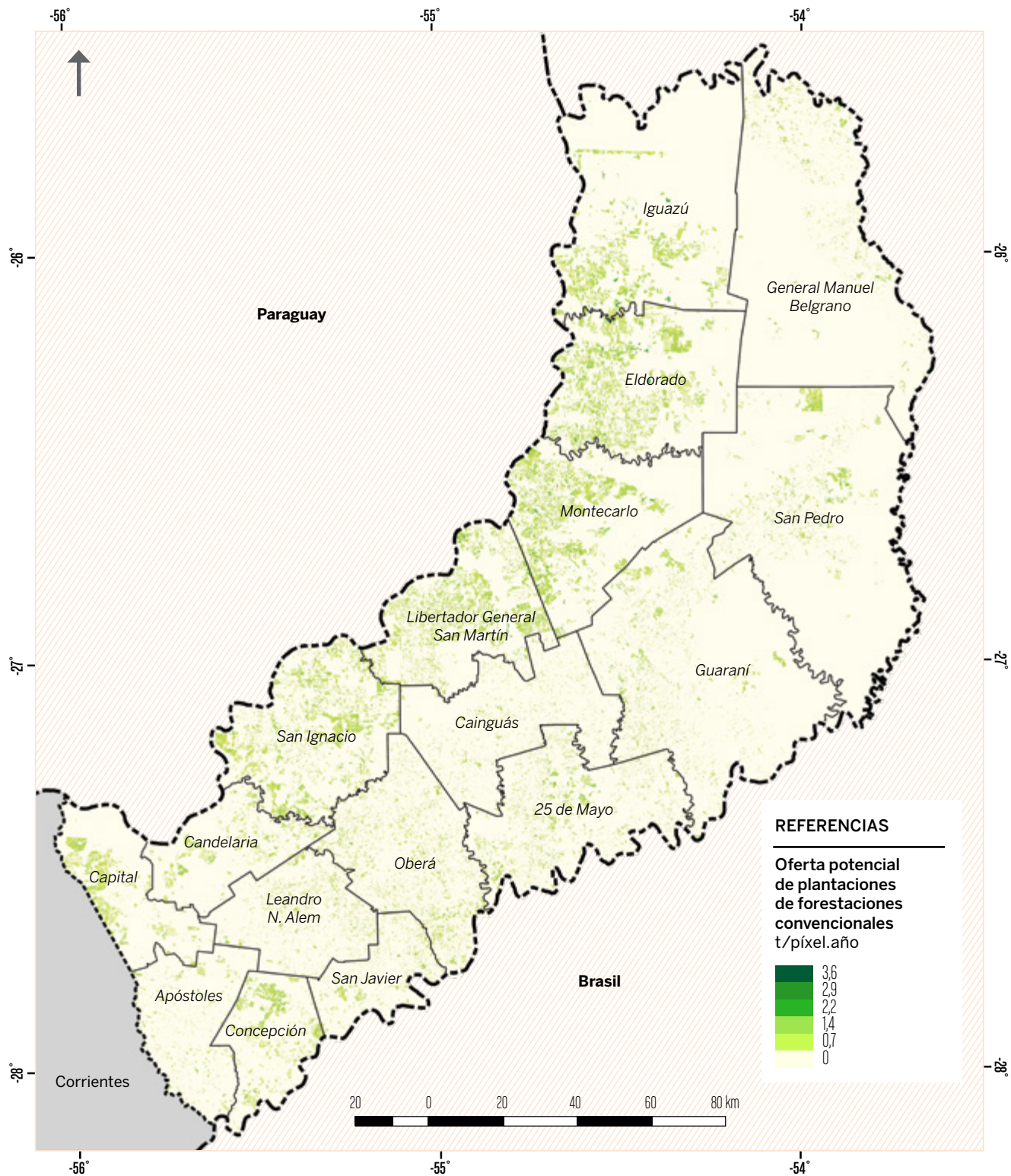
Mapa 7. Oferta directa potencial de forestaciones convencionales de *Araucaria angustifolia*

Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 8. Oferta directa potencial de forestaciones convencionales de otras especies forestales

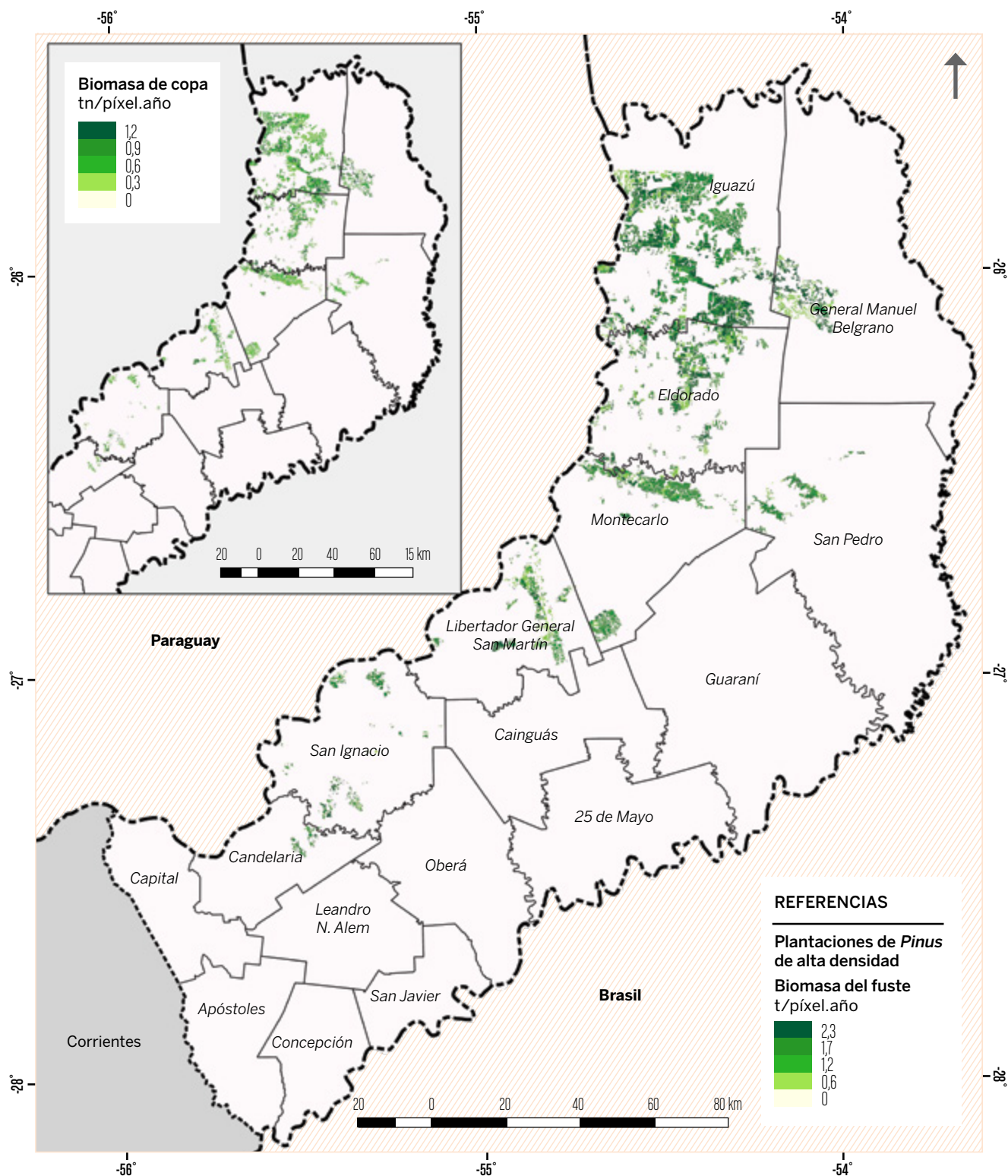


Fuente: Elaborado por los autores

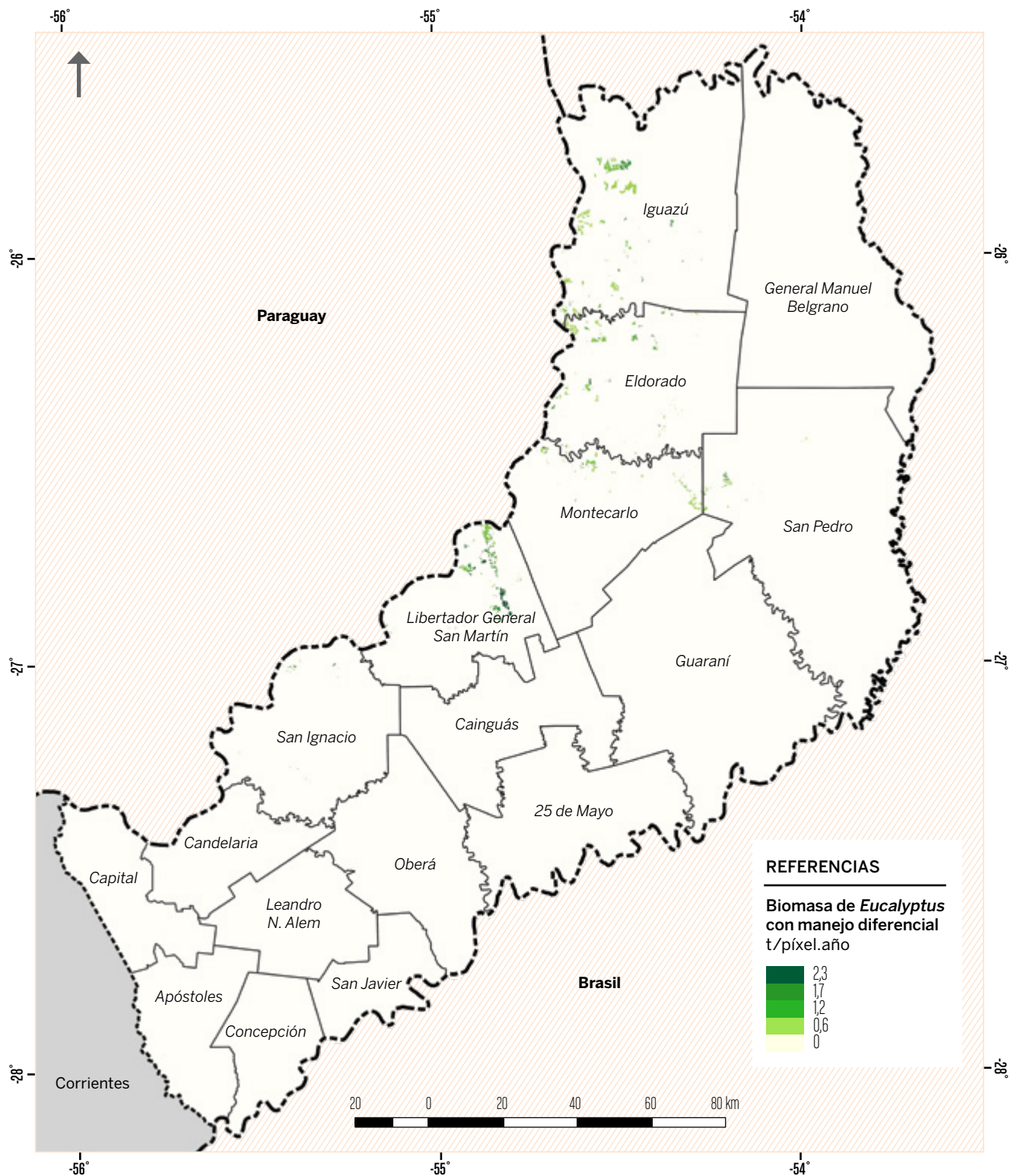
Mapa 9. Oferta directa potencial total de forestaciones convencionales

Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 10. Oferta directa potencial de forestaciones de *Pinus* con manejo de alta densidad



Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 11. Oferta directa potencial de forestaciones de *Eucalyptus* con manejo diferencial

Fuente: Elaborado por los autores

Oferta directa de plantaciones de *Pinus* con alta densidad y *Eucalyptus* con manejo diferencial

La suma de la oferta potencial de biomasa de plantaciones de alta densidad de *Pinus* y de *Eucalyptus* con manejo diferencial da un valor cercano a 1570 000 t/año (Mapa 12).

La suma de la oferta directa potencial de biomasa de todas las plantaciones forestales de Misiones, independientemente del tipo de manejo silvicultural y de la especie, arroja un valor cercano a 3 039 000 t/año. Al observar la distribución en el terreno (Mapa 13), se puede apreciar que se concentran en una franja que acompaña el límite fronterizo del río Paraná, disminuyendo en los departamentos de Candelaria y Capital, al sur de la provincia.

El Mapa 14 muestra las cantidades de biomasa por departamento y las proporciones de oferta directa de los diferentes agrupamientos de especies forestales.

Citrus

La producción cítrica en Misiones abarca desde el norte, en el departamento de Gral. Manuel Belgrano, hasta el sur, donde limita con la provincia de Corrientes. Realizan esta actividad 950 productores de pequeña o mediana escala. La superficie cultivada es aproximadamente de 6 200 ha y se mantuvo estable en los últimos años.

En Misiones se produce el 2,3% de los cítricos del país. El 69,5% es mandarina. La cadena de valor está integrada por tres eslabones: producción primaria, empaque e industria.

La oferta directa de biomasa de citrus proviene de los residuos que generan las plantaciones. Para cuantificarla, se utilizaron las capas correspondientes al último censo cítrico de la provincia, en 2014, aportadas por la Facultad de Ciencias Forestales de la UNaM. No obstante, en Misiones no se cuenta con estudios científicos sobre el aporte de biomasa en cada etapa del cultivo, ya que esta puede generarse en la poda anual y en el recambio de plantas.

El recambio de plantas no se realiza con una periodicidad que permita hacer estimaciones ciertas

para incorporar como coeficiente (comunicación personal con Luis Eduardo Acuña, de la EEA Montecarlo del INTA), por lo que su biomasa potencial no fue calculada. En cambio, la poda anual se efectúa regularmente. Para calcular la biomasa que aporta, en cada polígono de la capa de cítricos se aplicó el coeficiente utilizado en el WISDOM de la provincia de Salta, de 3 t/(ha.año). Así se obtuvo el mapa intermedio de oferta directa de biomasa (Mapa 15).

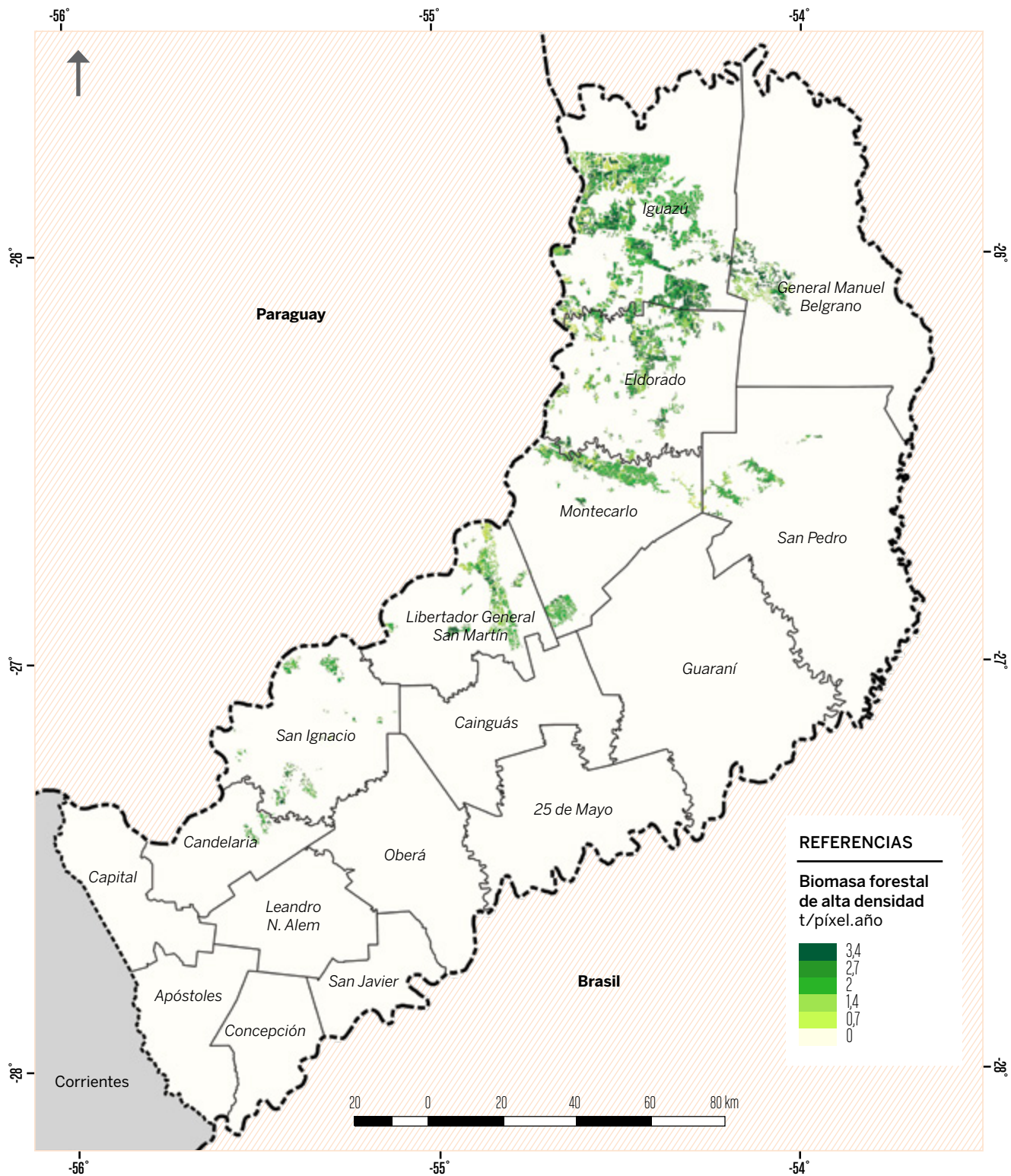
El análisis permite identificar que la mayor concentración de plantaciones, y por ende la mayor oferta directa de biomasa, se encuentra en los departamentos de Eldorado, Libertador Gral. San Martín y Guaraní, donde se ubican las industrias que procesan citrus. La menor oferta se da en Candelaria, Capital y San Pedro. De acuerdo con los coeficientes utilizados, la disponibilidad potencial de biomasa de las plantaciones cítricas es de casi 19 000 t/año.

Yerba mate

La provincia de Misiones tiene cerca de 144 000 hectáreas plantadas con yerba mate, distribuidas sobre el territorio provincial.

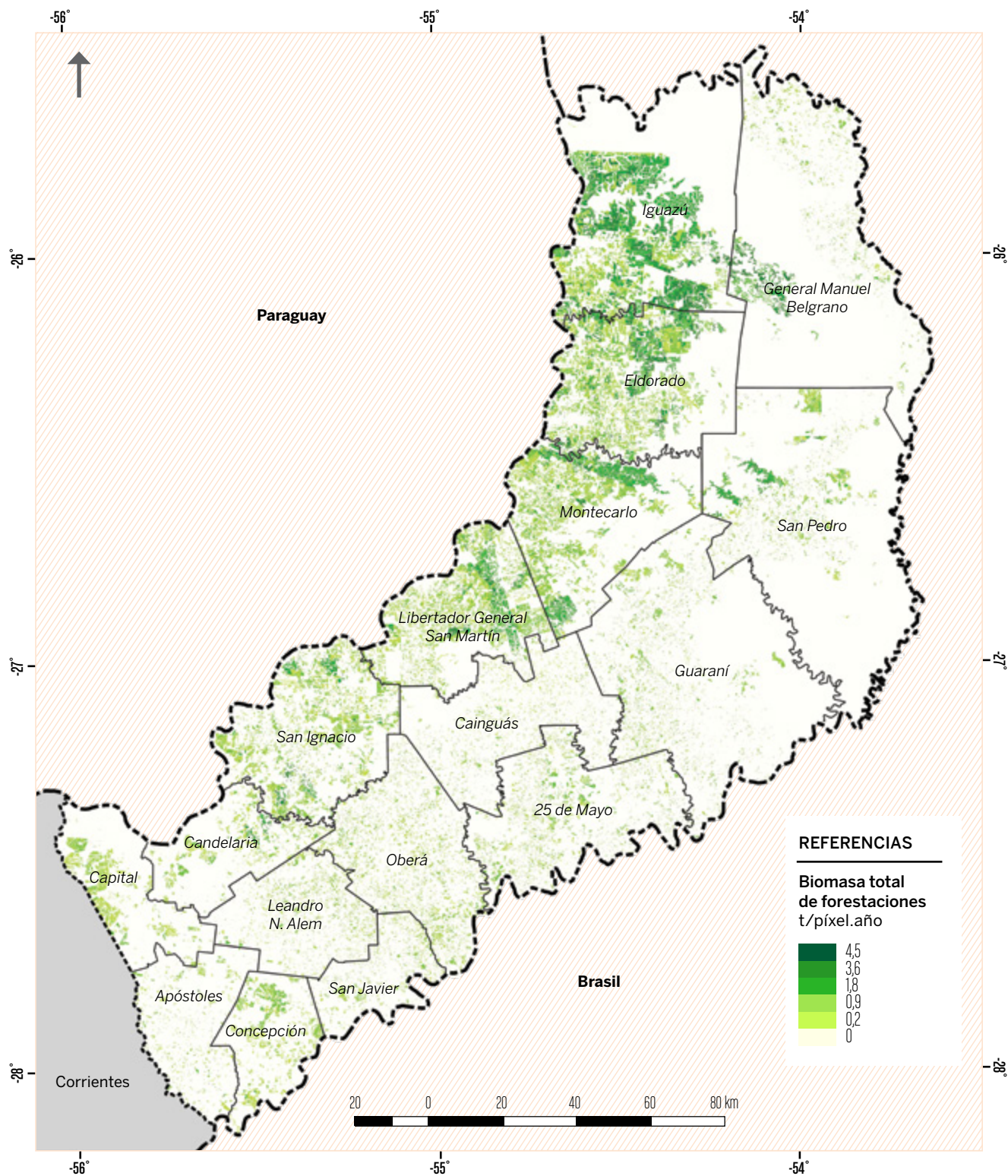
El relevamiento de datos para el presente informe se realizó mediante consultas con referentes, organismos e instituciones vinculados al cultivo e industrialización de yerba mate en la provincia. Debido a que no fue posible acceder a la capa correspondiente al último relevamiento de superficie con este cultivo –documentación en poder del Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM)–, se recurrió a información alternativa disponible, aunque con menor grado de precisión: una capa más antigua, en la que solo se identifican 100 000 ha de plantaciones, aproximadamente. Para completar la superficie actual de yerba mate, las 44 000 ha restantes se distribuyeron proporcionalmente teniendo en cuenta que los polígonos elegidos no se superpusieran con otros cultivos o zonas urbanas.

A partir de ello, se determinó el coeficiente de aporte de biomasa, dado por la cantidad de residuos que este cultivo deja en campo. Este equivale al 25% de la cantidad cosechada (comunicación personal con Néstor Munaretto, técnico referente

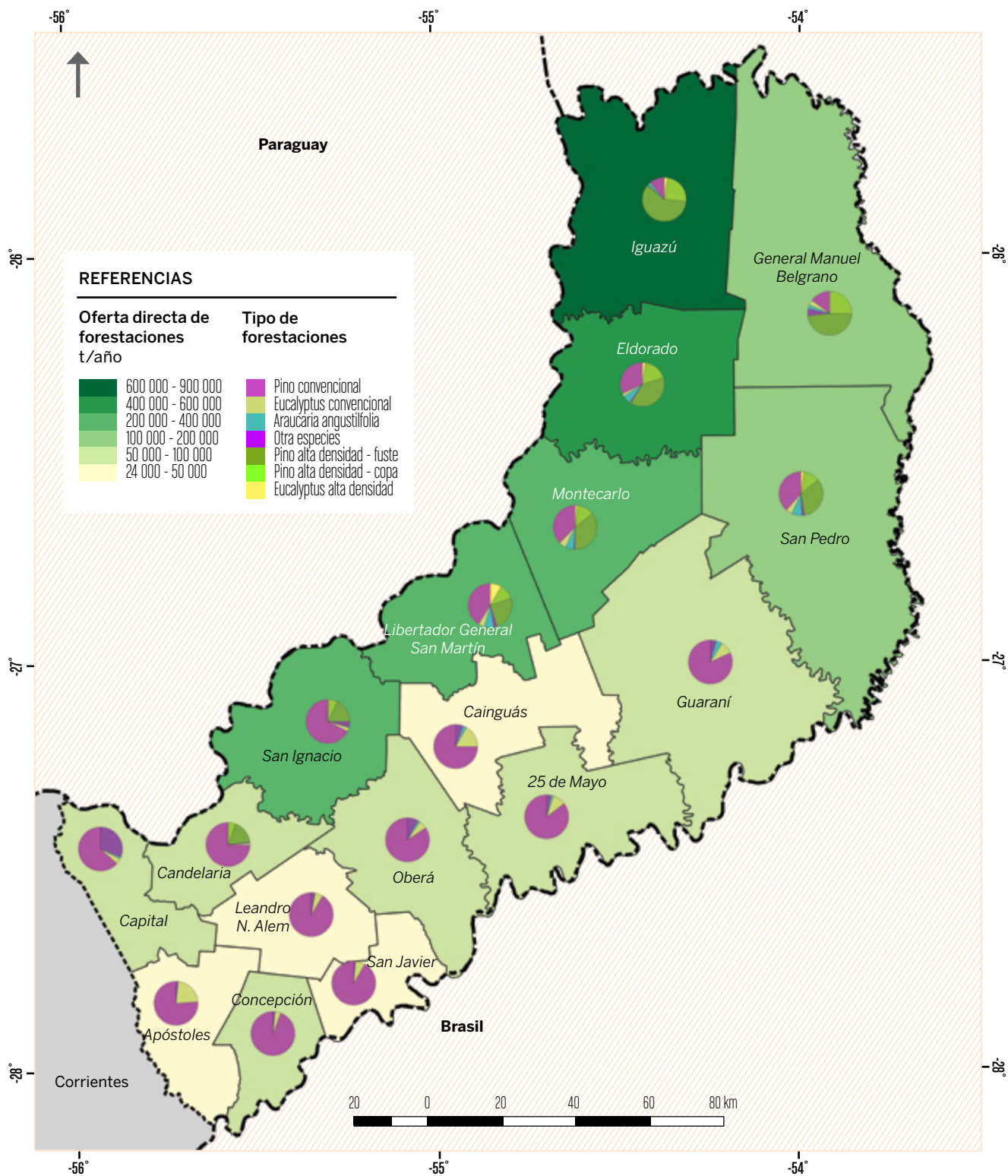
Mapa 12. Oferta directa potencial de forestaciones con alta densidad y manejo diferencial

Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 13. Oferta directa potencial total de forestaciones

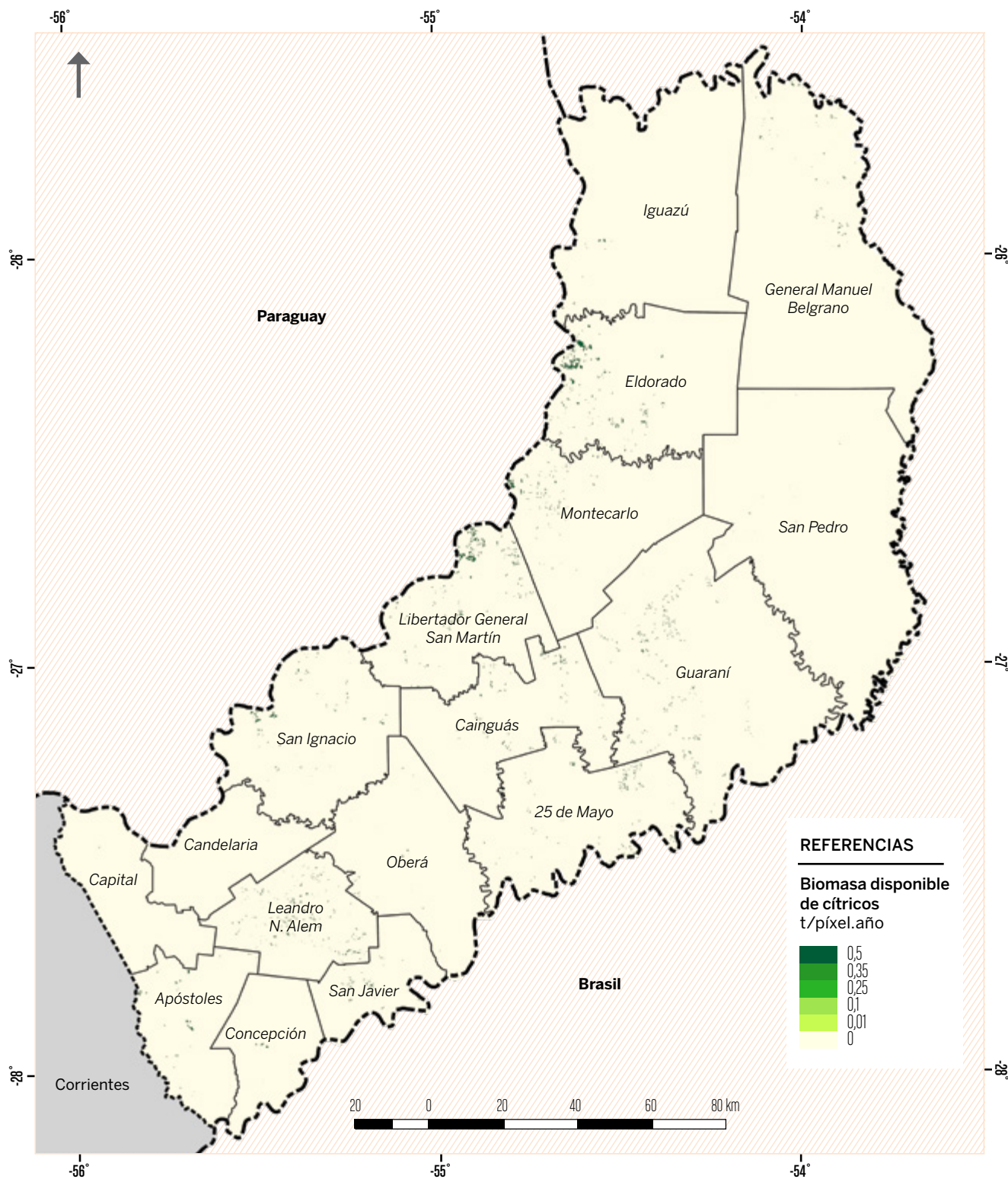


Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 14. Oferta directa potencial total de forestaciones por tipo y departamento

Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 15. Oferta directa potencial de plantaciones de cítricos



Fuente: Elaborado por los autores

de la AER de Santo Pipó del INTA). Por otro lado, según datos del INYM, el rendimiento del cultivo de yerba mate puede variar entre 3,5 y 15 t/ha, en función de la edad y sistema de plantación, porcentaje de fallas, estado del suelo, densidad de cultivo y sistema de manejo de poda del yerbal. El organismo también aportó información sobre la cantidad de hoja verde producida y la superficie cultivada en cada departamento en la campaña 2016. Así se estableció que la producción promedio en la provincia es de 5,07 t/ha, con lo que la cantidad de residuo que deja en el campo se estimó en 1,27 t/ha. Este valor fue aplicado como coeficiente de oferta directa de biomasa a cada polígono correspondiente al cultivo de yerba mate.

Los resultados muestran que el valor absoluto de biomasa que queda en el campo como residuo luego de la cosecha es aproximadamente de 163 000 t/año. La mayor oferta se ubica en San Ignacio, Apóstoles y Cainguás (Mapa 16). Los departamentos con menos aporte son Candelaria, Eldorado y Puerto Iguazú.

Té

Para calcular la oferta directa de biomasa del cultivo de té se contó con una capa de la base de datos de la EEA del INTA Cerro Azul. El coeficiente de aporte se determinó mediante consultas con los técnicos referentes en el cultivo (Jorge Florentín y Emiliano Liciak, ambos de la EEA Cerro Azul, comunicación personal) y otros del sector privado. Así, se estableció que los residuos generados durante la poda de rebaje, anual y canteo, y por las pérdidas durante la cosecha de té, totalizan 30 t/(ha.año).

El Mapa 17 muestra la oferta directa total de biomasa de este cultivo, que es de casi 1 127 000 t/año, de las que el 68% lo aportan Oberá y Cainguás. Algunos departamentos, como Eldorado, Puerto Iguazú y Concepción, no aportan.

Mandioca

En Misiones, el cultivo de mandioca es habitual en todas las pequeñas y medianas explotaciones, con mayor relevancia en los departamentos de Montecarlo, Libertador Gral. San Martín y San Ignacio.

En esta región están radicadas las empresas dedicadas a la obtención de fécula, y se cultiva tanto para industrializar como para destinar en fresco al consumo de los grandes centros poblados del país, especialmente, Buenos Aires. En este caso, la comercialización se realiza en bolsas de 38-40 kg, sin tratamiento de postcosecha. El rendimiento promedio de raíces es del orden de 15 t/ha en cultivos de un año y 35 a 40 t/ha en cultivos de dos años. El rendimiento promedio de almidón no supera el 23% en cultivos de un año y va de 26 a 28% en cultivos de dos años.

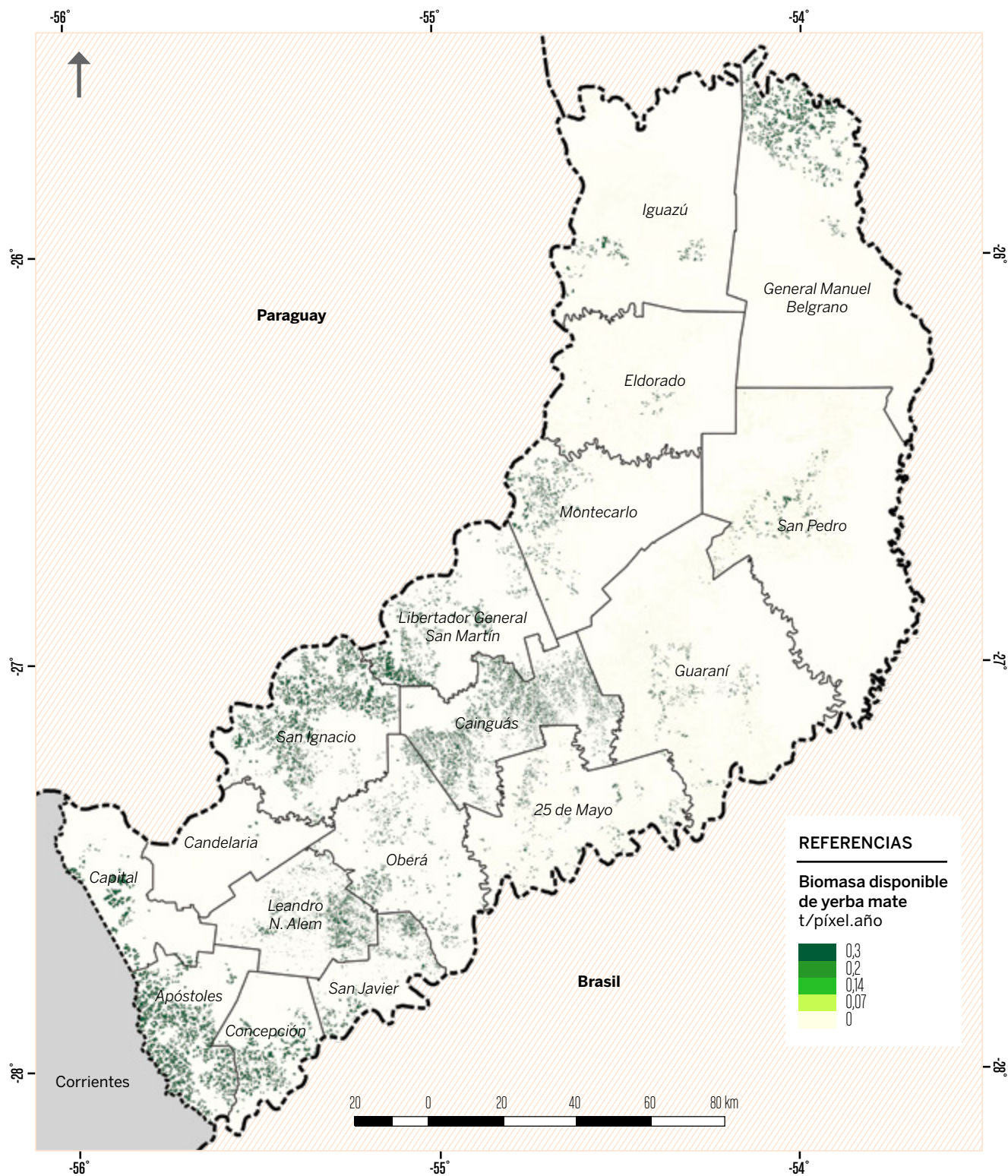
El cultivo de mandioca se realiza solo o asociado con otros, por ejemplo, plantaciones forestales en sus primeros años de desarrollo. Al tener esta característica, la superficie que se le destina en un año específico no es necesariamente la misma en los sucesivos, por lo que no se tiene una distribución espacial de las plantaciones de mandioca.

Tampoco se cuenta con datos certeros sobre la superficie total de este cultivo, pero se estima que oscila de 20 000 a 25 000 ha entre lo destinado a industria y a consumo en fresco. La industria está conformada por 11 fábricas que procesan la mandioca y consumen la producción de alrededor de 7 000 ha, mientras que la producción restante (de 16 000 ha, aproximadamente) se consume en fresco.

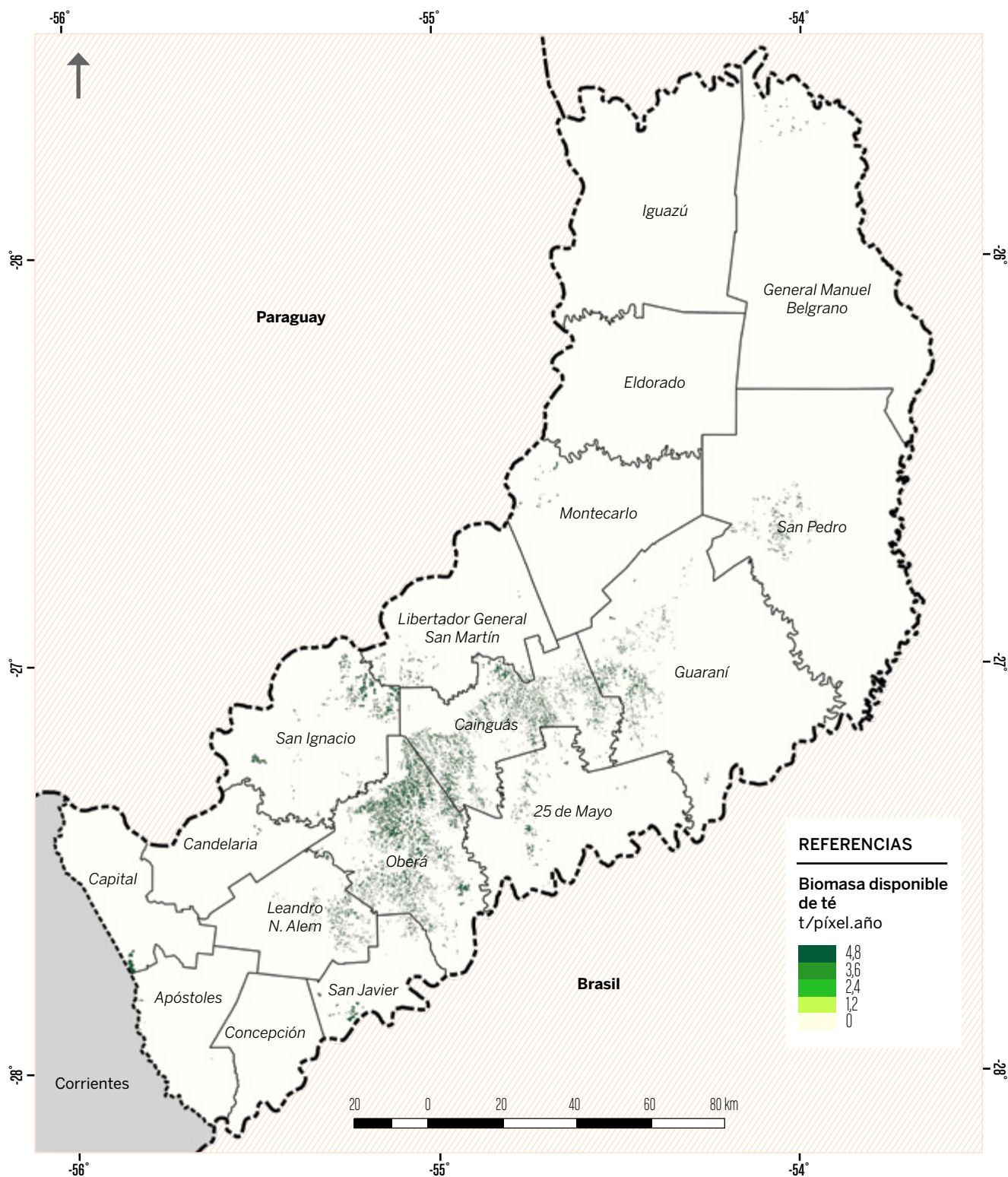
Para el presente informe, los residuos de la superficie que se utiliza para el consumo fresco fueron ubicados, mayoritariamente, en la cuenca mandioquera de los departamentos de San Ignacio, Libertador Gral. San Martín y Montecarlo, a los que se les asignó respectivamente el 50%, 35% y 10% de la producción (comunicación personal con el referente técnico Antonio Uset, de la AER Puerto Rico del INTA). El 5% restante se distribuyó en los demás departamentos de la provincia. El coeficiente de biomasa aplicado se ajustó a partir de la producción promedio de raíces, que ronda las 13 t/ha. Dado que la biomasa que queda en campo es similar a la extraída, la cantidad de residuos remanente en campo se estima también en 13 t/ha de materia vegetal verde.

Respecto de la superficie del cultivo destinada a la industria, se distribuyó la producción de biomasa en campo de acuerdo con la capacidad de

Mapa 16. Oferta directa potencial de plantaciones de yerba mate



Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 17. Oferta directa potencial de plantaciones de té

Fuente: Elaborado por los autores

procesamiento de cada una de las 11 empresas de la provincia. Dicho valor fue asignado como oferta de biomasa al municipio correspondiente, cuyo valor de referencia también fue 13 t/ha. Dado que el coeficiente aplicado es el mismo para ambos usos del cultivo, se generó un mapa único con su oferta directa de biomasa (Mapa 18), que se estima ronda las 290 000 t/año.

Caña de azúcar

Este cultivo abarca alrededor de 2 100 ha, cultivadas por aproximadamente 450 productores. Aunque no se dispone de mapa de distribución espacial de la caña de azúcar, su presencia se restringe a las inmediaciones del ingenio azucarero San Javier, por lo que el coeficiente sobre el aporte de biomasa se asignó a un radio en torno de dicha industria. Los municipios que concentran la producción son San Javier y Mojon Grande, con 20% cada uno, e Itacaruaré, con 10% (según estimaciones brindadas por Ramón Solís, jefe de producción del ingenio San Javier). El 50% restante se cultiva en los municipios de Ameghino, Gobernador López, Dos Arroyos, Santa María, Arroyo del Medio y Panambí. El rendimiento promedio de este cultivo en Misiones ronda las 50 t/ha, mientras que la cantidad de residuos que queda en campo es el 30% del rendimiento (Ramón Solís, comunicación personal). Así se estimó que los residuos remanentes de la cosecha son de alrededor de 15 t/ha, valor que se estableció como coeficiente técnico.

Según la aplicación de los coeficientes y la distribución en el mapa provincial (Mapa 19), este cultivo podría aportar en forma directa casi 6 000 t/año de biomasa, generada en los departamentos del sur provincial y que rodean al ingenio azucarero San Javier.

Tabaco

El tabaco se cultiva en Misiones principalmente sobre la costa del río Uruguay, sobre una superficie de 21 000 ha, distribuidas entre más de 14 000 productores (según datos aportados por integrantes de la Comisión de Tabaco de la Provincia de Misiones, COTAPROM). El ciclo de producción del cultivo se da entre febrero y mayo, y el residuo que

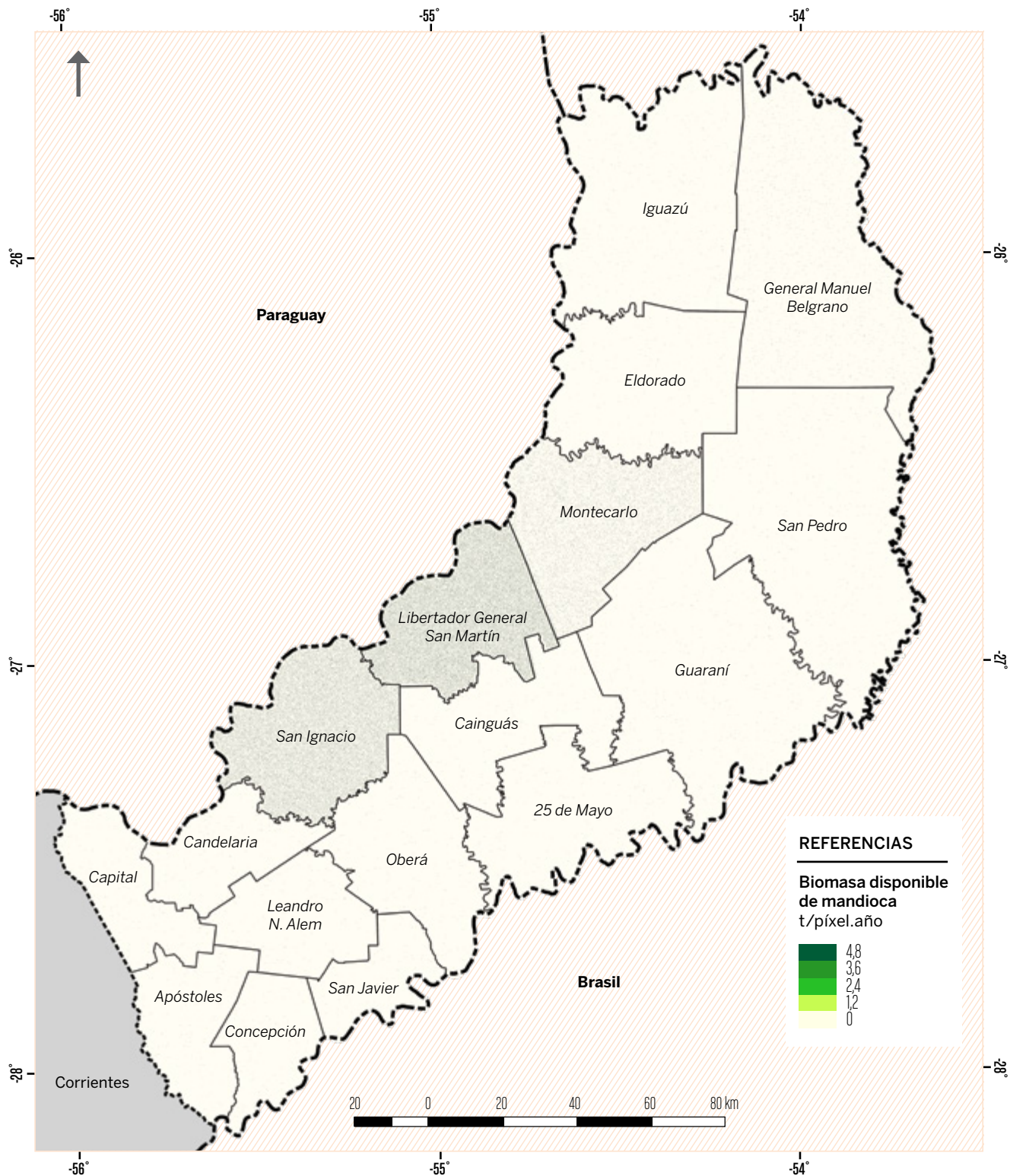
queda en campo es el tallo, cuyo peso promedio es de 234 g (datos brindados por técnicos de la Cooperativa Agroindustrial de Misiones Limitada, CTM). A su vez, hay 16 650 plantas por hectárea. De esta manera, la oferta total de biomasa del cultivo se estimó en casi 82 000 t/año, concentrada alrededor del período de producción.

Dado que el cultivo de tabaco es de ciclo anual y no siempre se utilizan las mismas parcelas, no se cuenta con información actualizada de la distribución espacial de los lotes. No obstante, la CTM aportó datos de producción de 2015 que se pudieron agrupar por municipio. Además, se obtuvo la capa de puntos de 2013. En función de ello, se calculó el porcentaje de producción de cada punto, y el resultado se aplicó al total de residuos generados en la provincia. El Mapa 20 muestra la distribución de la oferta directa de biomasa del cultivo de tabaco.

Oferta total de cultivos

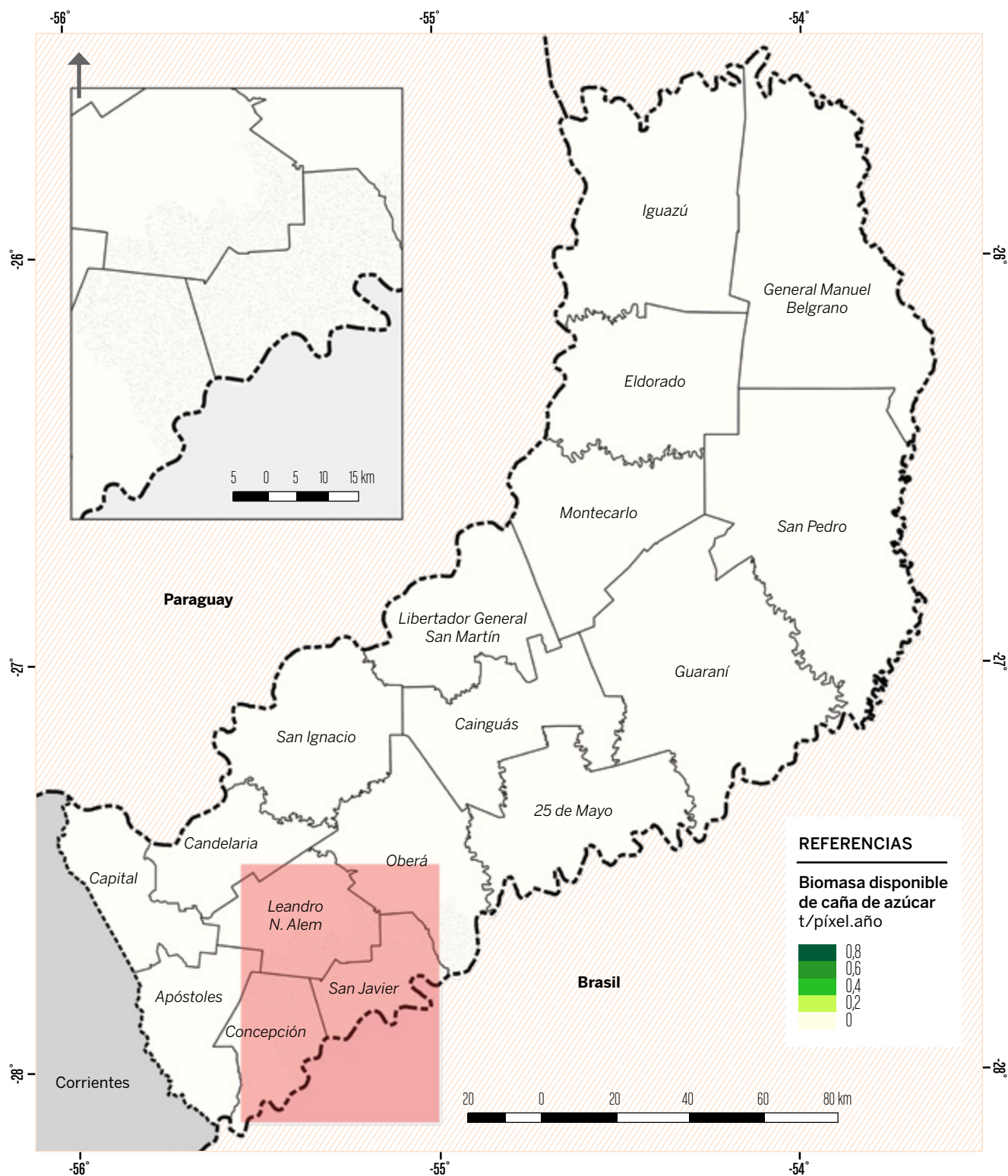
En el Mapa 21 y el Cuadro 3 puede observarse la distribución de la oferta directa de biomasa de todos los cultivos analizados para Misiones. Los valores observados corresponden a los IMA por unidad de superficie (píxel).

El Mapa 22 muestra la cantidad total de biomasa en cada departamento y las proporciones de aporte de cada uno de los cultivos evaluados.

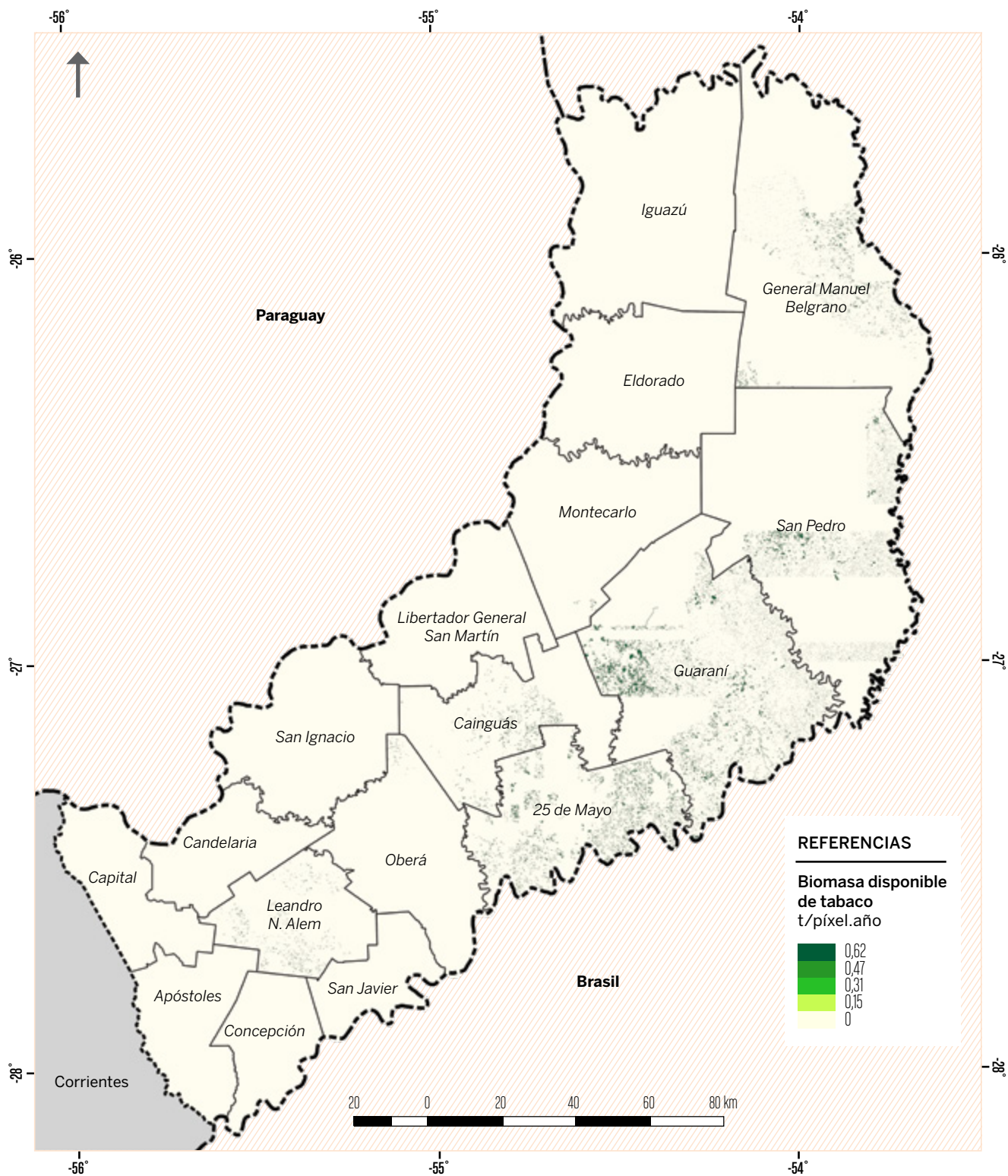
Mapa 18. Oferta directa potencial de plantaciones de mandioca

Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 19. Oferta directa potencial de plantaciones de caña de azúcar

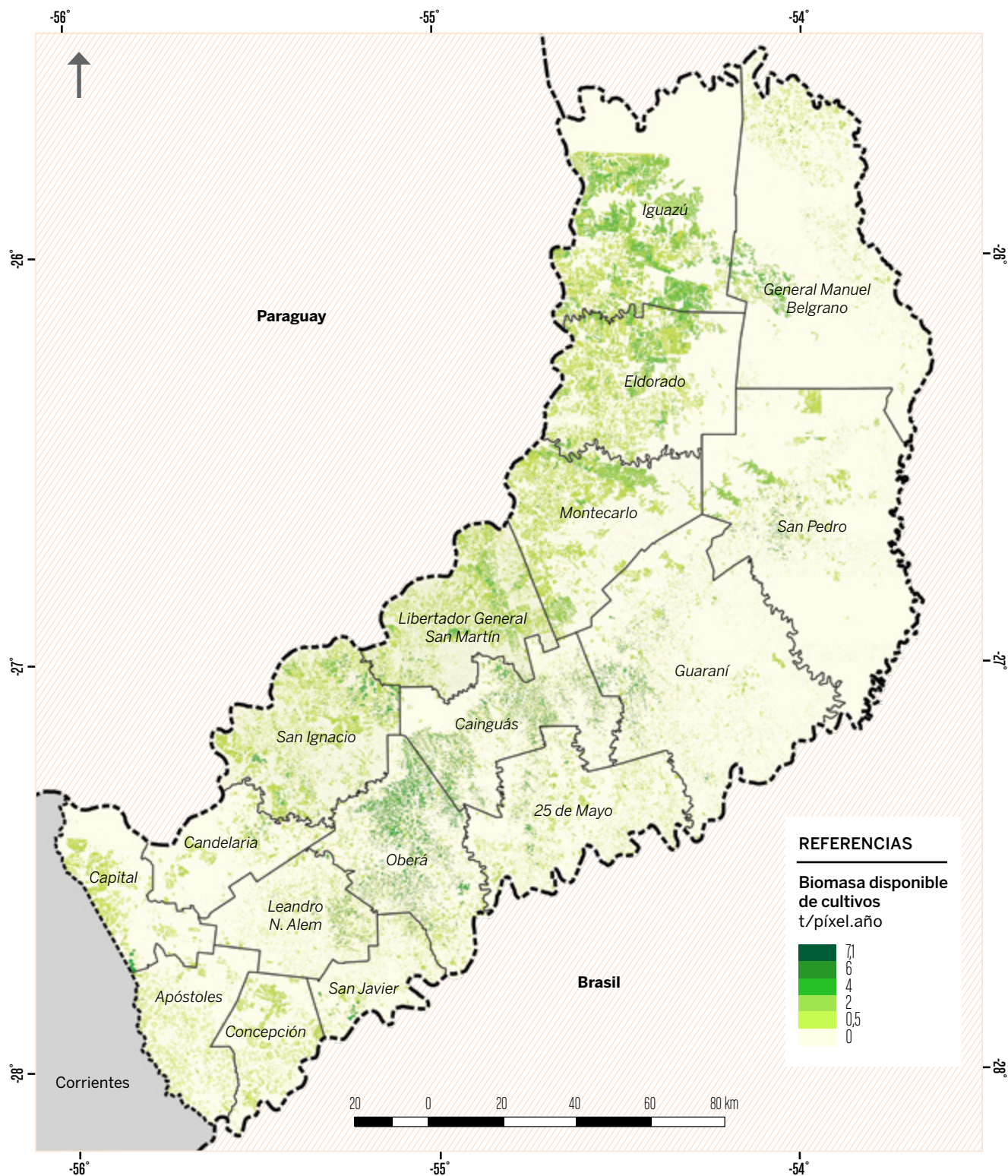


Fuente: Elaborado por los autores

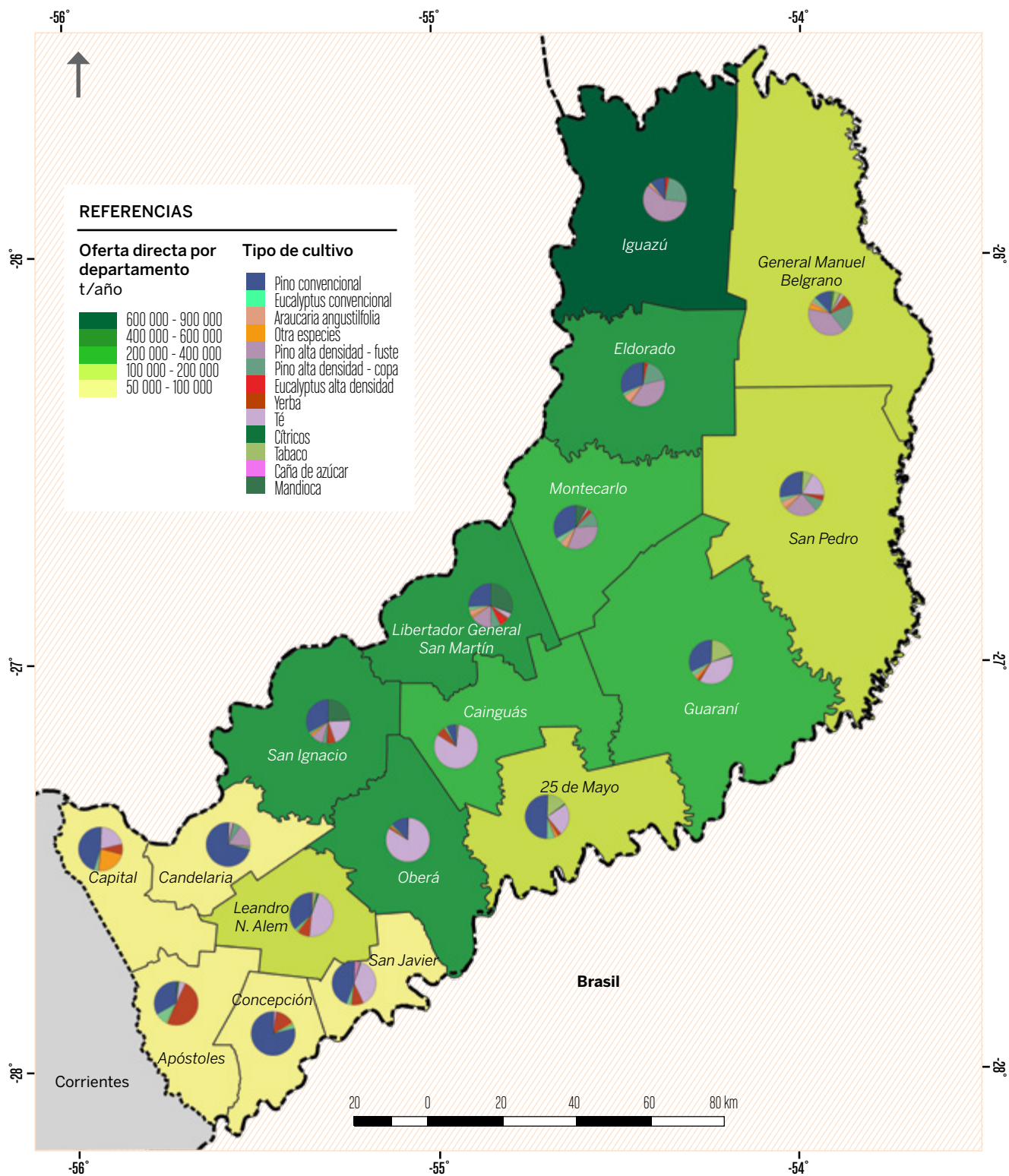
Mapa 20. Oferta directa potencial de plantaciones de tabaco

Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 21. Oferta directa potencial total de cultivos



Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 22. Oferta directa potencial total de cultivos y peso relativo por departamento

Fuente: Elaborado por los autores

Cuadro 3. Oferta directa por cultivo y departamento (t/año)

Departamento	Pino	Euc.	Arauc.	Otras	Pino AD	Euc. AD	Yerba	Té	Cítricos	Tabaco	Caña	Mandioca	Total
25 de Mayo	69 909	7 712	3 799	2 716	0	0	3 627	32 918	1 120	10 704	0	616	133 121
Apóstoles	18 734	5 318	0	428	0	0	27 095	2 698	699	7	25	441	55 445
Cainguaús	25 721	5 917	959	1 917	0	0	23 173	296 842	1 273	8 377	0	743	364 922
Candelaria	39 567	876	0	350	13 204	5	281	1 694	0	7	0	391	56 375
Capital	35 532	2 222	812	17 333	0	0	5 972	16 382	13		0	379	78 645
Concepción	55 533	2 512	0	934	0	0	9 184	0	142		1 542	320	70 167
Eldorado	156 859	10 996	30 286	4 437	284 221	11 127	1 490	0	4 224	24	0	768	504 432
Belgrano	21 962	5 499	4 295	7 566	107 904	0	14 588	4 968	676	10 447	0	4 703	182 608
Guaraní	69 502	7 792	3 799	3 553	0	0	4 427	80 347	2 006	33 548	0	1 435	206 409
Iguazú	93 846	3 951	19 708	2 142	711 809	20 074	3 025	0	200	1 363	0	1 134	857 252
L.N.Alem	39 664	2 564	78	1 143	0	0	9 322	49 915	1 763	3 595	1 208	453	109 705
San Martín	120 591	13 228	20 048	7 195	107 015	24 288	10 957	19 003	3 209	55	0	138 742	464 331
Montecarlo	128 245	17 699	21 397	3 083	168 538	5 244	6 141	6 264	1 495	68	0	30 944	389 118
Oberá	69 936	5 107	1 373	6 805	0	0	6 943	469 522	158	2 732	697	697	563 970
San Ignacio	151 950	6 584	860	8 610	54 237	984	27 294	91 166	1 140	0	0	106 558	449 383
San Javier	26 708	2 044	5	356	0	0	5 022	22 363	394	2 498	2 424	270	62 084
San Pedro	50 322	5 916	9 684	2 575	59 117	2 898	4 240	32 822	68	8 394	0	1 483	177 519
Total	1 174 581	105 935	117 105	71 143	1 506 045	64 620	162 780	1 126 906	18 580	81 818	5 895	290 076	4 725 486

Referencias: Euc.: Eucalyptus con manejo convencional; Arauc.: Araucaria angustifolia con manejo convencional; Otras: otras especies; Pino AD: Pino con manejo de alta densidad; Euc. AD: Eucalyptus con manejo diferencial

Fuente: Elaborado por los autores

5.2.2 Bosques nativos

Misiones cuenta con formaciones nativas en distintos estados de conservación y concentra la mayor biodiversidad del país en menos del 0,5% de su territorio (Rodríguez *et al.*, 2004). Los datos existentes sobre el monte nativo de la provincia, de 2010, registran una superficie de 1 638 147 ha, distribuidas en siete categorías: selva de cobertura cerrada; selva de cobertura variable; bosques rurales; bosques en galería; cañaverales; bosques secundarios, y áreas con bosques degradados en tierras agropecuarias. Esta información se mejoró sustrayendo del mapa las áreas correspondientes a ciudades, caminos, lagos, etc., que no estaban identificadas debido a la resolución de la capa de bosques. El Mapa 23 muestra la superficie de cada área.

La ley provincial XVI N.º 105, que promueve la realización del Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos (OTBN) en Misiones, clasifica el bosque nativo en tres categorías: I (Rojo), II (Amarillo) y III (Verde), con distinto grado de protección (ver Anexo).

En el Mapa 24 se observa la distribución de las categorías de OTBN en la provincia.

De acuerdo con esta ley, la biomasa de la categoría Rojo no podrá ser utilizada con fines bioenergéticos. En el caso de la categoría Amarillo, solo podrá utilizarse bajo un manejo sostenible y siempre que no haya otras restricciones legales (situación que se analiza en el módulo de accesibilidad). En cuanto a las zonas de la categoría Verde, puede considerarse que la biomasa aprovechable corresponde a la totalidad de la existente sobre el suelo.

Para estimar una tasa de extracción sostenible, y cumplir con el requisito de la categoría Amarillo, se consultó a la Dirección de Manejo Sustentable de Bosques Nativos de Misiones, según la cual la cantidad promedio de madera que se autoriza para extracción es de 15,5 m³/ha, aproximadamente. Este volumen debe ser distribuido entre las especies de los diferentes agrupamientos establecidos por el Decreto 1617/88 y la Resolución 478/06. Por otro lado, para que no se extraiga más de lo que crece y asegurar un uso sustentable, se utili-

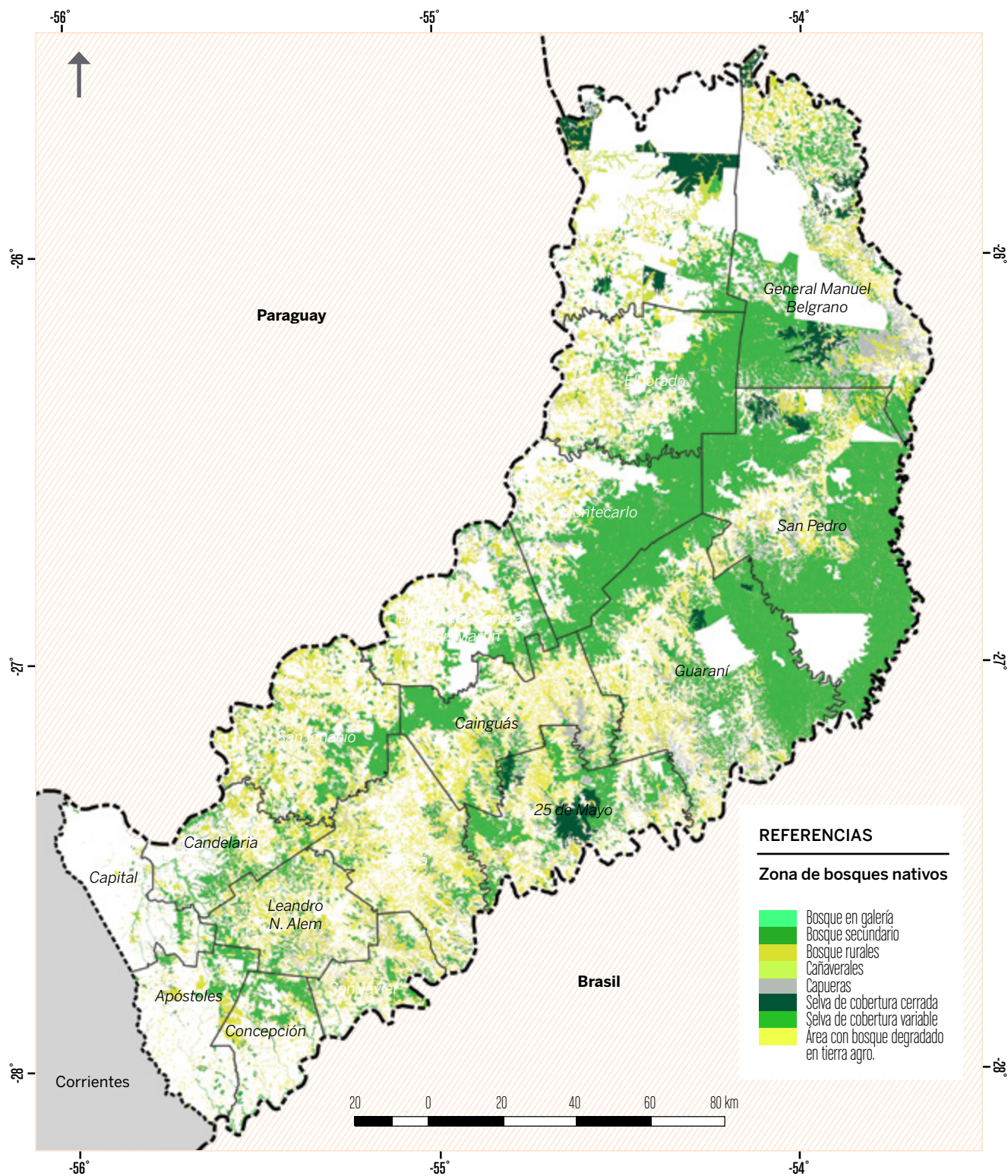
za como valor de biomasa disponible el incremento medio anual (IMA) del bosque nativo misionero. Este valor depende en gran medida del grado de disturbio que haya sufrido el bosque por agentes antrópicos. Si se considera que la posibilidad de realizar aprovechamiento sostenible en un mismo lote es cada cinco años, el valor anual de extracción sería de 3,1 m³/(ha.año).

En la provincia se han estudiado formaciones sin alteración o con un grado moderado de intervención: según Pinazo *et al.* (2010), el crecimiento del monte nativo alcanza 2,85 m³/(ha.año) de madera. Este valor se condice con lo mencionado por MacDonagh y Rivero (2005), quienes indican que el crecimiento del monte nativo puede oscilar entre 1 y 4 m³/(ha.año), cuyo mayor rendimiento se obtiene por medio de manejo silvicultural, y a la vez es próximo a la estimación de la Dirección de Manejo Sustentable de Bosques Nativos provincial. Por lo tanto, se tomó para los cálculos el valor obtenido por Pinazo *et al.* (2010), producto de una investigación científica.

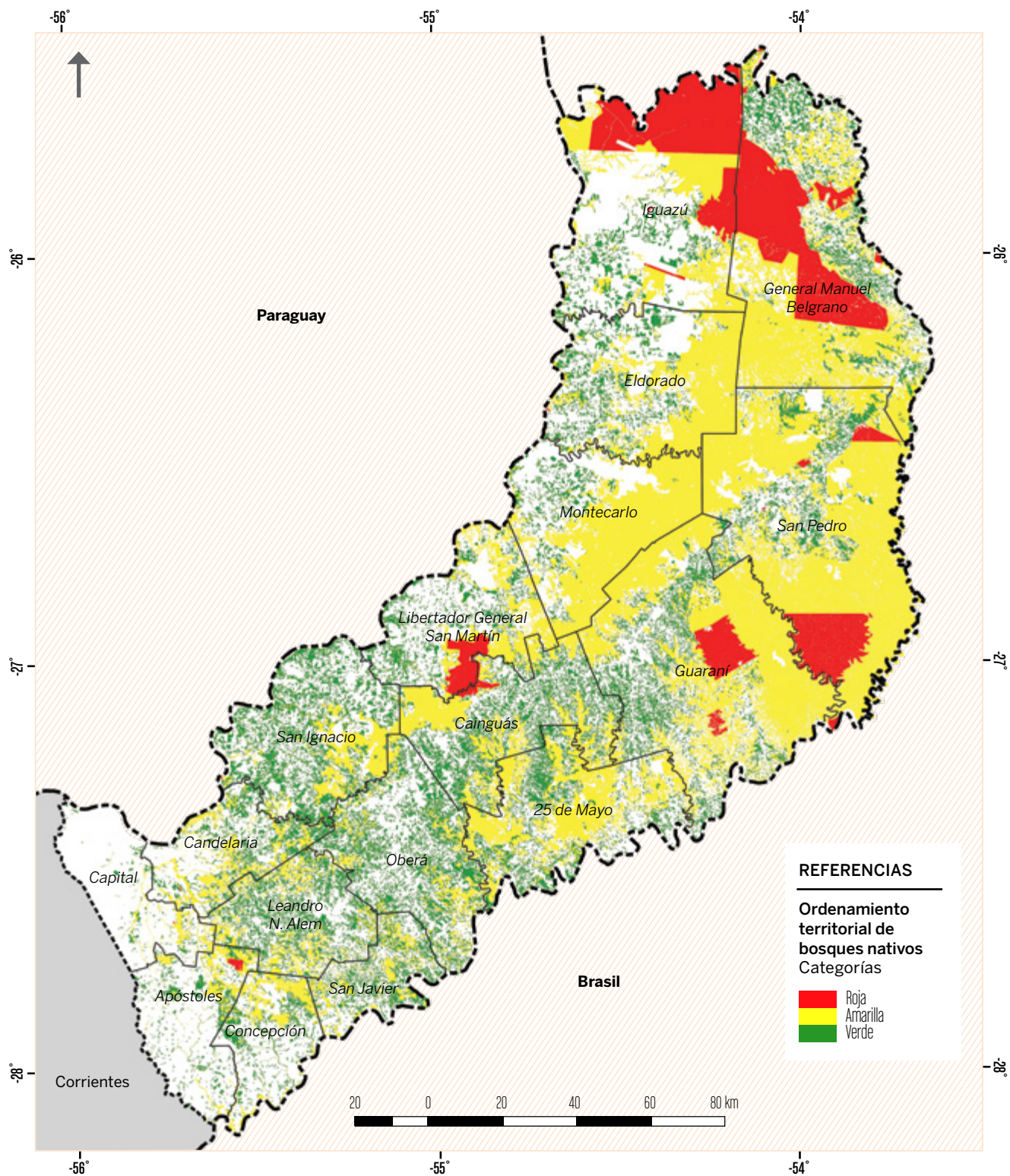
Para transformar el volumen de extracción en peso seco a fin de estimar la biomasa disponible, se multiplicó por la densidad de la madera. Para ello, se tomó el valor promedio de las especies autorizadas a extraer del monte nativo, que es aproximadamente de 0,61 t/m³, de lo que resultó 1,74 t/ha de madera de calidad aserrable seca.

Por otro lado, según Gasparri y Manghi (2004), la existencia total de madera en el bosque nativo de Misiones es aproximadamente de 174 m³/ha; si en las intervenciones anuales es factible extraer 2,85 m³/ha, este valor representa el 1,6% de la existencia total. De la misma manera, puede considerarse que la biomasa de copa en estas formaciones es de 143 t/ha (Gasparri y Manghi, 2004); si el porcentaje de aprovechamiento corresponde al 1,6 %, los residuos aportados son aproximadamente de 2,29 t/ha. No obstante, se debe tener en cuenta que el aprovechamiento de la biomasa de copa queda restringido por la Resolución 478/2006 del Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo de Misiones, según el que solo el 30% de la biomasa de copa puede ser extraída. Por lo tanto, el coeficiente de biomasa

Mapa 23. Zonas de bosques nativos



Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 24. Distribución de las zonas de acuerdo con el OTBN

Fuente: Gobierno de la provincia de Misiones (2010b)

con posibilidades de utilización para bioenergía es de 0,69 t/ha. Este coeficiente fue aplicado a las categorías de cobertura cerrada, selva de cobertura variable y bosque secundario (Mapa 27). Para este informe, se consideró que las categorías bosques rurales, bosques en galería, cañaverales y áreas con bosque degradado en tierras agropecuarias (Mapa 27) aportan el 10% (0,069 t/ha) de las anteriores, ya que estas superficies son escasamente aprovechadas por cuestiones técnicas.

En cuanto a las zonas de categoría Verde, en Misiones no existen estudios que indiquen la cantidad de biomasa sobre el suelo en este tipo de formaciones. Se tomó el valor de Ulate Quesada (2011) para bosques nativos de Costa Rica similares a los de Misiones, de 50 t/ha, valor que se estableció como promedio para la categoría de cambio de uso de suelo. De acuerdo con el trabajo de Gasparri y Manghi (2004) en Misiones, el 54% de la biomasa por encima del suelo corresponde a los compartimientos de la copa, y el 46% restante, al fuste. Respectivamente, serían 27 t/ha y 23 t/ha. Como la extracción de ramas debe ser el 30% del total de copa según la normativa, el aporte de biomasa de la copa de estas formaciones se estimó en 8,1 t/ha. Dado que no todas las especies de la categoría Verde son maderables, solo 13 t/ha de fuste son aprovechadas en aserradero, en tanto que el resto es considerado como oferta directa junto con las ramas. Por lo tanto, el valor total de biomasa con posibilidades de generar energía es de 18,1 t/ha.

Asimismo, para evitar distribuir los valores de IMA de manera homogénea en cada estrato de cobertura de bosque y mejorar la precisión del análisis, se utilizaron las capas de cobertura arbórea Tree Cover, Lossyear y Gain generadas por Hansen *et al.* (2013). La capa Tree Cover contiene estimaciones del porcentaje de cobertura de la vegetación leñosa mayor a 5 m de altura respecto de cada píxel de 30 m de terreno horizontal para el año 2000. Fue actualizada con la pérdida anual de cobertura arbórea hasta el año 2016 mediante la capa Lossyear, mientras que la regeneración del bosque (reclutamiento), en el mismo período, se incorporó con la capa Gain.

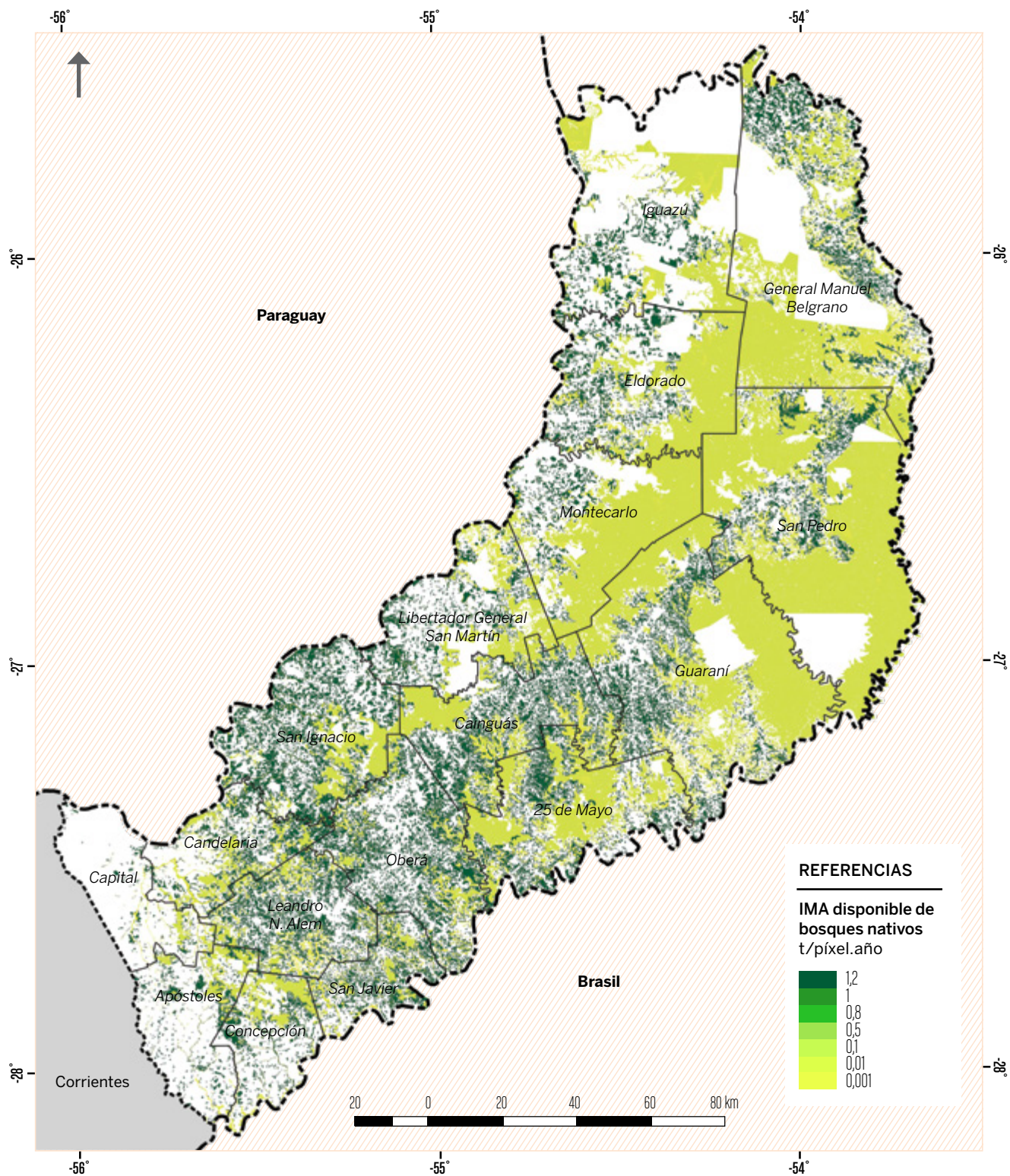
Finalmente, se afectó el valor de IMA por un factor de fracción dendroenergética para contemplar un porcentaje de la biomasa que cumpla las funciones de protección del suelo, como una práctica de manejo sustentable. Se adoptaron dos factores, uno para formaciones densas (0,88) y otro para formaciones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

Al aplicar los coeficientes sobre la capa correspondiente se obtuvo la distribución de oferta de biomasa de bosques nativos (Mapa 25), que ronda los 3 614 000 toneladas. En el Cuadro 4 se presentan los resultados de oferta directa por departamento, donde se destacan Oberá, San Ignacio, Belgrano y Guaraní como los que tienen mayor cantidad de biomasa con posibilidades de ser utilizada para energía.

Cuadro 4. Oferta directa de bosque nativo por departamento

Departamento	Oferta directa (t)
25 de Mayo	236 264
Apóstoles	80 393
Caingúas	334 564
Candelaria	141 027
Capital	24 785
Concepción	82 462
Eldorado	201 043
Belgrano	308 560
Guaraní	352 630
Iguazú	154 635
L.N. Alem	247 267
San Martín	169 161
Montecarlo	115 297
Oberá	385 585
San Ignacio	384 386
San Javier	137 635
San Pedro	258 211
Total	3 613 905

Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 25. Oferta directa potencial de bosques nativos

Fuente: Elaborado por los autores

Accesibilidad física

La metodología WISDOM contempla la incorporación de una variable limitante, que tiene relación con la topografía y la distancia que existe entre un lugar poblado o vías de comunicación y la localización del recurso biomásico analizado. Esencialmente, la metodología propone aplicar esta restricción o limitante a la oferta directa de biomasa proveniente de los diferentes cultivos y de las formaciones nativas, dado que estos recursos se encuentran dispersos en el territorio. El desplazamiento entre dos puntos del espacio implica una fricción, que se expresa en términos de costos económicos y energéticos (combustible, mano de obra) y de tiempo de traslado, dependiendo de la distancia y pendientes que separan a estos puntos. La accesibilidad física es un parámetro espacial que define la accesibilidad de un determinado recurso biomásico con relación a la distancia que lo separa del lugar más cercano, y a un factor de costo basado en características del terreno (FAO, 2009).

De esta manera, para calcular la accesibilidad al recurso biomásico se incorporó la capa de red vial y centros poblados (la red ferroviaria es muy escasa en la provincia). También se tiene en cuenta la información del Modelo Digital de Elevaciones (MDE), que permite evaluar la accesibilidad de acuerdo a la pendiente del terreno: cuanto mayor es la pendiente, mayor es la dificultad. En este caso, las superficies de fricción contienen valores de costo, que expresan la resistencia que presenta una celda a ser recorrida, es decir, la resistencia a la posibilidad de desplazamiento ofrecida por un medio físico en un punto concreto..

Por esta razón, se creó un mapa de accesibilidad que contempla los factores mencionados en relación con el mapa de fricción. Los coeficientes aplicados son los mismos utilizados en el WISDOM Salta, que otorgan un valor 1 para camino pavimentado, 0,72 para consolidado y 0,46 para camino de tierra. Así, un píxel que posea un coeficiente de 0,72, tendrá un 72% de su IMA potencial utilizable con fines bioenergéticos.

El Mapa 26 ilustra la accesibilidad física para la provincia de Misiones. Como se puede observar

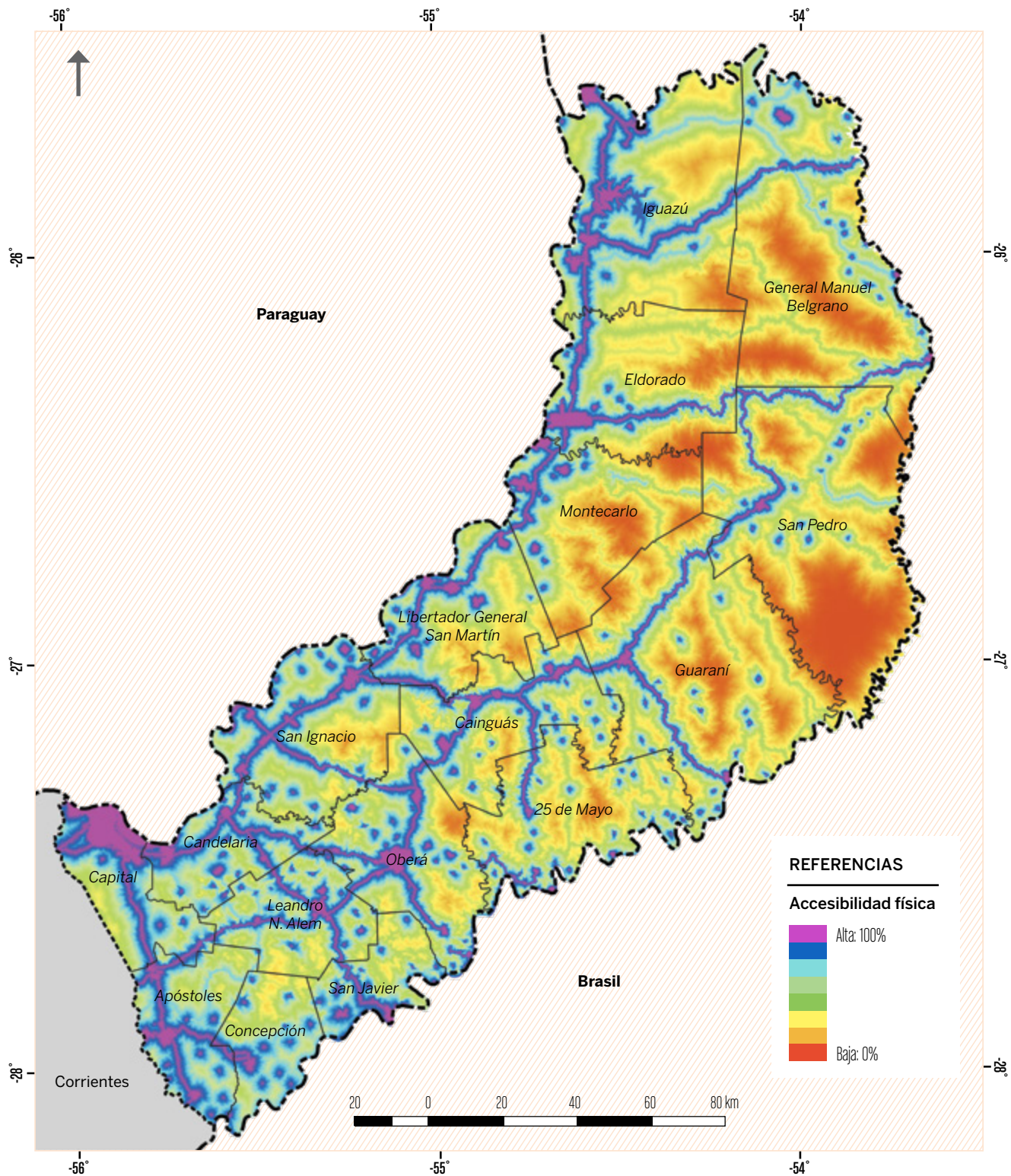
fácilmente, la mayor accesibilidad se corresponde con la red vial y principalmente con la Ruta Nacional 12, que se encuentra en el oeste de la provincia, y la Ruta Nacional 14, que va por el centro y finaliza en Bernardo de Irigoyen. Por otro lado, las áreas de menor accesibilidad son las del noreste provincial, en el que las pendientes son mayores y la red vial es menos densa.

Accesibilidad legal y leyes consideradas

Este es un parámetro espacial que define la accesibilidad a un determinado recurso biomásico en relación con las restricciones legales a las que están sujetos su aprovechamiento y su gestión comercial. Misiones tiene diversas restricciones legales, cuyo objetivo es conservar los recursos naturales. Las principales se mencionan a continuación:

La Ley XVI – N.º 37 (antes Ley 3231) de Misiones sobre conservación de suelos establece como suelo productivo todo aquel capaz de sustentar cualquier forma de producción primaria, agropecuaria o forestal. Además, en su artículo 5.º, aclara que entiende como utilización y manejo racional de los suelos productivos “su aprovechamiento mediante prácticas y procedimientos capaces de conservar, mejorar y recuperar su capacidad de producción”. Por ello, luego de los cálculos de oferta de biomasa, se harán recomendaciones pertinentes respecto de la conservación de suelo, ya que no se dispone de datos que indiquen cuál es el umbral que asegura el mantenimiento de su capacidad productiva.

La Ley XVI N.º 60, que establece el “Área Integral de Conservación y Desarrollo Sustentable Corredor Verde de la Provincia de Misiones”, expresa como objetivo “generar condiciones favorables para la preservación de las masas selváticas” de ese corredor, para lograr la unión de los tres principales bloques de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) existentes en el territorio provincial. Las áreas mencionadas son, al norte, los parques provinciales Yacuí, Uruguái y Foerster y el Parque Nacional Iguazú; al este, la Reserva de Biosfera Yabotí y los parques provinciales Esmeralda y Moconá, y al sur, los parques provinciales Salto Encantado y Cuña Pirú.

Mapa 26. Accesibilidad física

Fuente: Elaborado por los autores

Respecto de dichas áreas, el objeto de la ley es prevenir el aislamiento progresivo de las ANP, y establece la necesidad de proteger las nacientes y altas cuencas de los ríos y arroyos que constituyen el sistema hidrográfico de la provincia. Por otro lado, el Decreto reglamentario 944 de la Ley de Áreas Naturales Protegidas 2932 establece los parques provinciales.

La Ley provincial “de Bosques” (Ley XVI – N.º 7, antes Decreto Ley 854/77), declara de interés público el uso óptimo de los bosques, y define los distintos tipos de bosque. La capa de cobertura utilizada tiene diferenciadas las clases de bosque en base a estas definiciones, lo que permite establecer los límites de manera más imparcial. La Ley XVI – N.º 19 (antes Ley 2380) declara Monumento Natural Provincial, de interés público y fuera del comercio, los ejemplares nativos de las especies *Araucaria Angustifolia* (pino paraná) y *Aspidosperma Polyneurum* (palo rosa), ubicados en tierras fiscales provinciales, de entes autárquicos, descentralizados, municipales y/o de propiedades privadas, a fin de lograr la preservación, conservación y reproducción de las especies, para evitar su extinción. También la Ley XVI – N.º 91 (antes Ley 4318) hace lo propio con el lapacho negro (*Tabebuia-heptaphyla*), cuya flor fue elegida como la oficial de Misiones. Estas leyes se tienen en cuenta reduciendo del mapa de accesibilidad el 50% del IMA establecido.

En función de las leyes mencionadas, los cálculos de oferta de biomasa de bosques nativos se efectuaron con coeficientes que en buena medida permiten acercarse a las condiciones de manejo sustentable establecidas por el área gubernamental encargada de su aplicación.

Para determinar la oferta, en el mapa de ordenamiento territorial (OTBN) fueron excluidas las zonas categorizadas como Rojo. Dado que este mapa no incluye la protección real de los márgenes de cursos de agua en todo el territorio provincial, a los arroyos comprendidos hasta el segundo orden de importancia se les aplicó una restricción total en una franja protectora de 30 metros de ancho hacia cada lado.

A partir de la conjunción de las restricciones físicas y legales, se superpusieron los coeficientes y se dejó el de mayor restricción a efectos de construir el mapa de accesibilidad total. En este sentido, las áreas no restringidas por ninguno de esos parámetros aparecen en el mapa con valores de accesibilidad del 100%, mientras que las áreas donde la restricción es total fueron consideradas de accesibilidad nula. Ello dio lugar al mapa de accesibilidad total (Mapa 27).

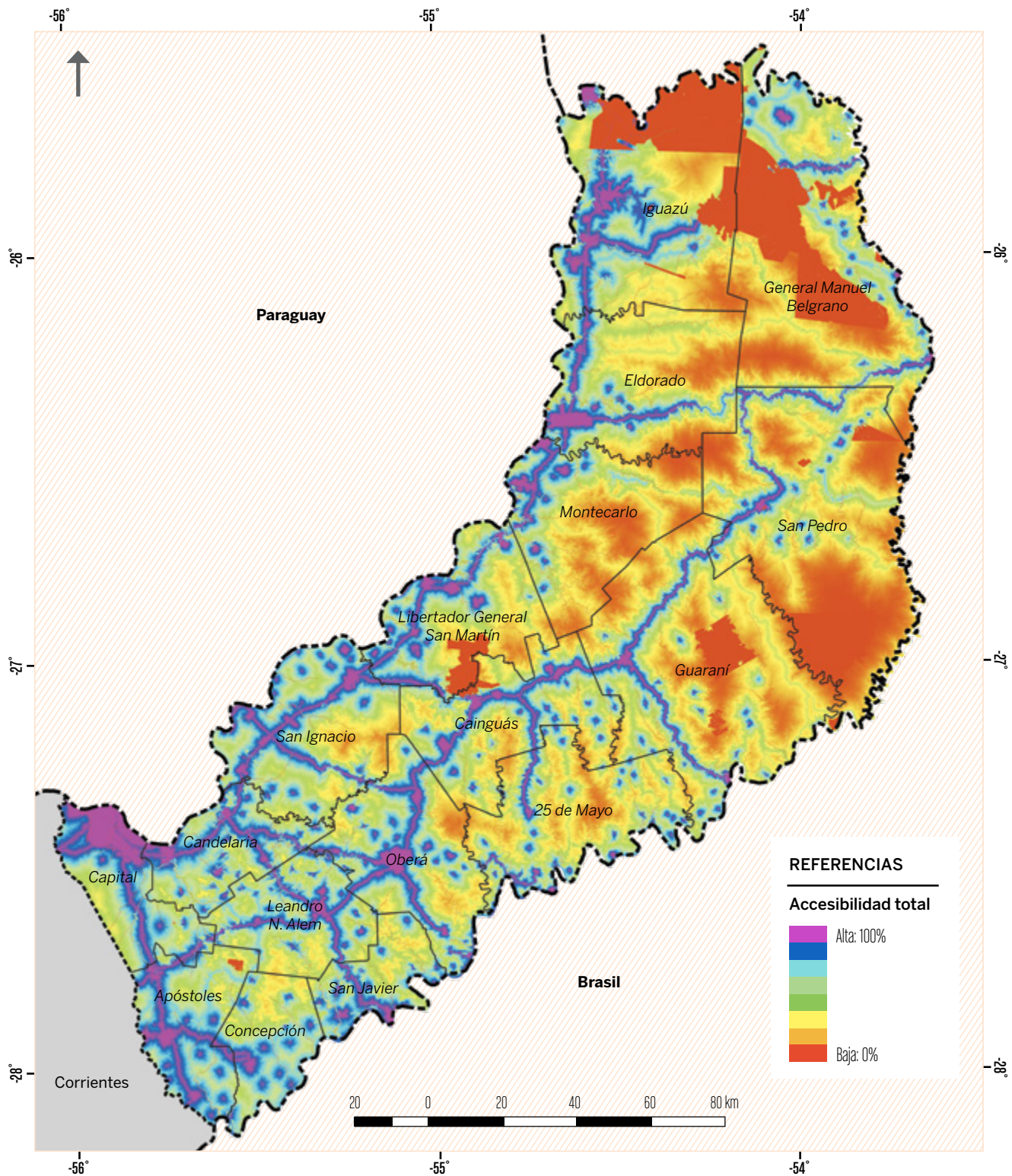
Síntesis de oferta directa accesible

Una vez logrado el mapa de accesibilidad total se lo multiplicó por el mapa de oferta directa total, que es la suma de la oferta directa de cultivos y de bosques nativos, de aproximadamente 8 339 000 t/año. Al afectarlo por la accesibilidad total, la disponibilidad se redujo a alrededor de 4 558 000 t/año.

5.3 Módulo de oferta indirecta

Prácticamente los mismos cultivos que aportan biomasa en forma directa lo hacen también de manera indirecta luego de ser transportados y procesados. Así, en el capítulo de oferta directa se analizaron las plantaciones forestales convencionales considerando únicamente la biomasa de copa, no la madera, que se destina a las industrias del aserrado o afines. Los residuos de esta industrialización generan una oferta indirecta de biomasa, así como la de la yerba mate, el té, el tabaco y la caña de azúcar. También se incluyen en esta categoría los residuos de la poda urbana, que se generan en diferentes puntos de las comunidades pero terminan concentrados en un lugar.

Esos residuos o subproductos se consideran como oferta indirecta cuando tienen bajo porcentaje de humedad y están compuestos principalmente por celulosa. Si, en cambio, tienen alto contenido de humedad (mayor al 60%) y están compuestos principalmente por azúcares y almidones, se consideran biomasa húmeda.

Mapa 27. Accesibilidad total (física y legal)

Fuente: Elaborado por los autores

Industria forestal

Pinus

Del material leñoso proveniente del segundo y tercer raleo de esta especie (a los 9 y 13 años de edad), el 75% es derivado a la industria del aserrado, y el 25% restante, a pasta celulósica. En el segundo raleo se extraen 72,6 t/ha de madera y en el tercero, 96,6 t/ha. Estos valores, al ser multiplicados por el coeficiente de aserrado (0,5), por la densidad básica de la madera (0,42) y por el correspondiente porcentaje (75%), dan un aporte de biomasa de 11,43 t/ha y 15,22 t/ha, respectivamente. Al momento de la tala rasa (20 años de edad), el volumen de madera que se obtiene de esta especie bajo un régimen de manejo tradicional es aproximadamente de 440 m³/ha.

El rendimiento en aserradero de un sistema convencional de aprovechamiento es variable y depende de diversos factores, entre ellos, el diámetro de la troza, su conicidad, la tecnología y el método de aserrado aplicado. Para el presente informe se utilizó un coeficiente de aserrado de 50%, que permite una estimación conservadora de la biomasa disponible luego del aserrado, de acuerdo con valores encontrados en investigaciones sobre madera de pino (Murara Junior *et al.*, 2005; Luna *et al.*, 2012; Ortiz Barrios, 2016). No obstante, para mantener el criterio aplicado al estimar la oferta directa, los cálculos se efectuaron sobre los IMA de biomasa. La cantidad de madera disponible para ser utilizada en generación de energía responde al total de madera que ingresa al aserradero ponderada por un coeficiente de aserrado. En el Cuadro 5 se observan los valores de IMA correspondientes a cada edad de la plantación de distintas especies.

Eucalyptus

El volumen estimado de madera para plantaciones de *Eucalyptus grandis* a la edad de corta es de 495 m³/ha (Winck *et al.*, 2016). Este volumen, afectado por el valor de densidad de la madera, de 0,56 t/m³, da un ingreso a la planta de 277 t/ha. El producto de esa cantidad por 0,56, correspondiente al coeficiente de desperdicios generados por esta especie durante el aserrado (Monteiro *et al.*, 2012),

Cuadro 5. IMA de fuste en forestaciones convencionales por especie

Edad	Especies (t/ha)			
	<i>Pinus</i>	<i>Eucalyptus</i>	<i>A. angustifolia</i>	Otras especies
1	0,1	5,4	0,1	0,1
2	0,1	5,4	0,1	0,1
3	1,7	11,0	1,9	1,0
4	3,7	11,1	2,2	1,1
5	4,9	9,6	3,0	1,5
6	5,7	10,8	12,7	6,4
7	6,2	10,9	2,1	1,0
8	6,4	9,9	4,9	2,4
9	6,3	10,4	4,7	2,4
10	6,1	10,8	4,8	2,4
11	6,0	11,1	4,8	2,4
12	6,0	11,3	4,7	2,3
13	5,8	11,3	4,5	2,2
14	5,6	-	7,2	3,6
15	5,6	-	3,8	1,9
16	5,5	-	3,6	1,8
17	5,3	-	3,3	1,7
18	5,3	-	3,5	1,8
19	5,1	-	2,9	1,4
20	5,0	-	2,9	1,5
21	-	-	12,6	6,3
22	-	-	3,0	1,5
23	-	-	2,9	1,4
24	-	-	2,6	1,3
25	-	-	2,5	1,2
26	-	-	1,9	1,0
27	-	-	2,0	1,0
28	-	-	2,2	1,1
29	-	-	1,9	0,9
30	-	-	1,5	0,8

Fuente: Elaborado por los autores

da un valor de 155 t/ha en peso seco de biomasa remanente en industria, disponible para generación de bioenergía. Los valores de aporte en cada una de las intervenciones silviculturales intermedias, que han sido aplicados en los modelos, son aquellos obtenidos a partir de la estimación del volumen maderable (Cuadro 5).

Araucaria angustifolia

Según investigaciones realizadas por Martiarena *et al.* (2010), una plantación de *A. angustifolia* de 30 años de edad con densidad de 210 pl/ha acumula 98,2 t/ha de madera seca. Según Valério *et al.* (2009), el rendimiento en aserradero del fuste con corteza para esta especie es de 49,2%, con lo que los residuos representan el 50,8% de la madera ingresada a planta. Al afectar el valor total de madera con corteza (98,2 t/ha) por el coeficiente de residuos (0,508) se obtienen 49,9 t/ha. Durante el segundo y tercer raleo (13 y 20 años de edad) se extraen 23,1 t/ha y 37,7 t/ha de madera, respectivamente. En ambos casos, el 75% se destina a la industria del aserrado, y el 25% restante, a pasta celulósica. Al ponderar la madera extraída por el porcentaje derivado al aserrado, se obtienen valores respectivos de 17,3 t/ha y 28,3 t/ha. Si se afecta esta cantidad por el coeficiente de residuos se obtienen 8,8 t/ha y 14,4 t/ha. Los valores aplicados en los modelos son aquellos obtenidos a partir de la simulación (Cuadro 5).

Otras especies forestales

Dada la pequeña superficie cultivada en la provincia por otras especies forestales como *Grevillea robusta*, *Toona ciliata*, *Melia azedarach* y algunas nativas, su diversidad de turnos y manejos, y que no se conoce su aporte de biomasa, se estimó un manejo similar al planteado para *A. angustifolia* y un aporte de biomasa equivalente al 50% de esta especie, como se observa en el Cuadro 5.

Oferta indirecta potencial de biomasa de plantaciones forestales convencionales

La oferta indirecta de biomasa de las plantaciones forestales convencionales es aproximadamente de

1 506 000 t. El mayor aporte, con el 75% del total, proviene de plantaciones de *Pinus*; luego de *Eucalyptus*, con 18%, y el restante 6% se distribuye entre las de *Araucaria* y Otras especies forestales. Los departamentos de Eldorado, Montecarlo y Libertador Gral. San Martín son, en ese orden, los de mayor oferta indirecta de biomasa.

Secaderos de yerba mate

Según datos brindados por el INYM, la producción de yerba mate de Misiones en 2016 fue de 711 000 t de hoja verde. Información relevada en industrias por el técnico referente del INTA Néstor Munaretto indica que la oferta indirecta de biomasa en el sector yerbatero es del 3% del total de hoja verde que ingresa a los secaderos. Cabe aclarar que los residuos de varias empresas son aprovechados por los productores como abono para sus chacras. No obstante, estas industrias generan residuos algo superiores a las 21 000 t/año.

Secaderos de té

La producción de té en Misiones es de aproximadamente 387 000 t/año. Los residuos remanentes de la industria tealera rondan el 22% de la hoja verde que ingresa, con lo que totalizan cerca de 21 310 t. Debido a que la cantidad de hoja procesada varía cada año en cada industria, para el presente informe los residuos generados se asignaron porcentualmente a los municipios donde se encuentran dichas industrias según la superficie cultivada.

Tabacaleras

La producción de tabaco en Misiones ronda las 20 000 t/año, concentrada en una sola región, ya que una única industria procesa más del 90% del total. Según datos aportados por los integrantes de CTM, los residuos son aproximadamente el 20% de la materia prima procesada, por lo que alcanzarían cerca de 4 000 t/año. Según los técnicos de la compañía, los productores se llevan este residuo para utilizarlo como abono. No obstante, en el presente informe se considera el total de residuo, sin descontar ese porcentaje.

Ingenio azucarero

La producción de caña de azúcar en Misiones es de 105 000 t/año, de las que el ingenio azucarero San Javier industrializa prácticamente el total, salvo una pequeña parte que se procesa en mini emprendimientos. El rendimiento fabril de este cultivo es del 7%, por lo que los residuos de la industrialización son aproximadamente de 97 650 t/año. De ese total, cerca de 3 000 t/año de bagazo se consumen en las propias calderas del ingenio, por lo que los residuos disponibles se reducen a 94 650 t/año. De estos, una parte es utilizada por los productores para mejorar el suelo de sus chacras aunque aquí no es tenido en cuenta porque se carece de información. Para el presente informe, los residuos se asignaron al punto geográfico correspondiente al ingenio San Javier.

Poda urbana

Para recolectar los datos de residuos provenientes del arbolado urbano, se consultó a los responsables del área de 12 municipios (secretario o director de Obras Públicas, o contratista responsable de la recolección). En ningún municipio tenían registros y los responsables del área tampoco conocían la biomasa transportada en cada viaje. Por ello, se solicitó a un municipio que pesara algunas cargas para tener un valor promedio. Así se registró una carga de 800 kg en una caja de camión estándar llena de residuos de poda. A partir de este dato, se efectuó una regresión entre la biomasa recolectada y el tamaño del ejido urbano de la localidad correspondiente, con la que se calcularon los residuos recolectados en los demás municipios. En todos los casos la mayor recolección se realiza en los meses “pico”, entre abril y agosto. Se hicieron algunos ajustes derivados de las consultas, como considerar 15 días efectivos de recolección al mes, tras descontar los días de lluvia, vacaciones y desperfectos técnicos de los equipos viales. La cantidad de biomasa recolectada se sumó en forma ponderada entre los meses pico y los demás. El ajuste de la regresión se realizó con la suma anual y dio un R^2 de 0,76. La ecuación final obtenida fue:

$$Y = 0,4955 \cdot \text{Sup} + 531,86$$

Donde:

Y = biomasa del ejido urbano

Sup = superficie del ejido urbano

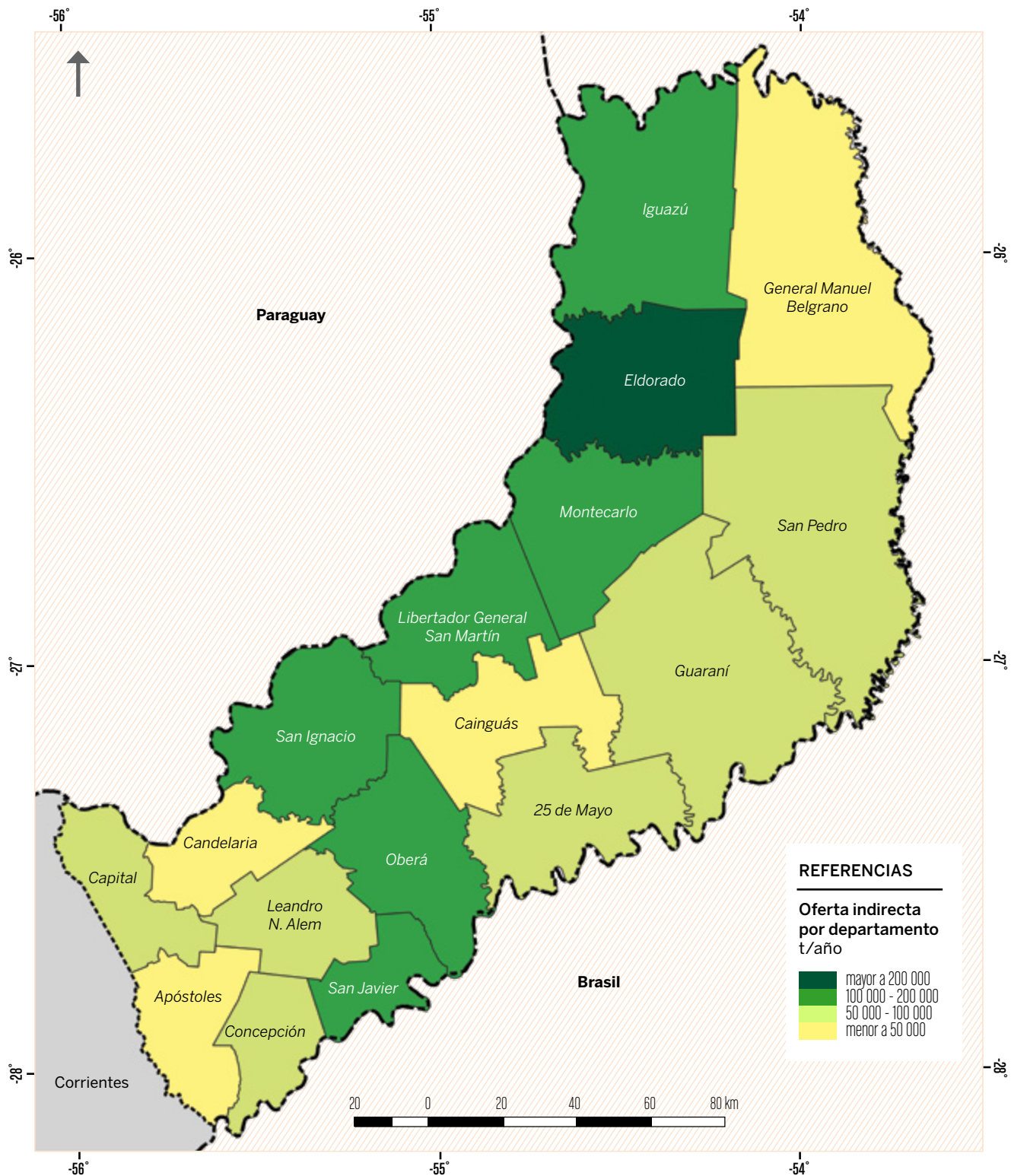
La ecuación se aplicó a la superficie de cada ejido urbano de la provincia. La sumatoria de la biomasa estimada para cada uno de ellos permite calcular para Misiones un volumen de poda disponible para generación de energía de 52 059 t/año.

Industria mandioquera

Para procesar el producto del cultivo de mandioca, Misiones cuenta con 11 industrias. Si se considera que el ingreso de materia prima a estas empresas es de 13 t por cada hectárea cosechada, y la superficie aproximada es de 7000 ha, lo que ingresa a industria en la provincia totaliza 91 000 t. Para los cálculos, se consideraron como industrias aportantes de residuos con posibilidades de generación de energía solo aquellas que no utilizan materia prima para producir biogás. A partir de ello, se calculó el porcentaje de participación de cada una de las industrias, por lo que se excluyen las de las localidades de Montecarlo y Jardín América, que producen biogás con sus residuos industriales. De allí se concluye que las industrias que aportan residuos son las ubicadas en las localidades de Puerto Rico y Andresito. El residuo que se genera es aproximadamente del 30% de la materia prima ingresada, lo que indica que la totalidad de residuos generados por la industria mandioquera es de 27 000 t. Dicho total se distribuyó entre las industrias de las localidades de Puerto Rico, con el 79%, y Andresito, con el 4%, lo que representa, respectivamente, 21 214 t y 964 t de residuos.

Oferta indirecta total de biomasa

Al igual que ocurre con la oferta directa, el mayor aporte indirecto de biomasa se da en los departamentos lindantes al río Paraná, mientras que la menor disponibilidad se observa en los del sur provincial (Mapa 28).

Mapa 28. Oferta indirecta total de cultivos

Fuente: Elaborado por los autores

Cuadro 6. Oferta indirecta por cultivo y departamento (t/año)

Departamento	Pino	Euc.	Arauc.	Otras	Yerba	Té	Tabaco	Caña	Mandioca	Poda	Total
25 de Mayo	54 085	22 922	621	1 512	1 784	472	0	0	0	1 835	83 231
Apóstoles	18 191	10 762	0	213	2 890	918	0	0	0	3 319	36 293
Caingúas	22 863	11 621	587	914	236	5 620	0	0	0	2 799	44 640
Candelaria	41 989	3 505	0	164	862	0	0	0	0	2 938	49 457
Capital	41 953	7 776	493	8 279	0	421	0	0	0	6 030	64 952
Concepción	55 171	7 944	0	343	2 939	0	0	0	0	697	67 095
Eldorado	152 331	26 467	16 582	1 759	590	0	0	0	0	4 193	201 922
Belgrano	15 404	13 314	3 018	3 785	1 097	93	0	0	964	2 078	39 753
Guaraní	55 460	21 575	2 411	1 787	3 981	1 489	0	0	0	1 669	88 372
Iguazú	96 599	10 579	10 841	963	274	0	0	0	0	3 909	123 164
L.N. Alem	35 008	10 302	54	625	3 078	707	4 000	0	0	2 846	56 619
San Martín	118 638	32 500	12 221	3 378	268	292	0	0	21 214	4 420	192 932
Montecarlo	132 121	36 626	11 854	1 647	321	0	0	0	0	2 811	185 381
Oberá	71 774	19 600	789	3 238	1 491	8 698	0	0	0	5 907	111 495
San Ignacio	148 056	15 874	488	4 041	84	1 551	0	0	0	4 402	174 495
San Javier	25 543	6 936	3	178	513	409	0	94 650	0	1 437	129 669
San Pedro	44 876	18 278	5 361	1 162	915	643	0	0	0	769	72 005
Total	1 130 062	276 581	65 323	33 988	21 323	21 313	4 000	94 650	22 179	52 059	1 721 474

Referencias: Euc.: *Eucalyptus* con manejo convencional; Arauc.: *Araucaria angustifolia* con manejo convencional; Otras: otras especies.

Fuente: Elaborado por los autores

Oferta indirecta de biomasa de bosques nativos

Como se mencionó, la madera extraíble de los bosques nativos en las zonas amarillas es de 1,74 t/(ha.año). Del total que se extrae anualmente con fines madereros, la biomasa con posibilidades de generación de energía se circunscribe a los residuos producidos por esa madera luego del aserrado. Por lo tanto, se debe aplicar un coeficiente de rendimiento en aserradero, que para especies nativas es aproximadamente del 40%. De esta manera, los residuos son el 60% restante y la oferta de biomasa indirecta con posibilidades de generación de energía resulta de 1,04 t/ha. Este porcentaje expresado como coeficiente fue aplicado a las categorías de bosque con cobertura cerrada, selva de cobertura variable y bosque secundario del Mapa 27, mientras que las restantes (bosques rurales, bosques en galería, cañaverales y áreas con bosque degradado en tierras agropecuarias) fueron afectadas con el 10% del valor calculado para las anteriores, 0,104 t/(ha.año).

La madera de zonas verdes también aporta biomasa luego del aserrado. Si la madera extraíble en estas zonas es de 13 t/ha, afectada por el coeficiente de aserrado (40%) da como resultado que los residuos son el 60% y equivalen a 7,8 t/ha. Los resultados de aplicar estos coeficientes a la superficie bajo estudio se muestran en el Cuadro 6 y están altamente correlacionados con los resultados de oferta directa de bosque nativo, ya que la metodología de cálculo es la misma.

Independientemente de los cálculos realizados, la superficie actual aprovechada de bosques nativos en Misiones es de 25 000 ha/año en las zonas Amarillo y 2 600 ha en las zonas Verde, considerando los planes de aprovechamiento sostenible presentados entre 2010 y 2016 a la Dirección de Manejo Sustentable de Bosques Nativos de Misiones. Esto significa que lo que se puede explotar actualmente es una fracción pequeña del total disponible; para extraer la biomasa planteada es indispensable la realización de planes de manejo en toda la superficie.

Cuadro 7. Oferta indirecta de bosques nativos por departamento

Departamento	Oferta indirecta (t/año)
25 de Mayo	218 607
Apóstoles	81 803
Cainguás	331 681
Candelaria	138 826
Capital	26 079
Concepción	78 031
Eldorado	157 016
Belgrano	307 327
Guaraní	333 880
Iguazú	136 146
L.N. Alem	242 778
San Martín	147 331
Montecarlo	84 541
Oberá	362 148
San Ignacio	341 717
San Javier	135 659
San Pedro	232 159
Total	3 355 729

Fuente: Elaborado por los autores

5.4 Módulo de demanda

El consumo de biomasa se da en las actividades que también son generadoras de oferta, como la forestal, yerbatera, tealera, mandioquera, cañera, tabacalera, citrícola y frigoríficos. También en otras que utilizan la madera (leña) para generar energía calórica, como para calentar agua en calderas, producir carbón en carboneras, cocinar alimentos o calefaccionar escuelas y domicilios, entre otras.

5.4.1 Papeleras y generadoras de energía

Misiones cuenta con tres plantas papeleras, de las que solo dos se encuentran en funcionamiento: Papel Misionero, con una capacidad de producción de 100.000 t/año de papeles *sack kraft* y *kraft liner*, y Arauco, uno de los principales productores de celulosa a nivel mundial, que produce celulosa kraft blanqueada de pino (para la fabricación de papeles de escritura e impresión, papeles *tissue* y papeles de calidad) y celulosa *kraft fluff* (para productos absorbentes).

Ambas industrias consumen madera, que proviene exclusivamente de bosques implantados de *Pinus* y *Eucalyptus*, por un total de 2200000 t/año, según datos de referentes de las respectivas empresas. Esta biomasa fue asignada en este informe a la ubicación real de la industria. Si bien con diferentes grados de humedad, prácticamente todo el material que ingresa a estas industrias corresponde a madera sin secar. De este modo, el consumo de las papeleras está estimado con este tipo de material, mientras que la estimación de la oferta directa e indirecta en plantaciones convencionales y de alta densidad se efectuó a partir de trabajos de investigación cuyo material estaba secado en estufa a 70°C.

Otros grandes demandantes de biomasa en la provincia de Misiones son las generadoras de energía eléctrica. Por el momento hay cinco en funcionamiento, que fueron contactadas para este informe. Su consumo total de biomasa es de 1770800 t/año.

Secaderos de madera

Del total de secaderos de madera de la provincia, se descontaron en este análisis aquellos integrados con una planta generadora de energía eléctrica, ya que estas empresas utilizan la energía térmica residual del proceso de generación para secar la madera. La demanda de las calderas de las empresas que tienen generadoras se contabilizó junto a la demanda de las generadoras de energía eléctrica.

Respecto de los demás secaderos de madera, no se dispone de información de la biomasa que consumen. Para calcularla, se realizó una estimación sobre los datos disponibles, aunque no estaban actualizados: a partir del inventario SIFIP de 2009, cuyos datos fueron relevados en 2007 y 2008, se pudo determinar la capacidad de secado de madera instalada en la provincia, que se supone era insuficiente entonces y también lo es en la actualidad, de acuerdo con consultas técnicas a especialistas del sector. A partir de esa capacidad instalada, se consensuó un coeficiente entre madera secada y biomasa consumida, si bien esto puede ser muy variable debido a diversos factores, como la especie a secar, la humedad inicial y final del material, el tipo de biomasa que se utiliza para generar energía para el secado y la humedad de esta, el tipo de caldera y su eficiencia, entre otros. El coeficiente establecido fue de 1,5 t de biomasa consumida por cada m³ de madera secada, que, aplicado al inventario del SIFIP, proporcionó la demanda de biomasa para cada secadero. Posteriormente, para ubicar el valor en el mapa, cada resultado fue asignado al municipio correspondiente a cada industria.

Secaderos de yerba

La demanda de biomasa del sector yerbatero debió estimarse, ya que no se hallaba en los organismos relacionados. Los cálculos corresponden a valores promedio, porque el consumo es muy variable y depende de diversos factores. El INYM lleva adelante un programa que facilita la instalación de quemadores de chip en los secaderos de yerba mate para dejar de utilizar los que funcionan con leña. Independientemente del tipo de quemador que se utilice, los factores que hacen variar la

cantidad de biomasa utilizada son el contenido de humedad del combustible, el poder calorífico de la madera y la eficiencia de las calderas utilizadas, entre otros.

De un trabajo todavía inédito del INTI se obtuvo que el coeficiente de secado promedio de la materia prima es de 1,9 kg de combustible húmedo por cada kilogramo de yerba mate canchada; el INYM aportó los datos de la producción de yerba mate canchada en cada departamento. Así se obtuvo la cantidad de biomasa total utilizada por este sector, que es de aproximadamente 472 000 t/año.

Secaderos de té

El cálculo de biomasa consumida por el sector teaero fue estimado en forma indirecta al igual que en el sector yerbatero, y le caben las mismas consideraciones respecto del promedio y la variabilidad de los coeficientes.

Un trabajo de investigación realizado por Lysiak (2016), que estudia la cantidad de secaderos de té, su capacidad de procesamiento y distribución espacial en Misiones y Corrientes, indica la producción estimada en los diferentes municipios. Por otro lado, según el referente técnico del sector privado Richard Heppner, los datos que manejan en el sector sobre la materia prima que secan respecto del consumo de biomasa rondan los 650 gramos de chips por cada kilogramo de hoja verde. El consumo de biomasa en cada municipio productor de té en Misiones se calculó a partir de ello. La cantidad de biomasa total utilizada por este sector en la provincia es de aproximadamente 251 846 t/año.

Calderas industriales no contempladas en otras industrias

En este apartado se incluyen 25 calderas de uso convencional no incluidas en las industrias consideradas antes, que también se encuentran en un listado de calderas registradas vigente en la Secretaría de Industria de Misiones. Se filtró la información para excluir las calderas de los sectores antes mencionados. Como en los casos anteriores, se buscó establecer un valor promedio que representara su consumo, con la dificultad extra de que

estas calderas corresponden a actividades muy diferentes entre sí, como textiles, centros de enseñanza, cooperativas de electricidad, establecimientos elaboradores de productos regionales, hoteles, etc., por lo que el coeficiente podría tener mayor variabilidad. A partir de consultas con referentes del sector privado, se determinó que el consumo de estas calderas es, en su mayoría, constante pero de menor magnitud, con cerca de 200 kg de biomasa por día. Ello implica que el consumo anual es de aproximadamente 73 t por industria, que totaliza 1 825 t anuales entre todas estas calderas. Para ubicar geográficamente las calderas se creó una nueva capa en la que los puntos corresponden a las localidades donde se encuentran estas industrias de acuerdo con el registro realizado ante la Secretaría de Industria. Donde existía más de una caldera registrada, se sumaron los valores.

Consumos industriales y domiciliarios de pellets

La producción de pellets se realiza a partir de la reconversión de los principales desperdicios de la industria maderera (aserrín, viruta u otros restos de madera). Este producto se utiliza en calderas específicas con tecnología diferente de las tradicionales, que no están contempladas en el registro obligatorio que establece la ley de calderas. Es por ello que el cálculo de demanda de biomasa, para el presente informe, se efectúa de forma separada del de las calderas de uso industrial tradicional. Las calderas que utilizan pellets son de doble combustión; esta característica está basada en el control y la regulación del aire, que se inyecta en dos etapas, denominadas primaria y secundaria. La inyección de aire secundario produce una segunda combustión, o postcombustión, caracterizada por una segunda llama más viva y limpia que se desarrolla sobre la llama principal. Esto, gracias a la inyección de nuevo oxígeno, quema los gases incombustos, lo que mejora sensiblemente el rendimiento térmico y reduce al mínimo las emisiones perjudiciales de monóxido de carbono (CO) debidas a la combustión incompleta. En Misiones hay tres empresas que producen pellets para el abastecimiento de estas calderas.

Este material de combustión tiene mercados en otras provincias del país, así como también en otros países, lo que imposibilita identificar a los usuarios de este material. Por tal motivo y a los efectos del presente informe, se considerará como punto de demanda la localidad en la que se fabrica el producto. Además, los datos volcados al modelo correspondiente se ajustan a la cantidad real producida en la actualidad por estas empresas y no a la capacidad de producción. En total, en la provincia se fabrican 30 000 t/año de pellets.

Industria mandioquera

Como se señaló, Misiones cuenta con 11 industrias que procesan mandioca para convertirla en fécula. Una de las etapas de este proceso es el secado de la materia prima, que mediante el calor generado por la caldera pasa de 40 a 12% de humedad. Durante esta transformación se consume leña y se generan efluentes.

Por cada tonelada de mandioca se producen 0,26 t de almidón. Para obtener cada tonelada de almidón se consumen 0,4 t de leña. Esta relación indica que por cada tonelada de leña se procesan 9,61 t de mandioca. Este factor fue aplicado proporcionalmente a cada industria de acuerdo con su capacidad de procesamiento de materia prima. Cabe aclarar que dos industrias producen biogás, con lo que reducen el consumo de leña a 25% (dejan de consumir el 75% de leña que utilizarían sin producir biogás). De esta manera, el consumo de leña para el procesamiento de mandioca en la provincia es aproximadamente de 8 196 t/año, cantidad que para este informe se distribuyó por departamentos de acuerdo con las industrias localizadas en ellos.

Tabacaleras

El ciclo de producción del tabaco está comprendido entre los meses de febrero y mayo. El cultivo se realiza en siete de los 17 departamentos de la provincia, ubicados, en su mayoría, en una franja entre la Ruta 14 y el río Uruguay. Una sola industria procesa más del 90% del tabaco producido en Misiones, cuyo volumen alcanza 20 000 t anuales de hoja. En el proceso de producción se utiliza

biomasa de leña de plantaciones y chips para alimentar los quemadores y generar energía calórica para el secado del producto. La relación secado de hoja verde y consumo de leña es aproximadamente de 0,5, dependiendo de las propiedades y las condiciones de la biomasa utilizada, lo que indica que el consumo de biomasa se encuentra próximo a 10 000 t anuales, dividida en partes iguales entre chips y leña proveniente de plantaciones de *Eucalyptus*.

Ingenio azucarero

Como se mencionó, el ingenio azucarero San Javier, en la ciudad homónima, es el único de escala industrial de Misiones. En el proceso de transformación de la materia prima consume aproximadamente 10 000 t de leña para generar calor. En la caldera, para realizar la combustión también utiliza el bagazo de su propia industria, que no puede superar el 30% del material empleado, para no dificultar la combustión. Esta práctica reduce los residuos generados y disminuye el consumo de leña. A los efectos del presente informe, la demanda fue asignada a un punto sobre la industria respectiva.

Industria carbonera

En la provincia, la producción de carbón es realizada principalmente con leña proveniente del monte nativo. Para calcular la leña que demanda esta industria se recurrió a los datos de la Subsecretaría de Desarrollo Forestal dependiente del Ministerio del Agro y la Producción de la provincia de Misiones. En 2012, este organismo realizó un relevamiento de la mayor zona productora de carbón de la provincia, en la región centro-sur, que pese a ser pequeña comprende al 90% de los carboneros de Misiones. Allí, se relevaron 459 hornos carboneros, que consumen aproximadamente 129 441 t/año. Según el relevamiento, debido al tipo de proceso utilizado, el rendimiento de los hornos es bajo, aproximadamente del 11%. Sumando el consumo del 10% de hornos no relevados de la provincia, la demanda total de biomasa de la actividad carbonera asciende a 151 042 t/año.

La distribución de la demanda se realizó con un punto en cada municipio relevado de acuerdo

con los valores registrados, mientras que el 10% restante (45 hornos con rendimiento promedio) se atribuyó en forma proporcional a los departamentos de Manuel Belgrano, Montecarlo, Iguazú, Eldorado, Libertador Gral. San Martín, San Pedro, Guaraní, Cainguás y 25 de Mayo.

Frigoríficos bovinos

En general, los organismos consultados carecen de datos sobre la industria frigorífica de Misiones, tanto respecto de la oferta de residuos que genera, como de la demanda de biomasa para el procesamiento de la materia prima. No obstante, la Subsecretaría de Desarrollo y Producción Animal, dependiente del Ministerio del Agro y la Producción de Misiones, proporcionó un listado de frigoríficos registrados, a los cuales se les enviaron consultas sobre la cantidad de biomasa utilizada, que destinan principalmente para calentar agua empleada en diferentes actividades del establecimiento. Cabe mencionar que no todos los responsables de establecimientos respondieron la consulta del técnico de INTA o dijeron no conocer el consumo de biomasa, por lo que a estos frigoríficos no se les pudo asignar un valor de demanda. Por otro lado, es importante remarcar que los valores utilizados fueron estimados por cada encargado de establecimiento. Posteriormente, para los modelos, los valores se adjudicaron al departamento al que corresponde cada frigorífico.

Frigoríficos porcinos

En Misiones hay solo un establecimiento de faena de cerdos registrado. A raíz de la consulta para este trabajo, el encargado del establecimiento indicó que la demanda de biomasa de esta industria es de 2000 t/año de leña y 1000 t/año de chips.

Sector residencial

Misiones tiene la mayor cantidad y proporción de hogares que utilizan leña o carbón para cocinar alimentos, con 71 612 hogares (Censo Nacional de Hogares y Viviendas, 2010), cuyo valor representa el 22,6% a nivel país. Para el cálculo de demanda, a

cada hogar de la provincia se le asignó un valor de consumo de 3 t/año. Estos datos permiten estimar la demanda de biomasa por hogares en un total de 214 837 t/año.

Escuelas rurales

La cantidad de escuelas de Misiones que utilizan leña para cocinar alimentos se obtuvo del mapa educativo nacional (Ministerio de Educación de la Nación). Se sabe que, aproximadamente, el consumo de leña es de 66 kg/año por alumno, valor que se multiplicó por la matrícula de estudiantes para estimar el consumo anual de cada establecimiento.

Ladrilleras

Si bien las ladrilleras demandan una cantidad importante de biomasa para su producción, el presente informe no las incluye, principalmente debido a que no se dispone de datos que abarquen toda la provincia. Por otro lado, en averiguaciones y consultas, ladrilleros locales mencionaron que en el departamento Montecarlo hay siete productores que fabrican aproximadamente 1,2 millones de ladrillos al año, mientras que en Garupé se producen 10 millones de ladrillos anuales. Respecto de la demanda de biomasa, indicaron que usando tecnología que permite consumir aserrín y viruta, en mezcla de 50% cada uno, el consumo de biomasa es de 14 t cada 20 000 ladrillos producidos. En cambio, si en el proceso se consume leña, su consumo es de 8 a 10 t cada 20 000 ladrillos producidos.

Cuadro 8. Demanda de biomasa por departamento y actividad productiva (t/año)

Departamento	SecY	SMad	SecTé	SecTab	Citric	IngAz	Carb	FrB	FrP	Pap	GenEn	OCald	Pel	Dom	Esc	Total
25 de Mayo	5219	0	5 578	0	0	0	2 400	0	0	0	0	146	0	15 760	353	28 973
Apóstoles	63 997	42 660	10 843	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6 488	143	124 007
Cainguaés	68 168	720	66 425	0	0	0	2 400	0	0	0	0	0	0	22 590	527	160 354
Candelaria	1 864	56 166	0	0	0	0	34 318	15	0	0	0	0	0	4 544	127	96 923
Capital	0	16 992	4 970	0	0	0	0	540	0	0	0	803	0	6 285	217	29 606
Concepción	6 075	48 420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 783	74	57 278
Eldorado	7 112	119 506	0	0	0	0	2 400	0	0	0	70 080	292	0	9 133	310	208 566
Belgrano	65 093	1 353	1 093	0	0	0	2 400	15	0	0	0	0	0	16 931	459	86 598
Guaraní	20 259	2 115	17 594	0	0	0	0	0	0	0	0	73	0	33 935	770	74 088
Iguazú	11 356	71 907	3 448	0	0	0	2 400	0	0	190 000	800 000	146	25 000	8 005	287	2 803 837
L.N. Alem	24 298	20 304	8 351	0	0	0	52 347	0	3 000	0	0	73	0	11 749	364	152 138
San Martín	19 080	34 347	0	0	0	0	2 400	2 655	0	300 000	400 000	219	5 000	11 320	337	778 348
Montecarlo	13 058	99 860	0	0	0	0	2 400	120	0	0	500 000	0	0	6 247	239	621 719
Oberá	88 148	24 492	102 789	0	0	0	2 400	15	0	0	0	0	0	22 835	698	240 729
San Ignacio	39 517	22 554	18 331	0	0	0	42 778	0	0	0	0	0	0	13 204	356	136 555
San Javier	5 938	1 440	4 825	10 000	22 000	10 000	0	0	0	0	0	73	0	6 593	216	28 897
San Pedro	33 023	7 739	7 599	0	0	0	2 400	0	0	0	0	0	0	16 437	381	66 162
Total	472 205	570 575	251 846	10 000	22 000	10 000	151 042	3 360	3 000	2 200 000	1 770 080	1 825	30 000	214 837	5 860	5 694 778

Referencias: SecY: Secaderos de yerba mate; SMad: Secaderos de madera; SecTé: Secaderos de té; SecTab: Secaderos de tabaco; Citric: Jugueras de citrus; IngAz: Ingenio azucarero; Carb: Carboneras; FrB: Frigoríficos Bovinos; FrP: Frigoríficos porcinos; Pap: Industrias de celulosa; GenEn: Generadoras de energía; OCald: Otras calderas; Pel: Fábricas de pellets; Dom: Domicilios; Esc: Escuelas.

Fuente: Elaborado por los autores

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 biomásicos que facilita la identificación de áreas deficitarias y zonas de superávit. Para realizar el balance bioenergético, se restó el mapa de la demanda total al mapa de la oferta total accesible, a nivel de cada píxel. Esta zonificación bioenergética es útil para la formulación de políticas públicas y para la planificación energética.

Los datos obtenidos permiten apreciar un superávit de biomasa en la provincia (Cuadro 9). La oferta directa de cultivos y de bosque nativo suma 8 343 969 t de biomasa sólida por año. Si a este mapa se lo afecta por el de accesibilidad total, se

obtiene el potencial de oferta directa total accesible, que a nivel provincial es de 4 558 451 t de biomasa sólida por año. Esta fuerte reducción se debe a que la mayor parte de la biomasa de bosque nativo considerada se encuentra en zonas de grandes pendientes, y disminuye la densidad y calidad cerca de la red vial (zonas rojas del mapa de accesibilidad).

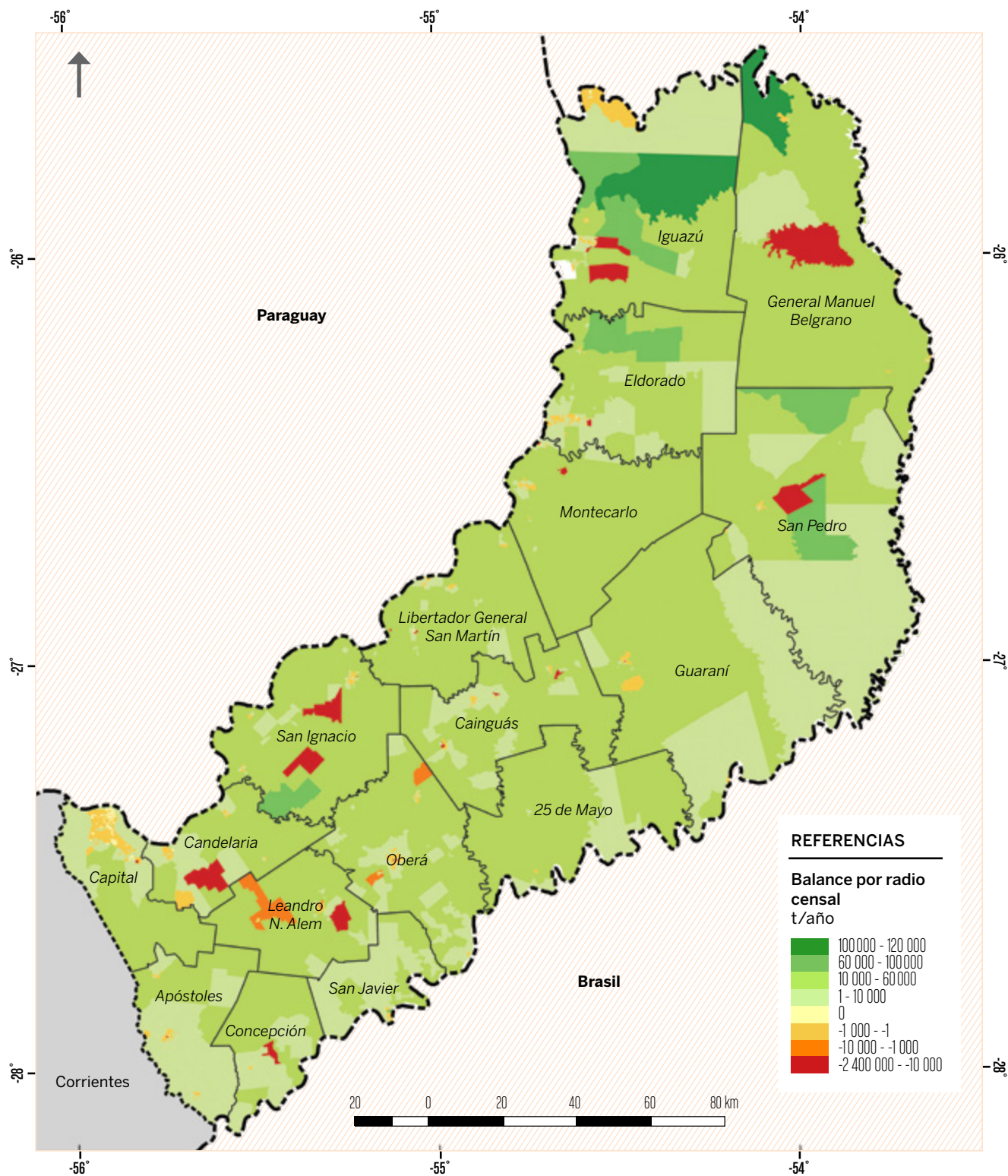
La oferta indirecta de biomasa de cultivos es de 1 721 474 t, y la de bosques nativos, de 3 355 729 t, lo que en conjunto suma 5 077 104 t. Así, el total de oferta de biomasa entre campo e industria que se podría disponer en Misiones para generar energía es de 9 635 555 t/año. En contraposición, la biomasa consumida por los diferentes sectores de la provincia es de 5 694 778 t/año. De acuerdo con esto, Misiones tiene un superávit de biomasa con potencial energético de 3 940 068 t/año.

Cuadro 9. Balance de biomasa (t/año)

Departamento	Oferta directa de cultivos y bosques nativos	Oferta directa total accesible	Oferta indirecta total	Demanda total	Balance
25 de Mayo	374 558	192 122	301 838	28 973	464 986
Apóstoles	135 421	90 913	118 096	124 007	84 955
Cainguás	695 823	408 474	376 321	160 354	624 437
Candelaria	199 658	137 974	188 284	96 923	229 333
Capital	103 447	64 817	91 031	29 606	126 161
Concepción	151 579	87 074	145 126	57 278	174 922
Eldorado	698 764	327 783	358 938	208 566	478 182
Belgrano	487 822	217 031	347 079	86 598	476 935
Guaraní	556 091	265 863	422 251	74 088	614 025
Iguazú	1 033 828	569 353	259 310	2 803 837	-1 975 168
LN Alem	355 280	230 181	299 397	152 138	377 440
San Martín	629 420	325 053	340 163	778 348	-113 122
Montecarlo	508 655	233 502	269 922	621 719	-118 284
Oberá	948 725	577 030	473 643	240 729	809 938
San Ignacio	828 653	506 800	516 212	136 555	886 459
San Javier	196 903	119 287	265 329	28 897	355 687
San Pedro	439 341	205 194	304 164	66 162	443 180
Total	8 343 969	4 558 451	5 077 104	5 694 778	3 940 068

Fuente: Elaborado por los autores

Mapa 29. Balance entre oferta potencial y demanda



Fuente: Elaborado por los autores

6. MÓDULO DE OFERTA DE BIOMASA HÚMEDA



De las 11 industrias mandioqueras de Misiones, dos ya utilizan sus residuos de biomasa húmeda para producir biogás. También podrían contribuir con este tipo de oferta los frigoríficos bovinos, uno porcino y los *feedlots* de la provincia.

Industria mandioquera

Las 11 industrias dedicadas a la obtención de fécula de mandioca procesan aproximadamente 91 000 t/año. Por cada tonelada de mandioca procesada se desprenden 300 kg de material fibroso como residuo. A partir de estos datos, se deduce que la industria mandioquera genera cerca de 27 000 t/año de residuos. Ahora bien, dos empresas los tratan para generar biogás, que contribuye a disminuir su consumo de leña. Por esto, se estableció que los residuos utilizables para generación de energía son aproximadamente 22 000 t/año, provenientes de nueve industrias mandioqueras. Para este informe, se asignó el valor del efluente potencial a las localidades donde están esas industrias, y en las localidades con más de una industria se colocó el valor total.

Frigoríficos bovinos

Debido a la falta de información sobre este sector por parte de los organismos, para determinar la

cantidad de residuos generados por cada frigorífico se estimó un coeficiente de 70 kg por cabeza faenada y se multiplicó por la cantidad de cabezas que cada establecimiento indicó que faena al año. Posteriormente, para los modelos, los valores registrados se adjudicaron como un punto al municipio al que corresponde cada frigorífico.

Feedlots

A partir de la información proporcionada por el SENASA sobre la localización de cada uno de los *feedlots* de la provincia y la cantidad de animales que alberga, se contabilizaron 7 667 cabezas. Ello se multiplicó por el coeficiente de 13 kg/animal/día de residuos, con los que se obtuvo el cálculo de oferta de biomasa húmeda que genera esta actividad.

Frigoríficos porcinos

El único establecimiento registrado que realiza faena de cerdos indicó que genera anualmente 67,52 millones de litros de residuos como biomasa húmeda (mezcla de agua, orina y excrementos).

Conclusiones



© Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

El análisis realizado permite apreciar que Misiones cuenta con grandes volúmenes y diversidad de fuentes de biomasa, que pueden emplearse para generar energía. A la vez, la provincia usa ampliamente esa biomasa para producir energía térmica y eléctrica.

El balance de biomasa resultó superavitario en 3 940 068 t/año, lo que permite la ampliación de proyectos de generación de energía a partir de las fuentes mencionadas.

Como principal oferente potencial aparece el bosque nativo, pese a que los coeficientes utilizados responden a una estricta conservación del recurso como tal.

Entre los cultivos, la mayor oferta directa potencial de biomasa la proporcionan las forestaciones, que ocupan el 14% de la superficie de la provincia. Las plantaciones de alta densidad contribuyen con aproximadamente 1 570 000 t/año, y las convencionales, con 1 469 000 t/año. El aporte potencial de las plantaciones forestales es de 3 039 000 t/año, que corresponde al 65% de la oferta total de biomasa de Misiones. El género *Pinus* está presente en los 17 departamentos de la provincia, aunque los de Iguazú, Eldorado y Montecarlo son los que aportan la mayor cantidad de biomasa potencial. Los demás cultivos tienen una participación dispar en la oferta directa de biomasa, aunque sobresale el cultivo de té, con un aporte aproximado de 1100 000 t/año.

La oferta indirecta responde, principalmente, al aporte de biomasa que se genera en la industria forestal, tanto de madera de bosque nativo como de plantaciones. El bosque nativo contribuye con cerca de 1 183 831 t/año, mientras que las plantaciones aportan aproximadamente 1 616 000 t/año. Por lo tanto, este sector genera alrededor de 2 800 000 t/año de biomasa. Las restantes industrias (yerbatera, tealera, mandioquera, cañera) y la poda urbana aportan en total 212 000 t/año. Del análisis realizado surge que la industria forestal contribuye con el 95% del aporte potencial de biomasa en forma indirecta de la provincia.

En cuanto a la demanda de biomasa, la industria forestal es el principal consumidor, por lo que aquella se concentra en los departamentos de Iguazú, Montecarlo, Libertador Gral. San Martín y Eldorado, que tienen la mayor actividad forestal de la provincia. Los grandes consumidores (papeleras, generadoras de energía, secaderos de madera y carboneras) concentran más del 80% de la demanda total actual en la provincia de Misiones.

Respecto de la oferta de biomasa húmeda, la principal se da en el sector cárnico. No obstante, es muy importante el trabajo que actualmente realizan las mandioqueras, y algunas de ellas ya suplantán gran parte del consumo energético con su propia producción de biogás.

No obstante, los resultados del presente trabajo se condicen con la realidad territorial, ya que los balances negativos se hallan en cercanías de los grandes consumidores (papeleras y generadoras de energía), como así también en zonas con gran cantidad de secaderos yerbateros y tealeros.

Recomendaciones



Se observa un marcado interés por parte de los organismos públicos por actualizar la información disponible, así como para generar nueva información respecto de los diferentes sectores productivos. En ese marco, se recomienda que la información de base volcada al presente informe sea actualizada periódicamente.

Dado que los cálculos efectuados solo hacen referencia a la cantidad potencial máxima que los cultivos o actividades podrían ofertar, es necesario efectuar los balances económicos y nutricionales. Por un lado, el análisis económico permitiría identificar posibles regiones abastecedoras de biomasa y la posibilidad real de instalación de emprendimientos bioenergéticos. Por el otro, la extracción de los residuos genera un impacto nutricional en el sitio, por lo que, a futuro, se deberán determinar los límites de extracción y dimensionar para cada actividad el máximo que sería recomendable extraer.

Dado que los suelos de Misiones tienen grandes desniveles y abundantes precipitaciones, el riesgo de erosión hídrica se encuentra latente en una vasta superficie de la provincia. Por ello, se recomienda analizar la disponibilidad de residuos por microrregiones y que estos sean aprovechados solamente donde pueda ser controlada la erosión, o bien, que se efectúen las prácticas correspondientes para atenuar ese riesgo.

A pesar de que a nivel regional tanto Misiones como Corrientes disponen de grandes volúmenes de biomasa forestal, el sur de Misiones tiene menos, por lo que sus industrias consumen la proveniente de Corrientes. Por ello, se recomienda que se determine la cantidad de biomasa que atraviesa el límite provincial, lo que permitirá ajustar con mayor precisión los modelos correspondientes.

El cultivo de mayor aporte de biomasa, a nivel provincial, es el forestal. En el presente informe, los respectivos cálculos se realizaron sobre los IMA de biomasa en cada rodal existente, y se obtuvo la biomasa potencial promedio para toda la superficie de plantaciones forestales. Sería importante que las futuras actualizaciones consideren los aportes reales de biomasa, es decir, los que se dan cuando se realiza la poda,

el raleo o la cosecha final. Los rodales que no se encuentran en edad de alguna de esas actividades no aportan biomasa. Además, el ritmo de plantación no es homogéneo en el tiempo, lo cual hace que los aportes reales de biomasa sean diferentes cada año. Por lo tanto, si se calcula el aporte real en cada uno de los rodales, se podrían identificar posibles sobreofertas o faltantes de biomasa a lo largo del tiempo.

Según los resultados obtenidos en el presente informe, el bosque nativo es el principal potencial aportante de biomasa en Misiones. Ello se debe a que se considera la totalidad de superficie aprovechable de la provincia (zonas Verde y Amarillo según el OTBN). En futuras actualizaciones, se recomienda trabajar con el aporte real de biomasa, cuyo valor puede ser determinado a partir del registro de planes aprobados por el organismo público correspondiente.

Bibliografía

Carpinetti, L., Dalla Tea, F., Glade, J. y Marco, M. 1995. *Manual para productores de Eucalyptus de la Mesopotamia Argentina*. Concordia (Argentina). Grupo Forestal EEA INTA.

CFCN. 2011. *Reunión 191.º del Consorcio Forestal Corrientes Norte*, 18 de marzo de 2011. Garruchos (Argentina). Pomera Maderas.

Crechi, E., Fernández, R., Friedl, R. y Fahler, J. 2005. *Efectos del raleo en Pinus taeda*. Idia XXI, pp. 41-45.

Crechi, E., Friedl, R., Fassola, H., Fernández, R. y Dalprá, L. 2001. "Efectos de la intensidad y oportunidad de raleo en *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sobre el crecimiento y la producción en el noroeste de Misiones, Argentina". *II Simposio Latinoamericano sobre manejo florestal*. Rio Grande do Sul (Brasil). Universidad Federal de Santa María. RS. ppp.:153-172.

Cromer, R., Cameron, D., Rance, S., Ryan, P. y Brown, M. 1993. "Response to nutrients in *Eucalyptus grandis*. Biomass accumulation". *Forest Ecology and Management* Vol. 62. Elsevier, pp.: 211-230.

Etchevehere, P. 1976. *Normas de reconocimiento de suelos, 2.ª edición actualizada*. Publicación N.º 152. Buenos Aires. Departamento Suelos, Secretaría de Agricultura y Ganadería - INTA.

FAO. 2004. "Terminología de los dendrocombustibles sólidos". *Terminología Unificada sobre la Bioenergía (TUB)*. Roma. Departamento Forestal de la FAO.

FAO. 2009. *Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina - WISDOM Argentina. Informe Final*. Buenos Aires. Departamento Forestal Dendroenergía de FAO.

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.gob.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.gob.ar/_pdf/WISDOM_Salta_baja.pdf).

FAO. 2016c. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de La Pampa*. Buenos Aires. Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG) – FAO. (disponible en http://www.probiomasa.gob.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).

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).

Fassola, H., Crechi, E., Keller, A., Colcombet, L., Barth, S., Winck, R., Di Rienzo, J. 2013. *PLAFOR-NEA 1.0*. Montecarlo (Argentina). Plataforma de Gestión Forestal. EEA Montecarlo del INTA.

Fernández, R., Martiarena, R., Goya, J., Frangi, J., Von Wallis, A., Lupi, A. y Pahr, N. 2013. "Estabilidad nutritiva del potasio, magnesio y calcio en sitios forestados con *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze en función de los productos cosechados". *IV Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. Puerto Iguazú (Argentina).

- Fernández, R., Von Wallis, A., Pahr, N., Friedl, A., Martiarena, R., Lupi, A., Reis, H. y Maletti, R.** 2016. *Implicancias de la modalidad de cosecha de plantaciones de P. taeda sobre la biomasa residual y el contenido de nutrientes remanentes en el sitio. Informe Final.* Proyecto Manejo Sustentable de Recursos Naturales (BIRF 7520 AR). Plantaciones Forestales Sustentables. PIA 12 051.
- Fernández, R.** 2003. "Estrategias para minimizar los impactos de la cosecha forestal. Balance de nutrientes y condición física del suelo". *Actas XVII Jornadas Forestales de Entre Ríos.* Concordia (Argentina).
- Gasparri, I. y Manghi, E.** 2004. *Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales argentinas. Informe final.* Buenos Aires. Dirección de Bosques. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la República Argentina.
- Gobierno de la provincia de Misiones.** 2010a. *Ordenamiento de los bosques nativos de la provincia de Misiones.* Ley provincial XVI – N.º 105. Anexo A (Ley nacional 26331) (disponible en <http://ecologia.misiones.gov.ar/ecoweb/images/eventgallery/mapas/Mapa-Anexo-A.jpg>).
- Gobierno de la provincia de Misiones.** 2010b. *Actualización del Inventario nacional de los montes nativos* (disponible en <http://www.ide.misiones.gov.ar/images/mapas/inventario-bosques-nativos.jpg>).
- Hunter, I.** 2001. "Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertiliser, at 3 years of age, in southern India". *Forest Ecology and Management* Vol. 144. pp. 189-199
- INDEC.** 2012. *Gran Atlas de Misiones.* Posadas (Argentina). Instituto Provincial de Estadística y Censos (IPEC) (disponible en <https://www.ipecmisiones.org/gran-atlas-de-misiones>).
- INYM.** 2016. *Informe de superficie cultivada por departamentos 2016.* Posadas (Argentina). Instituto Nacional de la Yerba Mate. (disponible en http://www.inym.org.ar/wp-content/uploads/2017/02/sup_cultivada_dpto.pdf).
- IPEC.** 2016. *Informe de la forestoindustria de Misiones.* Posadas (Argentina). (disponible en <http://www.ipecmisiones.org/foresto-industria-2016>). (2012).
- Kolln, R.** 2000. *Criterios de Poda y Raleo en Eucalyptus grandis en Shell CAPSA.* Posadas (Argentina).
- Kurtz, V. y Ferruchi, R.** 2000. *La poda como parte de la estrategia para la obtención de madera de calidad.* Boletín técnico. INTA.
- Ligier, D., Matteo, H., Polo, H. y Rosso, J.** 1990. *Atlas de suelos de la República Argentina. Misiones. Tomo II.* Buenos Aires, SAGYP - INTA.
- Luna, J., Adame Villanueva, G., Méndez González, J., Vargas Larreta, B., Cruz Cobos, F., Hernández, F. y Aguirre Calderón, F.** 2012. "Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México". *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* N.º 55, pp.11-23.
- Martiarena, R., Goya, J., Fernández, R., Frangi, J. y Lupi, A.** 2010. "Exportación de nitrógeno y fósforo durante la cosecha de una cronosecuencia de *Araucaria angustifolia* (BERT) O. KTZE". 14.ª *Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales.* 10, 11 y -12 de junio de 2010. -Eldorado (, Misiones, Argentina). UNaM - INTA.
- Martiarena, R., Frangi, J., Pinazo, M., Von Wallis, A. y Fernández, R.** 2011. "Effect of thinning and harvest type on storage and losses of Phosphorous in *Pinus taeda* L plantations in subtropical Argentina". *International Journal of Forestry Research* Vol. 2011. Springer (disponible en doi:10.1155/2011/761532)
- Martiarena, R., Frangi, J., Von Wallis, A., Arturi, M., Fassola, H. y Fernández, R.** 2014. "Propiedades del suelo y productividad de *Pinus taeda* L. en la Mesopotamia Argentina". *Revista AUGMDOMUS* N.º 6. La Plata (Argentina). UNLP.
- Martiarena, R.** 2016. *Efecto de la disponibilidad de recursos sobre la eficiencia de uso y conservación de los nutrientes en función de las condiciones edafoclimáticas, edad y manejo de las plantaciones de Pinus taeda L. en la Mesopotamia Argentina.* Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - Universidad Nacional de La Plata (Argentina).

- Monteiro, T., Lima, J. y Trugilho, P.** 2012. "Energía almacenada nos resíduos do desdobro de toras de *Eucalyptus grandis*". *Ciência da Madeira* Vol. 3 N.º 1. Pelotas (Brasil). Universidade Federal de Pelotas.
- Monteverde, M. y Vilariño, L.** 2012. *Estudio de descomposición de residuos de cosecha de Eucalyptus grandis bajo diferentes manejos*. Tesis presentada como uno de los requisitos para obtener el título de ingeniero agrónomo. Montevideo (Uruguay). Universidad de la República, Facultad de Agronomía.
- Murara Junior, M., Pereira da Rocha, M. y Timofeiczky Junior, R.** 2005. "Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro". *Floresta* Vol. 35 N.º 3. Curitiba (Brasil). UFPR.
- Ortiz Barrios, R., Martínez, S., Vázquez Rabanales, D. y Juárez, W.** 2016. "Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género *Pinus* en la región Sierra Sur, Oaxaca, México". *Colombia Forestal* Vol. 19 N.º 1. Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Paixão, F., Boechat Soares, C., Gonçalves Jacovine, L., Lopes da Silva, M., Garcia Leite, H. y Fernandes da Silva, G.** 2006. *Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto*. Revista **Árvore** Vol. 30 N.º 3. Viçosa (Brasil). SIF.
- Rodríguez, M.E., Cardozo, A., Ruiz Díaz, M., Prado, D.E.** 2004. "Los Bosques Nativos Misioneros: estado actual de su conocimiento y perspectivas". *Ecología y Manejo de los Bosques de Argentina*, Capítulo 2. La Plata. EDULP.
- Sepliarsky, F.** 2002. "Producción y mercado de madera de *Eucalyptus grandis*. La experiencia de Forestadora Tapebicué". *XVII jornadas forestales de Entre Ríos*. Concordia (Argentina).
- Soil Survey Staff.** 2010. "Keys to Soil Taxonomy". *Agriculture Handbooks* 436 11th edition. Washington. NRCS - USDA.
- Ulate Quesada, C.** 2011. *Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica*. Tesis de Licenciatura. Cartago (Costa Rica). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal.
- Valério, A., Watzlawick, L., Balbinot, R., Wincker, M., Figueiredo Filho, L.** 2009. "Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze". *Floresta* Vol. 39 N.º 3. Curitiba (Brasil). UFPR.
- Vega, D. y Martiarena, R.** 2010. "Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de araucaria (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze)". *Revista de Ciencia y Tecnología* Año 12 N.º 13. Posadas (Argentina). UNaM.
- Winck, A., Fassola, H., Barth, S., Crechi, E., Keller, A., Videla, D. y Zaderenko, C.** 2016. "Modelos predictivos de biomasa aérea de *Eucalyptus grandis* para el noreste de Argentina". *Ciência Florestal* Vol. 20 N.º 44. Santa Maria (Brasil). UFSM.

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.

De acuerdo con la reglamentación de la ley en la provincia, se incluyen aquí las Áreas Naturales Protegidas, como los parques y reservas provinciales; los bosques protectores de los ríos principales y el perímetro del Lago Urugua-í, en un ancho de 200 metros, y las áreas, incluso privadas, de interés especial por su valor de conservación biológica, turístico, cultural u otros, que deben ser conservadas.

- **Categoría II (Amarillo):** sectores de mediano valor de conservación, que pueden estar degradados pero que, a juicio de la autoridad de aplicación, mediante actividades de restauración pueden tener un valor alto de conservación, que podrán ser sometidos a los siguientes usos: aprovechamiento sostenible, turismo, recolección e investigación científica, que deberán efectuarse a través de planes de conservación o manejo sostenible, según corresponda.

Se incluyen en esta categoría los bosques nativos en propiedades privadas, como las reservas privadas de usos múltiples y las propiedades privadas que forman parte de la Reserva de Biosfera Yabotí. También, los bosques protectores de los suelos con pendientes iguales o mayores al 15% medidos en tramos de 100 metros, en el sentido de la línea de máxima pendiente; los bosques protectores de los cursos de

agua, en un ancho sobre cada margen del triple del de aquel, y nunca inferior a 10 metros, y las fajas ecológicas y las áreas de interés especial que por su valor biológico, turístico, cultural u otras deban ser conservadas, y que determine por el Poder Ejecutivo

- **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 reglamentación afecta con esta categoría las áreas con bosques nativos que por la aptitud de los suelos se puedan utilizar para desarrollar actividades productivas, siempre y cuando estas actividades sean sostenibles, no afecten áreas pobladas por comunidades indígenas, ni corredores biológicos, ni áreas con especies protegidas, y se dé cumplimiento a todas las normativas provinciales vigentes sobre la prohibición de desmontar bosques protectores de cursos de agua, nacientes, divisorias de cuencas, bañados y de suelos con pendientes iguales o mayores al 15%, además de respetar las fajas ecológicas de bosques nativos que deben dejar alrededor de las parcelas desmontadas.

La Resolución 478/2006 del Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo de Misiones establece en su artículo 5.º: *“Apruébase el aprovechamiento de ramas forestales de origen nativo hasta un treinta por ciento (30%) sobre el volumen total autorizado, previa solicitud del titular, del permiso e inspección por parte de la Delegación correspondiente”*.

**ANÁLISIS ESPACIAL DEL BALANCE
ENERGÉTICO DERIVADO DE BIOMASA**
METODOLOGÍA WISDOM
Provincia de Misiones

Nº 13

COLECCIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS

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

www.fao.org

ISBN 978-92-5-131668-9



9 789251 316689

CA5492ES/1/09.19