



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

ANÁLISIS ESPACIAL DEL BALANCE ENERGÉTICO DERIVADO DE BIOMASA

METODOLOGÍA WISDOM

Provincia de Córdoba

COLECCIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS

N° 5



Ministerio de Energía y Minería
Presidencia de la Nación



Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación

ANÁLISIS ESPACIAL DEL BALANCE ENERGÉTICO DERIVADO DE BIOMASA

METODOLOGÍA WISDOM

Provincia de Córdoba

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

Ministerio de Agroindustria

Ricardo Buryaile

Ministro de Agroindustria

Néstor Roulet

Secretario de Agregado de Valor

Mariano Lechardoy

Subsecretario de Bioindustria

Miguel Almada

Director de Agroenergía

Ministerio de Energía y Minería

Juan José Aranguren

Ministro de Energía y Minería

Alejandro Valerio Sruoga

Secretario de Energía Eléctrica

Sebastián A. Kind

Secretario de Energías Renovables

Maximilano Morrone

Director Nacional de Promoción de Energías
Renovables

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Jorge Meza

Oficial Forestal Principal

Oficina Regional América Latina

Francisco Yofre

Oficial de Programas

Oficina Argentina

Autores

Celina Escartín

Francisco Denaday

Guillermo Parodi

Juan Ignacio Paracca

María Florencia Bonino

Néstor Di Leo

Yamila Barasch

Coordinación Colección

Verónica González

Colaboración Colección

Sofía Damasseno

Editorial Universitaria de Buenos Aires

Corrección de textos

Rosana Errasti

Diseño e ilustraciones

Mariana Piuma

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

Las denominaciones empleadas en los mapas y la forma en que aparecen presentados los datos no implican, por parte de la FAO, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios o zonas marítimas, ni respecto de la delimitación de sus fronteras.

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 978-92-5-109874-5

© FAO, 2017

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, descargar e imprimir el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO aprueba los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

Todas las solicitudes relativas a la traducción y los derechos de adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán dirigirse a www.fao.org/contact-us/licence-request o a copyright@fao.org.

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico a publications-sales@fao.org.

Fotografía de portada: © FAO

ÍNDICE

Prólogo	vi		
Agradecimientos	viii		
Siglas y acrónimos	x		
Unidades de medida	xi		
Resumen ejecutivo	xii		
<hr/>			
1.			
Introducción	1		
Ejecución de los WISDOM provinciales	2		
<hr/>			
2.			
Bioenergía	4		
<hr/>			
3.			
Marco de referencia geográfico y ambiental	10		
<hr/>			
4.			
Sistemas bioenergéticos y metodología WISDOM	14		
<hr/>			
5.			
Módulos y resultados del WISDOM Córdoba	20		
5.1 Unidad de análisis y resolución espacial.	21	5.4 Módulo de demanda.	41
5.2 Módulo de oferta directa.	21	5.4.1 Demanda residencial.	41
5.2.1 Formaciones leñosas y pastizales.	22	5.4.2 Demanda escuelas rurales.	42
5.2.2 Cultivos.	24	5.4.3 Demanda de cáscara de maní.	43
5.2.I Accesibilidad física.	31	5.5 Módulo de integración de la oferta y la demanda.	43
5.2.II Accesibilidad legal.	32		
5.2.III Accesibilidad total.	35		
5.3 Módulo de oferta indirecta.	38		
5.3.1 Procesamiento de maní.	38		
5.3.2 Poda de arbolado urbano y residuos de jardín.	38		
5.3.3 Forestoindustria.	38		
5.3.4 Desmote de algodón.	41		
<hr/>			
6.			
Módulo de oferta de biomasa húmeda	50		
6.1 <i>Feedlots</i> bovinos.	53		
6.2 Establecimientos porcinos.	53		
6.3 Establecimientos tamberos.	53		
6.4 Mercados frutihortícolas.	53		
<hr/>			
7.			
Conclusiones	60		
<hr/>			
8.			
Recomendaciones	62		
<hr/>			
Bibliografía	66		
Anexo I. Marco normativo.	68		
Anexo II. Clases de coberturas arbóreas adoptadas por el FRA 2000.	69		

Cuadros

Cuadro 1	Clasificación de las fuentes de biocombustibles.	6
Cuadro 2	Incremento medio anual de bosque nativo por provincia fitogeográfica.	23
Cuadro 3	Extracción de productos forestales por departamento. Año 2012.	24
Cuadro 4	Incremento medio anual según categoría de uso/cobertura del suelo.	26
Cuadro 5	Incremento medio anual arbóreo por provincia fitogeográfica.	26
Cuadro 6	Géneros implantados y superficie ocupada en la Provincia de Córdoba.	28
Cuadro 7	Coeficientes por tipo de red vial.	32
Cuadro 8	Coeficientes de restricción según categorías del OTBN.	34
Cuadro 9	Ponderación asignada a cada área natural protegida.	35
Cuadro 10	Oferta directa accesible por fuente y departamento.	40
Cuadro 11	Oferta indirecta por fuente y departamento.	42
Cuadro 12	Demanda de biomasa con fines energéticos por sector y por departamento.	44
Cuadro 13	Resultados oferta, demanda y balance por departamento.	47
Cuadro 14	Cálculo biogás por tipo de animal.	53
Cuadro 15	Oferta potencial de biogás proveniente de los residuos orgánicos de los mercados frutihortícolas de concentración de la oferta.	54
Cuadro 16	Oferta potencial de biogás por fuente y departamento.	55
Cuadro 17	Coberturas y definiciones FAO (FRA 2000).	69

Mapas

Mapa 1	Oferta directa de bosque nativo.	25
Mapa 2	Oferta directa de arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas.	27
Mapa 3	Oferta directa de biomasa a partir de cultivos.	29
Mapa 4	Oferta directa total.	30
Mapa 5	Accesibilidad física.	33
Mapa 6	Accesibilidad legal.	36
Mapa 7	Accesibilidad total.	37
Mapa 8	Oferta directa accesible.	39
Mapa 9	Demanda total promediada y consumo de cáscara de maní.	46
Mapa 10	Balance promedio.	48
Mapa 11	Balance por radio censal.	49
Mapa 12	Potencial de generación biogás para tambos bovinos.	56
Mapa 13	Potencial de generación de biogás para criaderos de cerdos.	57
Mapa 14	Potencial de generación de biogás para <i>feetlots</i> bovinos.	58

Gráficos

Gráfico 1	Composición de la oferta interna de energía primaria en porcentajes. Argentina, 2014.	7
Gráfico 2	Modelo conceptual WISDOM Córdoba.	19

Prólogo



La matriz energética argentina está representada, en su gran mayoría, por combustibles fósiles. Esta situación presenta desafíos y oportunidades para el desarrollo de las energías renovables. Es así 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 N.º 27 191 –que modifica la Ley N.º 26 190–, con el objetivo de fomentar la participación de las fuentes renovables de energía hasta alcanzar un 20 % del consumo de energía eléctrica nacional, en 2025; y valorando a la biomasa como una fuente de alta relevancia.

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

La energía derivada de biomasa respeta y protege el ambiente, generando nuevos puestos de trabajo, integrando a comunidades energéticamente vulnerables, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero, convirtiendo residuos en recursos, ahorrando miles de pesos en combustibles fósiles, movilizandoinversiones y promoviendo agregado de valor y nuevos negocios.

No obstante, aún existen algunas barreras de orden institucional, legal, económico, técnico y sociocultural que se deben superar para incorporar a la bioenergía con una proporción mayor a la actual, y acorde a su potencial, en la matriz energética nacional.

En este marco, en 2012, el Ministerio de Agroindustria (antes Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca) y el Ministerio de Energía y Minería (antes Secretaría de Energía) solicitaron asistencia técnica a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para formular y ejecutar el Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa – UTF/ARG/020/ARG (PROBIOMASA).

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

Para el logro de este objetivo, el Proyecto se estructura en tres componentes principales con objetivos específicos:

- Estrategias bioenergéticas: Asesorar y asistir, legal, técnica y financieramente, a proyectos bioenergéticos y a 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 para evaluar los recursos biomásicos disponibles, para la generación de energía aplicando la metodología WISDOM (Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles-Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping).
- 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



© Ministerio de Agroindustria

La elaboración de esta publicación ha sido posible gracias a la cooperación de los siguientes organismos nacionales, cuyas denominaciones actuales establecidas en el Decreto N.º 13/2015 son: Ministerio de Agroindustria, Ministerio de Energía y Minería, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Educación y Deportes, Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, Instituto Geográfico Nacional (IGN), Programas de Servicios Agropecuarios (PROSAP), Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y Dirección de Producción Forestal (DPF).

Del mismo modo, se agradece a las reparticiones provinciales, principalmente al Ministerio de Aguas, Ambiente y Servicios Públicos de Córdoba, en la persona del Sr. Director General de Desarrollo Energético del citado Ministerio, Ing. Claudio Puértolas (Punto Focal Institucional del Proyecto en la Provincia de Córdoba). Se agradece, también, al Lic. Ezequiel Veneciano, de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Provincia; a los ingenieros Mario Riso y Raúl Moyano, del Área de Energías Alternativas, de la Dirección de Energías Alternativas y Comunicaciones; y a la Arq. Victoria Cebrian, del Área de Ordenamiento Ambiental del Territorio, de la Secretaría de Ambiente del citado Ministerio.

Siglas

Acrónimos

AGEERA: Asociación de Generadores de Energía Eléctrica Argentina

BAHRA: Base de Asentamientos Humanos de la República Argentina

BEN: Balance Energético Nacional

CNPhyV: Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas

CREA: Consorcio Regional de Experimentación

DAP: Diámetro a la altura del pecho

DB: Dirección de Bosques

DEM: Modelo Digital de Elevaciones

DNP: Dirección Nacional de Promoción de Energía Eléctrica, MinEyM

DPF: Dirección de Producción Forestal

ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus

EPEC: Empresa Provincial de Energía de Córdoba

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

HRVIR: High-Resolution Stereoscopic

IGN: Instituto Geográfico Nacional

IMA: Incremento medio anual

INDEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

INTI: Instituto Nacional de Tecnología Industrial

IRS: Indian Remote Sensing

LISS: Linear Imaging Self Scanning Sensor

MAGyP: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación

MEM: Mercado Eléctrico Mayorista

MinPlan: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios

MS: Materia seca

oMS: Contenido orgánico de materia seca

NBI: Necesidades básicas insatisfechas

OTBN: Ordenamiento Territorial de Bosque Nativo

PBG: Producto Bruto Geográfico

PERMER: Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales

PBI: Producto Bruto Interno

PROPEE: Programa Provincial de Energía Eficiente

PROSAP: Programa de Servicios Agrícolas Provinciales

RER: Relevamiento de escuelas rurales

RSU: Residuos sólidos urbanos

SA: Sociedad Anónima

SAyDS: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

SE: Secretaría de Energía de la República Argentina

SEGEMAR: Servicio Geológico Minero Argentino

SENASA: Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

SIG: Sistema de Información Geográfica

SPOT: Satellite Pour l'Observation de la Terre

UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México

UPE: Unidad Provincial Ejecutora

WISDOM: Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping

Unidades de medidas

GW/h: Gigavatio hora
ha: hectárea
kcal: kilocaloría
km²: kilómetro cuadrado
Ktep: kilotonelada equivalente de petróleo
kW: kilovatio
mm: milímetro
mm³: milímetro cúbico
msnm: metro sobre el nivel del mar
Mtep: millones de toneladas equivalentes de petróleo
MW: Megavatio
tce: tonelada de combustible equivalente
tep: tonelada equivalente de petróleo
tn: tonelada

Resumen ejecutivo



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

En virtud de ello, se construyó una base de datos geo-espacial con información brindada por diferentes organismos nacionales y provinciales, de carácter público y privado. En la Provincia de Córdoba, a fin de ejecutar las acciones del Proyecto, se constituyó la Unidad Provincial Ejecutora (UPE), con el objetivo de gestionar la información obrante en las diversas instituciones para la implementación de la metodología WISDOM (Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles - *Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping*) y de institucionalizar el procedimiento de análisis espacial de los recursos biomásicos a través de la capacitación y transferencia metodológica a los expertos locales.

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

-
- Oferta directa: bosque nativo (59,39 %), arbustales y pastizales (35,34 %), forestaciones (4,40 %), olivos (0,83 %) y algodón (0,04 %).
 - Oferta indirecta: descascarado de maní (45,8 %), residuos de poda del arbolado urbano y mantenimiento de plazas y jardines (40 %), residuos de la forestoindustria (14 %) y desmote de algodón (0,2 %).

Con respecto al consumo de biomasa con fines energéticos, los sectores demandantes considerados fueron: la generación de energía térmica y eléctrica a partir de cáscara de maní (90,63 %), el sector residencial (9,37 %) y las escuelas rurales.

En resumen, y teniendo en cuenta todos estos componentes, se estimó que la oferta directa provincial accesible, física y legalmente, es de 624 931 tn/año. Mientras que la oferta indirecta es de 392 251 tn/año. Por su parte, la demanda actual estimada es de 168 818 tn/año. En consecuencia, el balance resultante entre la oferta potencial y el consumo actual estimado da un superávit de 848 364 tn/año de recursos biomásicos con fines energéticos.

Para enriquecer el análisis espacial provincial, se estimó el potencial de energía a partir de fuentes de biomasa húmeda provenientes de actividades ganaderas intensivas (*feedlots*, tambos y cría de porcinos). La oferta potencial provincial es de 85 993 toneladas equivalentes de petróleo (tep) por año, que se constituye por los aportes de *feedlots* bovinos (35 474 tep/año), cría de porcinos (28 590 tep/año), tambos bovinos (20 504 tep/año) y residuos orgánicos provenientes de mercados frutihortícolas (1 425 tep/año).

En conclusión, la Provincia de Córdoba tiene un gran potencial bioenergético, debido a que posee fuentes de biomasa, tanto seca como húmeda, con una variedad importante y un volumen significativo, que pueden ser aprovechadas para producir energía renovable. Este análisis espacial establece una base sólida a nivel provincial que permitirá avanzar en materia de estrategias bioenergéticas consistentes y precisas, promoviendo así la viabilidad de proyectos que utilicen energía derivada de biomasa.

1. INTRODUCCIÓN



La metodología WISDOM permite integrar y analizar información estadística y espacial sobre la producción (oferta) y consumo (demanda) de combustibles biomásicos.

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 el 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 el año 2009, el Gobierno de la República Argentina publicó, conjuntamente con la FAO, el trabajo "Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina – WISDOM Argentina"¹ (FAO, 2009), en el cual se estimó espacialmente la oferta y la demanda de biomasa con fines energéticos a escala nacional. Esta situación confirmó a la Argentina como un país que cuenta con abundantes cantidades de biomasa apta y disponible para uso energético.

La metodología WISDOM (Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles – Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping–) fue desarrollada por FAO, en cooperación con el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), como método para visualizar espacialmente las áreas priori-

tarias para el desarrollo de combustibles leñosos. WISDOM está basado en la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten integrar y analizar información estadística y espacial sobre la producción (oferta) y consumo (demanda) de combustibles biomásicos (leña, carbón vegetal, residuos de cosecha, residuos de la foresto-agroindustria, entre otros). Esta técnica es accesible, fácil de aplicar y permite presentar los resultados del análisis espacial de manera comprensible no sólo a especialistas sino también a funcionarios y al público en general.

Las utilidades de esta herramienta son:

- Facilitar la formulación de políticas públicas y la toma de decisiones mediante la elaboración de mapas temáticos de oferta y demanda de biomasa para uso energético.
- Ofrecer información actualizada y homogeneizada del potencial de biomasa existente con fines energéticos según fuentes de aprovisionamiento. La información es provista por fuentes primarias (encuestas y censos) y secundarias (entes gubernamentales, organismos descentralizados y estudios científicos).

1. Proyecto de Cooperación Técnica TCP/ARG/3103.

- Conocer la disponibilidad de recursos de biomasa, siendo 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.

El componente de Fortalecimiento Institucional del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa tiene como principal tarea evaluar los recursos biomásicos disponibles para la generación de energía, aplicando la metodología WISDOM a escala provincial, tal como fue recomendado en el WISDOM Argentina (FAO, 2009). Por ello, se efectuó el correspondiente análisis de la información existente, permitiendo así alcanzar un mayor grado de certeza en vistas del planeamiento estratégico y operacional en el sector bioenergético a través de los diagnósticos provinciales.

Ejecución de los WISDOM provinciales

El análisis espacial de la oferta y la demanda de bioenergía en cada provincia fue el resultado de un largo proceso interinstitucional que generó conocimiento y redes de trabajo, indispensables en la formulación de políticas públicas y en la promo-

ción de proyectos que hagan uso de los recursos biomásicos con fines energéticos. Para implementar la metodología WISDOM a escala provincial, en primer lugar, se firma una Carta de Intención entre el Proyecto y cada gobierno provincial y, luego, se crea una Unidad Provincial Ejecutora (UPE). La función de la UPE es identificar y facilitar la recolección de la información necesaria y recibir la capacitación sobre la metodología con el fin de poder replicarla y actualizarla. La UPE se conforma por un Punto Focal Institucional que actúa como nexo entre el Proyecto y los distintos organismos de la provincia, un Punto Focal Técnico y un Grupo de Apoyo Técnico de carácter multidisciplinario e interinstitucional.

De esta manera, la Provincia de Córdoba, a través de la Dirección General de Desarrollo Energético del Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos, y FAO firmaron, en octubre de 2013, una Carta de Intención manifestando la voluntad de desarrollar acciones conjuntas para promover la energía derivada de biomasa en el territorio provincial. Posteriormente, se creó la UPE, donde se designó al Ing. Claudio Puértolas, Director General de Desarrollo Energético de la Provincia, como Punto Focal Institucional, y al Ing. Ezequiel Veneciano, de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de Córdoba, como Punto Focal Técnico, para implementar, monitorear y hacer el seguimiento de las actividades relacionadas con el Proyecto.

El análisis espacial de la oferta y la demanda de bioenergía en cada provincia fue el resultado de un largo proceso interinstitucional que generó conocimiento y redes de trabajo indispensables en la formulación de políticas públicas.

En este contexto, se desarrollaron diversas reuniones de trabajo con referentes provinciales en materia bioenergética, tanto del sector público como privado, donde se identificaron las principales actividades generadoras y consumidoras de biomasa con fines energéticos, así como las po-

sibles fuentes de información para incorporar al WISDOM Córdoba.

En el transcurso de los años 2014 y 2015, se incorporaron nuevos datos y recomendaciones aportadas por las instituciones convocadas, obteniéndose como resultado el presente documento.



2. BIOENERGÍA



La gran diversidad de materiales que comprende el término bioenergía, convierte a esta última en una fuente de energía versátil, a partir de la cual pueden obtenerse combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

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

La gran diversidad de materiales que comprende el término bioenergía, convierte a esta última en una fuente de energía versátil, a partir de la cual pueden obtenerse combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, utilizando procesos más o menos sofisticados y para diversas aplicaciones. Sin embargo, esta misma heterogeneidad genera un panorama complejo, que adquiere matices propios en función del contexto socio-cultural, económico, político-institucional y ambiental, de un sitio dado, en un momento histórico determinado (Manrique *et al*, 2011).

Es necesario tener en cuenta que la biomasa es una fuente de baja densidad energética, que se encuentra ampliamente dispersa y que posee una alta dependencia geográfica. Esto hace que el

costo de transporte constituya una parte significativa del costo de producción, que puede alcanzar entre un 33 y un 50 % del total (Sultana y Kumar, 2012), por ello es indispensable conocer espacialmente la disponibilidad, para lo cual las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son particularmente apropiadas.

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

En este sentido, la utilización de este tipo de energías presenta diversas ventajas, tales como:

- Agregado de valor al sector agropecuario, forestal y foresto-agroindustrial.
- Generación de empleo.
- Disponibilidad local.
- Aumento de la eficiencia productiva.

Cuadro 1

Clasificación de las fuentes de biocombustibles.

Fuente

Adaptado en base a FAO (2004).

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

- Conversión de pasivos ambientales (residuos, efluentes) en materia prima energética.
- Redistribución de ingresos hacia el sector rural.
- Facilidad de conservación y almacenamiento.

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

En relación a su humedad, la biomasa puede clasificarse en dos grandes grupos. Aquella que puede obtenerse en forma natural con un tenor de humedad menor al 60 %, como la leña y el residuo agrícola de cosecha (RAC), se la denomina biomasa seca y es utilizada energéticamente mediante

procesos termo-químicos o físico-químicos, que producen directamente energía térmica o productos secundarios en la forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Por otro lado, se designa biomasa húmeda a la que supera el 60 % de humedad, siendo en su mayoría residuos animales y efluentes industriales, los cuales son tratados mediante procesos biológicos, obteniéndose principalmente combustibles gaseosos.

El uso de la bioenergía tiene significativa participación en la matriz energética mundial (10 %), aunque la distribución difiere marcadamente entre las diferentes regiones del globo (IEA, 2009). En la República Argentina, según las cifras del Balance Energético Nacional (BEN), del año 2014, las fuentes bioenergéticas aportan un 7 % de la matriz energética nacional. De ese porcentaje, el 3,3 % corresponde a: leña (1,4 %), bagazo (1,4 %) y otros subproductos primarios (0,5 %), como cáscara de girasol y de arroz, licor negro, marlo de maíz y re-

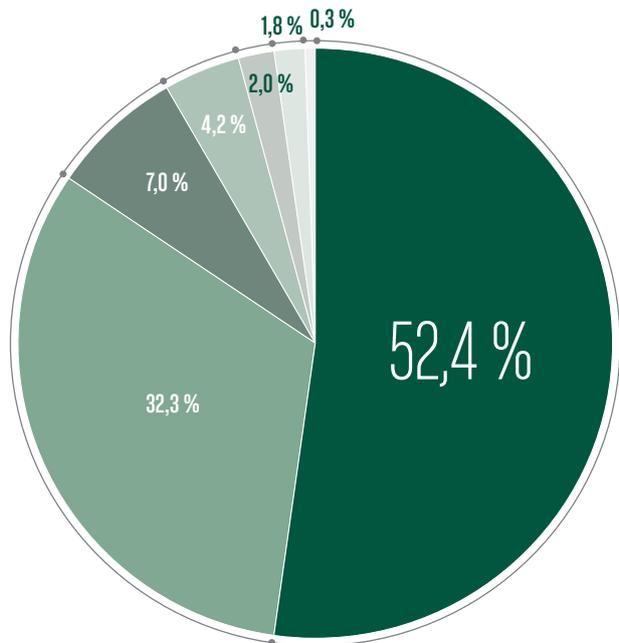
Gráfico 1

Composición de la oferta interna de energía primaria en porcentajes. Argentina, 2014.

Fuente

Ex Secretaría de Energía. Ex Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.

52,4 %	Gas natural de pozo
32,3 %	Petróleo
7,0 %	Bioenergía
4,2 %	Energía hidráulica
2,0 %	Energía nuclear
1,8 %	Carbón mineral
0,3 %	Energía eólica



La Provincia de Córdoba ha sido y es una fuerte promotora de la producción de energía a partir de fuentes renovables, sustituyendo los combustibles fósiles por biomasa, hidroelectricidad y energía solar.

siduos pecuarios. Las energías hidráulica, nuclear, eólica y solar representan un 6,5 % de la energía primaria del país, mientras que los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) alcanzan el 86,5 %, lo que indica todavía una fuerte predominancia de este tipo de combustible en la composición de la matriz energética nacional (Gráfico 1).

La Provincia de Córdoba ha instrumentado un conjunto de políticas públicas destinadas a la atención de su situación energética. La Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC) es un agente reconocido por el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) como generador, distribuidor y transportista de energía eléctrica. Como generadora de energía, EPEC es parte de la Asociación de Generadores de Energía Eléctrica de Argentina (AGEERA).

El sistema de generación y abastecimiento provincial está integrado por diez centrales hidráulicas, siete térmicas, una de ciclo combinado y una de bombeo, ubicadas en distintos puntos de la Provincia. Estas centrales funcionan en condiciones óptimas, desde el punto de vista económico y ecológico, y suman una potencia instalada total de 1 853,3 MW. La electricidad adicional que necesita la Provincia se obtiene en el MEM.

La Provincia de Córdoba ha sido y es una fuerte promotora de la producción de energía a partir de fuentes renovables, sustituyendo los combustibles fósiles por biomasa, hidroelectricidad y energía solar. El Plan Estratégico de Desarrollo Energético, impulsado y gestionado por el Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos provincial, tiene como objetivo la instalación de 900 MW para la generación de energía renovable en Córdoba. Además, se ha relevado la infraestructura de distribución de gas y de electricidad por red, tanto actual como los planes de expansión proyectados, y se ha recabado información sobre el parque de generación provincial, la disponibilidad e incorporaciones previstas y en estudio, los requerimientos de demanda de gas y electricidad y la capacidad de abastecimiento puntual.

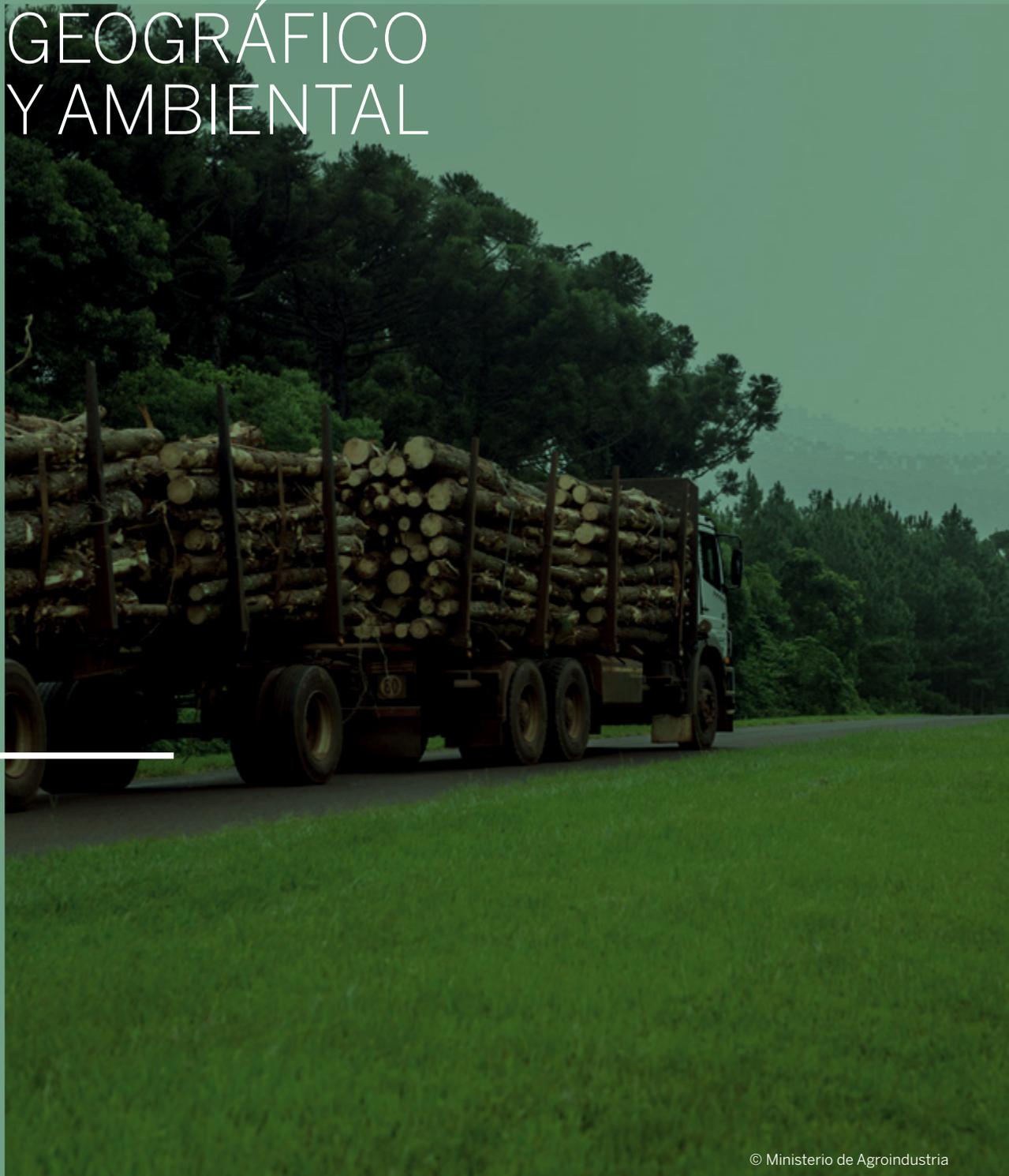
Parte del Plan Estratégico es la elaboración del Mapa Energético Cordobés, para el que se están relevando y recopilando, con el asesoramiento y participación de los Ministerios de Ciencia y Tecnología, de Industria y Comercio y de Agroindustria, el potencial energético provincial, en las distintas áreas y geografías, con el mayor detalle posible. El objetivo es contar con un inventario de alternativas para afrontar las necesidades energéticas de los hogares y los sectores de la producción, aprovechando los recursos que ofrece el territorio, para generar la energía necesaria a fin de crecer de modo sustentable, priorizando oportunidades y fuentes de trabajo para Córdoba.

A esto, se suman acciones complementarias, como los programas de provisión de energía en sistemas aislados o el Programa Provincial Energía Eficiente (ProPEE). Este último tiene el propósito de promover el uso eficiente de la energía, como una medida efectiva para el cuidado del ambiente, ya sea por la reducción en los costos de producción como por la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.



© FAO

3. MARCO DE REFERENCIA GEOGRÁFICO Y AMBIENTAL



Desde el punto de vista físico y natural, Córdoba presenta una variada cantidad de paisajes que se corresponden con una diversidad orográfica, climática y de ecosistemas. Pueden distinguirse dos áreas diferenciadas: las sierras, al noroeste, y la llanura, en el resto de la Provincia.

La Provincia de Córdoba posee una superficie de 165 321 km², que representa el 5,9 % del total nacional y registra una densidad poblacional de 20,01 hab/km². Administrativamente, se divide en 26 departamentos y, según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (CNPhyV), del año 2010, para esa fecha contaba con una población de 3 308 876 habitantes (INDEC, 2010).

La población se distribuye de manera heterogénea en el territorio provincial, ya que más del 40 % se concentra en el área metropolitana de la capital cordobesa. Le siguen en importancia, en cuanto al número de habitantes, las ciudades de Río Cuarto, Villa María, San Francisco, Río Tercero y Bell Ville.

También, de acuerdo con el CNPhyV, en 2010, la población urbana representaba el 89,1 % y, de un universo de 1 031 843 hogares, un 96,28 % se encontraba conectado a la red eléctrica. Por su parte, el servicio de gas de red llegaba a un 50,69 % de los hogares, mientras un 48,31% empleaba gas envasado y un 0,64 % usaba como combustible principal para cocinar, leña o carbón vegetal. La población con necesidades básicas insatisfechas (NBI) era del 8,7 % (por debajo del promedio del país, que se registraba en un 12,5 %).

Desde el punto de vista físico y natural, Córdoba presenta una variada cantidad de paisajes que se corresponden con una diversidad orográfica, cli-

mática y de ecosistemas. Pueden distinguirse dos áreas diferenciadas: las sierras, al noroeste, y la llanura, en el resto de la Provincia. La llanura ubicada al este o llanura oriental, se formó por acumulación de sedimentos, que le dan una gran fertilidad, mientras que el sector serrano forma parte del sistema de las Sierras Pampeanas y sus cumbres alcanzan una altura máxima de 2 790 metros, en el cerro Champaquí. Al oeste de las sierras, se encuentra la planicie occidental y una depresión ocupada por las Salinas Grandes. Hacia el norte, existe un suave hundimiento en el terreno, la depresión de Mar Chiquita, que tiene un paisaje totalmente distinto al de la pradera. La parte más profunda de la depresión está ocupada por una laguna de 185 300 hectáreas.

Las precipitaciones constituyen la principal fuente de alimentación de los cursos que drenan la vertiente oriental de las sierras y de las cuencas subterráneas. La Provincia de Córdoba está atravesada por un sistema fluvial en el cual se destacan los ríos Primero y Segundo, que desembocan en la laguna de Mar Chiquita; y Tercero y Cuarto, que se integran a la cuenca del Plata. Otro río que atraviesa Córdoba, es el Quinto que, procedente de las sierras de San Luis, recorre los médanos cordobeses y se pierde en una zona de bañados denominada La Amarga. Estos ríos tienen un régimen pluvial

estival², donde las lluvias intensas provocan súbitas crecidas que escurren por diversos cauces. En invierno, en cambio, al disminuir las precipitaciones, el escurrimiento es fundamentalmente de tipo hipodérmico.

La Provincia de Córdoba presenta una marcada heterogeneidad en cuanto a la oferta hídrica. La zona de la pampa húmeda cordobesa tiene un clima templado, con lluvias que disminuyen de este a oeste, desde los 900 a los 400 mm anuales. En las Sierras Pampeanas y en la llanura occidental, donde el clima es cálido y hay mayores amplitudes térmicas, las precipitaciones decrecen hacia el oeste, desde los 500 mm anuales hasta menos de 300. Actualmente, en las regiones subhúmedas y semiáridas de la Provincia, las lluvias se encuentran entre un 20 y un 30 % por encima del promedio histórico. Este fenómeno ha provocado la ampliación del área potencialmente agrícola.

Desde el punto de vista fitogeográfico, en Córdoba se desarrollan tres provincias fitogeográficas: la Chaqueña -distrito Chaqueño Serrano-, la del Espinal -distrito del Algarrobo- y la Pampeana -distrito Pampeano Occidental- (Cabrera, 1976). La provincia fitogeográfica Chaqueña se ubica en el noroeste, donde se destacan las zonas de la planicie occidental y las Salinas Grandes. La vegetación original de la planicie occidental se componía de bosques de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), que durante el siglo pasado fueron modificados en gran parte por la actividad antrópica, dando lugar a matorrales de sustitución y bosques secundarios. Desde la planicie occidental hacia el interior de las playas de fondo de la depresión de las Salinas Grandes, se presenta un gradiente de concentración salina que determina una clara zonación en la vegetación. Las especies halófilas aparecen en el bosque de quebracho blanco de la planicie occidental, produciéndose un reemplazo paulatino de especies hasta que la vegetación queda reducida a individuos aislados de jumes y cachiyuyos y zonas desprovistas de vegetación

(Cabido y Zak, 1999). Al este del distrito Chaqueño Serrano, se encuentran bosques de horcoquebracho (*Schinopsis marginata*), acompañados por molle de beber o molle blanco (*Lithraea molleoides*), coco o cochucho (*Fagara coco*), tala (*Celtis chichape*), churqui (*Acacia caven*), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*), molle (*Schinus areira*), espinillo (*Prosopis torquata*), quebracho flojo o sombra de toro (*Jodina rhombifolia*), manzano de campo (*Ruprechtia apetala*), visco (*Acacia visco*) y yuchán (*Chorisia insignis*) (Cabrera, 1976). En el nordeste de la Provincia, se destacan las zonas de la Planicie Oriental y la depresión de Mar Chiquita. La Planicie Oriental estuvo ocupada, hasta el siglo pasado, por bosques de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*). Como consecuencia de la tala vinculada al desarrollo de la red ferroviaria y, más recientemente, a la expansión de la frontera agropecuaria, estos bosques han sido prácticamente erradicados. Por su parte, la depresión de Mar Chiquita presenta distintos tipos de terrenos tales como bordes elevados, lomas suaves, playas salinas y pantanosas, cañadas y lagunas, donde la vegetación es predominantemente halófila, con fragmentos de bosques xerófilos en los sitios más elevados (Cabido y Zak, 1999). En las Sierras Grandes de la Provincia, se desarrollan montes de tabaquillo o queñoa (*Polylepis australis*) y estepas gramíneas de *Stipa* y *Festuca*.

La provincia fitogeográfica del Espinal, se corresponde enteramente con el distrito del algarrobo, cuya comunidad climática original son los bosques de algarrobo negro (*Prosopis nigra*) y de algarrobo blanco (*Prosopis alba*), acompañados por chañar (*Geoffroea decorticans*) y tala (*Celtis tala*). De este tipo de bosques, hoy sólo quedan relictos, ya que se ubicaban en los lugares con mejores condiciones para el desarrollo de la agricultura (SAyDS, 2003). En el sur del Espinal cordobés, se presenta un ecotono difuso, en donde predomina el tala (*Celtis tala*) (Lewis y Collantes, 1973). Debido a la intensa transformación antrópica ocurrida en el norte y centro del Espinal cordobés, las formaciones vegetales actuales se encuentran al sur

2. El régimen de precipitaciones es de tipo monzónico, donde el máximo de lluvias coincide con las máximas temperaturas.

de la Provincia. Las mismas presentan bosques bajos de especies leñosas xerófilas, variando desde densos a abiertos y, generalmente, de un solo estrato arbóreo, que alternan con sabanas y estepas gramíneas. Los taxones endémicos del Espinal son muy escasos; el caldén (*Prosopis caldenia*) es uno de los pocos ejemplos de una especie restringida a esta región (SAyDS, 2004).

En la llanura oriental, la vegetación dominante es de una estepa de gramíneas correspondiente a la provincia fitogeográfica Pampeana. Las comunidades vegetales de esta región han sido reemplazadas por un uso agrícola intensivo.

El potencial productivo y la localización de las distintas actividades se correlacionan con las condiciones agroecológicas de los diferentes ambientes de la Provincia, destacándose la región pampeana en el este provincial. Los cultivos son principalmente de especies oleaginosas, forrajeras y cereales. La superficie cultivada con oleaginosas asciende a 6 000 000 ha, de las cuales el 90 % está destinada a la producción de soja. La segunda especie oleaginosa de importancia provincial es el maní, que además reviste interés bioenergético, a partir del aprovechamiento actual y potencial de su cáscara. La superficie sembrada con esta leguminosa ascendió a más de 392 000 ha en la campaña 2014/2015, lo que implica un 92 % del total nacional para este cultivo (SIIA, 2015). Las especies forrajeras se cultivan en unas 2 700 000 ha, con predominio de alfalfa (como forrajera perenne) y avena (como forrajera anual). Los cultivos de cereales ocupan una superficie de más de 3 200 000 ha, donde el maíz representa alrededor del 58 % y el trigo, un 35 %. A su vez, en toda la Provincia se practica la ganadería extensiva teniendo un stock de 4 453 904 cabezas de ganado bovino, de las cuales alrededor de 500 000 son vacas lecheras. La actividad porcina posee alta relevancia en la Provincia de Córdoba, contabilizándose una existencia total que superaba las 840 000 cabezas, en el año 2011 (Iglesias y Ghezan, 2013).

En términos productivos, la Provincia de Córdoba representa el 8 % del producto bruto interno (PBI) de la Argentina. Los sectores productores de servicios generan la mayor parte del valor agrega-

El potencial productivo y la localización de las distintas actividades se correlacionan con las condiciones agroecológicas de los diferentes ambientes de la Provincia, destacándose la región pampeana en el este provincial.

do provincial, destacándose los servicios inmobiliarios, empresariales y de alquiler. Entre los sectores productores de bienes se destacan la industria manufacturera y el sector agropecuario. A su vez, la Provincia tiene una estructura exportadora diversificada, con predominio de las exportaciones de manufacturas de origen agropecuario (47,4 %), seguidas por los productos primarios (26,8 %) y las manufacturas de origen industrial (25,8 %), según cifras de 2012 (DINREP, 2013).

4. SISTEMAS BIOENERGÉTICOS Y METODOLOGÍA WISDOM



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

De acuerdo con estudios locales y nacionales, una particularidad de los sistemas bioenergéticos es su carácter heterogéneo, que se evidencia en algunas 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.
- Interdisciplinariedad: el análisis de los sistemas bioenergéticos requiere la concurrencia de una multiplicidad de ciencias y técnicas, como la gestión forestal y la silvicultura, las ciencias ambientales, la ingeniería, la agronomía, la geografía, entre otras.
- Especificidad geográfica: la oferta de recursos biomásicos presenta una disponibilidad variable y una extensa distribución a lo largo del te-

ritorio. A su vez, se caracteriza por una baja oferta en superficie, si se la compara con centros altamente concentrados como las industrias procesadoras de materia prima. En cuanto a la demanda, las características productivas regionales y las pautas de consumo residencial, combinadas con el acceso diferencial a las redes eléctricas y de gas, generan diferentes patrones espaciales. Por ello, la necesidad de comprender a los sistemas bioenergéticos en diferentes escalas, poniendo énfasis en estudios sitio-específicos.

- Heterogeneidad en las fuentes de oferta de biomasa³: 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, el 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 tan disímiles tanto cualitativa como cuantitativa-

3. Vale señalar que, además de los recursos dendroenergéticos, en el análisis espacial provincial, se han tenido en cuenta diferentes residuos de origen vegetal.

Características de los sistemas bioenergéticos:

Multisectorialidad

Interdisciplinariedad

Especificidad geográfica

Heterogeneidad en las fuentes de oferta de biomasa

Heterogeneidad en los sectores de demanda de biomasa

Adaptabilidad de los usuarios



© Ministerio de Agroindustria

mente. Así, hallamos grandes consumidores industriales que producen energía para su propia producción y para vender a la red; consumidores comerciales, como panaderías y parrillas; y pequeños consumidores residenciales, que utilizan la leña, el carbón vegetal o los residuos vegetales y animales para cocinar, calefaccionar o calentar el agua con fines sanitarios.

- Adaptabilidad de los usuarios: los sistemas bioenergéticos y su complejo patrón de oferta y demanda generan la necesidad de un alto grado de flexibilidad en el manejo y aprovechamiento de los recursos biomásicos. La gran diversidad de materiales que comprende el término bioenergía convierte a esta última en una fuente de energía versátil, a partir de la cual pueden obtenerse, mediante procesos de diversa complejidad, combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, utilizados en múltiples aplicaciones.

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

Asimismo, un aspecto crítico de los sistemas bioenergéticos, que se relaciona directamente con la especificidad geográfica, es el acceso y el 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 diversas 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, el Programa de Dendroenergía de FAO⁴ desarrolló e implementó la metodología WISDOM, que aborda con una visión sistémica esta problemática y ofrece respuestas a los diferentes niveles gubernamentales y a los sectores de la energía, forestal, industrial y agrícola, generando sinergias e interrelaciones entre los mismos.

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

4. En su primera formulación, WISDOM surgió como resultado de la colaboración entre el Programa de Dendroenergía de FAO y el Instituto de Ecología de la UNAM.

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.

Un componente innovador en el WISDOM Córdoba ha sido el Módulo de Oferta de Biomasa Húmeda, que estima el potencial productivo de biogás en toneladas equivalentes de petróleo (tep), para establecimientos bovinos (*feedlots* y *tambos*) y porcinos, y para el residuo orgánico de los mercados frutihortícolas que puede ser empleado en la producción de biogás.

Un componente innovador en el WISDOM Córdoba ha sido el Módulo de Oferta de Biomasa Húmeda, que estima el potencial productivo de biogás en toneladas equivalentes de petróleo (tep), para establecimientos bovinos (*feedlots* y *tambos*) y porcinos, y para el residuo orgánico de los mercados frutihortícolas que puede ser empleado en la producción de biogás.

El “Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles” es una metodología que se apoya en una plataforma SIG, donde se integran datos, estadísticas e información procedentes de múltiples ámbitos y se los dispone espacialmente. Al no presentar una estructura rígida ni utilizar un *software* predeterminado, esta metodología permite un alto grado de flexibilidad y adaptabilidad frente a la heterogeneidad y a la fragmentación de los datos y la información disponibles sobre producción y consumo de bioenergía. Además, el enfoque WISDOM tiene la ventaja de considerar el contexto completo de la oferta y la demanda, lo cual 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 sobre oferta y demanda de biomasa con fines energéticos de la Provincia de Córdoba, se utilizaron diversos *software* de código abierto: *R*, *Quantum Gis* y *Dinamica EGO* (*Environment for Geoprocessing Objects*, por su sigla en inglés). El programa *R* se usó para sistematizar las bases de datos geográficas vectoriales (*shapes*), convirtiendo los datos a formato ráster (los que no estuvieran aún en ese formato), y para homogeneizar y estandarizar la base de datos completa⁵; 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 realizar todo el análisis espacial a través de sucesivos modelos.

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

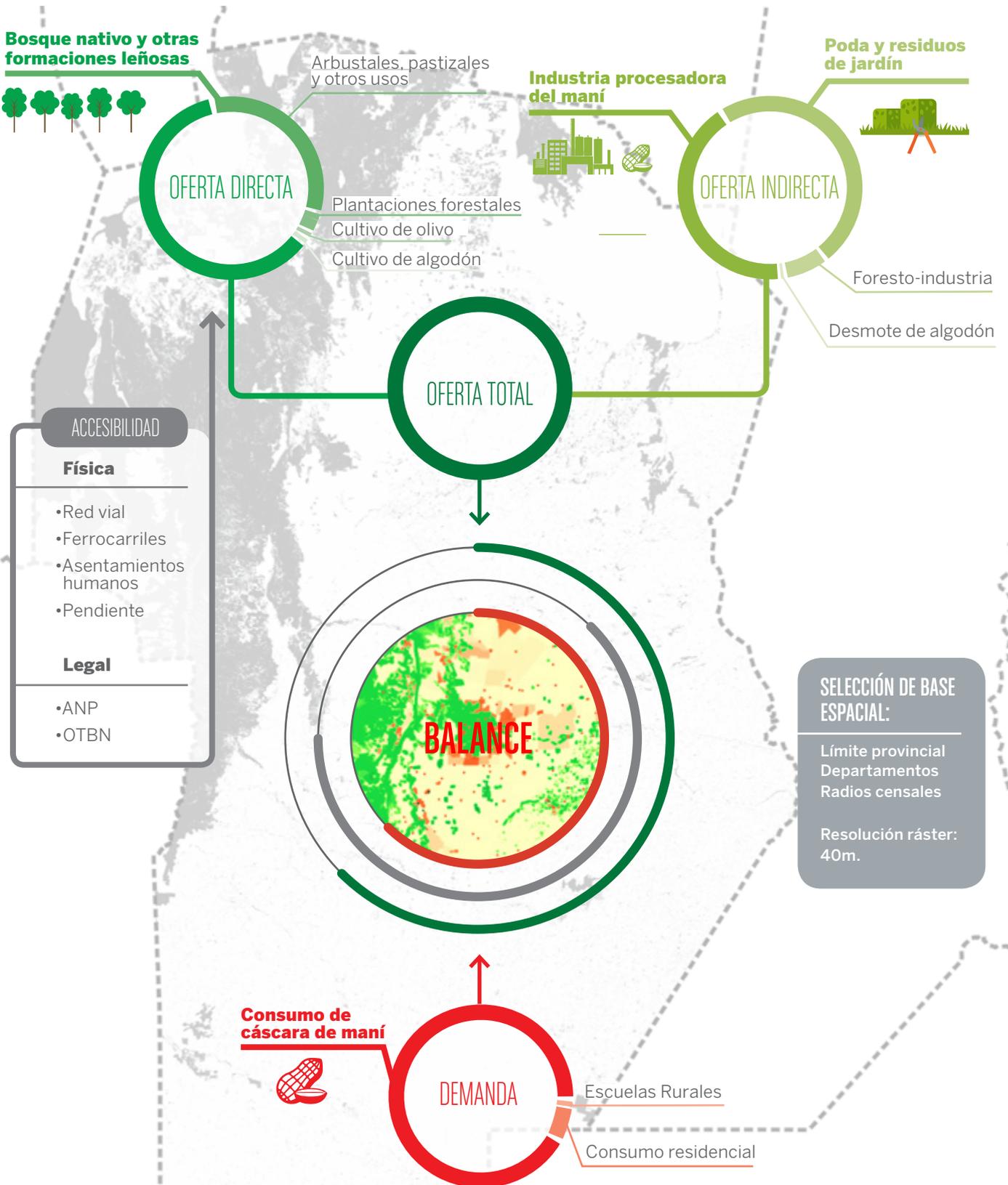
1. Definición de la unidad administrativa-espacial mínima de análisis.
2. Desarrollo del módulo de oferta.
3. Desarrollo del módulo de demanda.
4. Desarrollo del módulo de integración.

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.

5. 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 que las celdas de las diferentes capas coincidan en el espacio.

Gráfico 2. Modelo Conceptual WISDOM Córdoba.



5. MÓDULOS Y RESULTADOS DEL WISDOM CÓRDOBA

-
- 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

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.

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

5.1 Unidad de análisis y resolución espacial

El nivel mínimo de análisis utilizado fue el radio censal, correspondiente a la unidad censal de mayor desagregación cartográfica, con el objeto de lograr el más alto nivel de detalle y garantizar la correspondencia con los datos CNPhyV (INDEC, 2010). No obstante, se trabajó a escala departamental cuando la información y los datos estadísticos se encontraban disponibles a este nivel de detalle. De esta manera, la estructura administrativa considerada presenta 26 departamentos, con 4752 radios censales.

En cuanto a la unidad de análisis ráster, la resolución espacial empleada fue de 40 m (0,16 ha), mejorando de esta manera el nivel de detalle del WISDOM Argentina, donde se utilizó una resolución espacial de 250 m (6,25 ha). En la mayoría de los casos, la información disponible se encuentra expresada en toneladas de biomasa seca por hectárea. Para adaptar estos valores a la resolución

utilizada, todas las capas se multiplicaron por un valor constante de 0,16, el cual representa la superficie en hectáreas de cada píxel.

El sistema de coordenadas empleado fue Gauss Krüger Faja 4 POSGAR 94 WGS84. El límite provincial y departamental se confeccionó a partir de los límites de los radios censales correspondientes a la cartografía del CNPhyV (2010).

5.2 Módulo de oferta directa

Se entiende por oferta directa a la biomasa que se encuentra en campo. Una de las características de la oferta directa es su dispersión territorial. Entre las fuentes directas de biomasa potencialmente disponibles para usos energéticos en la Provincia de Córdoba, se consideraron: la resultante de la poda y el raleo y los residuos de cosecha de las plantaciones forestales; el IMA del manejo del bosque nativo, de los arbustales y pastizales; la poda y renovación de plantas provenientes del manejo de plantaciones frutícolas y olivícolas; y los residuos del cultivo del algodón.

En relación a los cultivos agrícolas extensivos, como la soja o el maíz relevados en la Provincia, los residuos de cosecha no han sido considerados para usos energéticos, debido a que las labranzas bajo la práctica del sistema de siembra directa, mantienen los residuos sobre el suelo para conservar su fertilidad y estructura.

Es relevante señalar que, para el análisis espacial, en los casos en que existía superposición entre distintas capas geográficas, se priorizaron aquellas que presentaban una mayor resolución y ajuste espacial.

5.2.1 Formaciones leñosas y pastizales

Bosque nativo

El uso dendroenergético del bosque nativo se contempló bajo fuertes consideraciones de sustentabilidad, entre las que se destaca el Ordenamiento Territorial de Bosque Nativo (OTBN)⁶ y el cálculo de biomasa disponible, teniendo en cuenta únicamente el crecimiento anual del bosque con el fin de evitar extraer más de lo que crece.

La información necesaria para la cuantificación de la biomasa disponible para generar energía a partir del bosque nativo, debe recolectarse teniendo en cuenta el nivel de detalle objetivo. La precisión de dichos resultados tendrá una enorme influencia en la posible instalación de proyectos dendroenergéticos. Para la estimación de la biomasa, actualmente se recurre a técnicas que funcionan a diferentes escalas, desde inventarios de campo realizados a escala local hasta estimaciones mediante teledetección efectuadas a escala nacional o subregional.

El análisis del bosque nativo y de otras formaciones leñosas como fuentes de biomasa con fines energéticos, se realiza bajo la consideración de que es posible el manejo de la vegetación nativa en regiones áridas, utilizando las poblaciones existentes, perfectamente adaptadas a las características extremas del ambiente, prestando suma atención a su preservación y al incremento de su productividad. Es por ello que, a los fines de estimar la biomasa, se tendrá en cuenta únicamente el incremento medio anual (IMA)⁷. El uso desmedido de estas formaciones provoca efectos ambientales adversos en regiones donde las relaciones ecológi-

cas son frágiles y sensibles a los cambios (Álvarez *et al.*, 2006).

Para conocer la superficie de bosque nativo de la Provincia, se recurrió a las capas correspondientes al Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos (PINBN), otorgadas por la Dirección de Bosques (DB) de la Ex Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS). Esta cobertura contiene información relevada hasta el 2005, por la Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal, de dicha Dirección, la que lleva adelante la actualización y el registro de la pérdida de bosque nativo, hasta el año 2012.

Con el objetivo de mejorar la precisión del análisis y a fin de evitar distribuir los valores del IMA de biomasa de manera homogénea en cada estrato, se utilizaron las capas de cobertura arbórea de *Tree Cover*⁸, *Loss year* y *Gain*, elaboradas 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. Esta capa fue actualizada con la pérdida anual de cobertura arbórea, hasta el año 2012, mediante la capa *Loss year*; mientras que la regeneración del bosque (reclutamiento), en el mismo período, se incorporó con la capa *Gain*.

La superposición de la capa de bosques con la capa *Tree Cover* permite observar la existencia de cobertura arbórea, por fuera de las clases de bosque nativo, que se corresponde con superficies pequeñas de bosque inmersas dentro de una matriz agrícola o urbana, que también se tuvo en cuenta para el análisis. Los valores de IMA incluidos en el modelo son los presentados en el WISDOM Argentina (FAO, 2009), para cada una de las clases de cobertura de bosque consideradas (Cuadro 2).

A fin de evitar conflictos con otros usos maderables del bosque nativo, se dedujeron del mapa de

6. Determina áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad, según la Ley N.º 26 331 de Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos (Anexo I).

7. El valor IMA es el promedio anual del crecimiento (diámetro del fuste o biomasa) para una edad determinada. Se obtiene dividiendo el tamaño total acumulado por la edad.

8. La información de esta capa fue generada a partir de una colección de imágenes *Landsat*, del año 2000, realizada por el Departamento de Ciencias Geográficas de la Universidad de Maryland y la NASA (Hansen *et al.*, 2013). El producto deriva de las siete bandas de los satélites *Landsat-5 Thematic Mapper (TM)* y *Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)*.

Cuadro 2

Incremento medio anual de bosque nativo por provincia fitogeográfica.

Fuente

Adaptado en base a FAO (2009).

Provincia fitogeográfica	Categoría	IMA tn/año
Chaqueña	Tierras forestales	2,4
	Otras tierras forestales	0,6
Espinal	Caldén tipo parque	0,4
	Arbustales	0,3
	Caldén abierto con pastos	0,684
	Caldén abierto con arbustos	0,678
	Caldén cerrado	1,95
	Bosque de transición	1,00
	Formación de otras sp. arbóreas	0,80

IMA, los volúmenes correspondientes a las extracciones registradas por la Dirección de Bosques (ex SAyDS). A nivel provincial, la mayor parte de estos usos corresponde a la leña como principal producto obtenido. Solamente, en el departamento de Río Seco, el carbón representa una proporción significativa (Cuadro 3).

Finalmente, se redujo el valor de IMA aplicando un Factor de Fracción Dendroenergética, que contempla el porcentaje de la biomasa que se deja en campo, para que cumpla las funciones de protección de suelos, como una práctica de manejo sustentable. Se aplicaron dos valores, uno para formaciones densas (0,88) y otro para formaciones abiertas (0,83) (FAO, 2009).

Las distintas categorías se basaron principalmente en la cobertura de copas, continuidad y características fisonómicas. Se utilizó la clasificación propuesta por la FAO, mediante el FRA 2010 (Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales al año 2010), adaptada a las características y particularidades de la Argentina (Cuadro 17, en Anexo II).

El resultado de la estimación del potencial de IMA disponible de bosque nativo con fines energéticos, se presenta en el Mapa 1.

El IMA sustentable de biomasa leñosa disponible para usos energéticos proveniente de bosque nativo muestra que los mayores valores coinciden con la provincia fitogeográfica Chaqueña, que se extiende por el centro-oeste y norte provincial. El aporte de la provincia fitogeográfica del Espinal, que abarca la región centro-sur y sureste cordobesa, es marcadamente menor.

Ambas provincias fitogeográficas han sido fuertemente intervenidas por el hombre, debido al desarrollo de las áreas agroproductivas donde predominan los cultivos de soja, maíz, sorgo y pastizales naturales o artificiales destinados a la ganadería bovina extensiva, quedando remanentes de bosque chaqueño o parches aislados de bosque secundario.

Arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas

Con la premisa de hacer un análisis lo más inclusivo posible, y debido a que la cobertura de bosques otorgada por la Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal no contempla superficies con arbustales y pastizales, se recurrió al mapa de usos del suelo del INTA, del año 2009.

Cuadro 3

Extracción de productos forestales por departamento. Año 2012.

Fuente

Adaptado en base a Dirección de Bosques, ex SAyDS (2012).

Departamento	Producto	tn/año
Calamuchita	Leña	40
Capital	Leña	36
Cruz del Eje	Leña	3814
	Carbón	144
General Roca	Leña	360
Ischilín	Leña	6876
	Carbón	44
Minas	Leña	1152
Pocho	Leña	3046
	Carbón	6
Río Primero	Leña	272
	Carbón	30
Río Seco	Leña	598
	Carbón	248
San Alberto	Leña	1898
	Carbón	60
San Javier	Leña	118
San Justo	Leña	3
Sobremonte	Leña	4598
Tulumba	Leña	1293

Esta información permitió incorporar al análisis espacial otros usos y coberturas de suelo.

Las categorías consideradas por el INTA son: arbustal cerrado, arbustal abierto, pastizal cerrado, pastizal abierto y pastizal disperso. El tratamiento consistió en aplicar, de manera homogénea, el valor de IMA (FAO, 2009) en las categorías mencionadas (Cuadro 4). Se destaca que debido a la superposición de las capas se prioriza a la capa de bosque nativo (mayor resolución) por sobre la de usos del suelo del INTA.

También se incluyó en este análisis la cobertura arbórea que no fue considerada en la capa de bosque nativo de la ex SAyDS. Ésta se corresponde con superficies pequeñas de bosque inmersas dentro de una matriz agrícola o urbana, como pueden ser cortinas forestales, cascotes rurales o pequeños parches dispersos de bosque nativo. Para registrar estas coberturas se utilizó la capa Tree Cover, donde se puede observar la existencia de cobertura arbórea por fuera de las clases de bosque nativo (ex SAyDS).

El análisis de aquellas zonas donde existe cobertura arbórea se hace igual que en el apartado de bosque nativo, con la única salvedad de que el IMA está asignado según las provincias fitogeográficas (Cuadro 5).

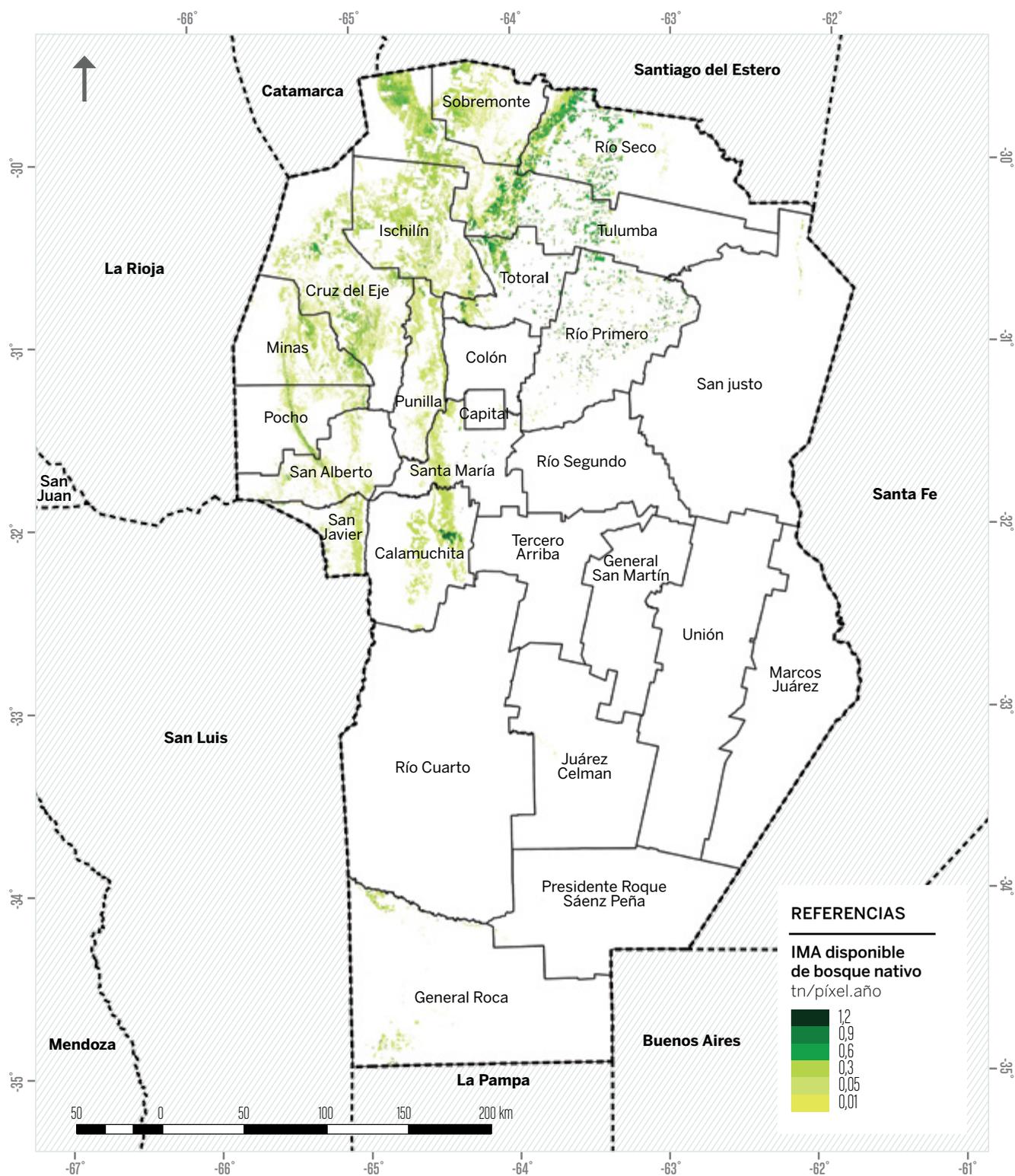
En el Mapa 2, se representa la oferta de biomasa estimada de arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas. La distribución de estas formaciones presenta dos patrones espaciales diferentes. En el sector serrano y hacia el oeste de la Provincia, los pastizales de altura (lloronaes) se presentan como un continuo con valores bajos de IMA; mientras que hacia el este de las Sierras Pampeanas y en toda la Pampa húmeda y subhúmeda, el patrón espacial es de pequeños parches dispersos, con valores altos de IMA, denotando la presencia de formaciones arbóreas siguiendo los cursos y cuerpos de agua. Los departamentos que presentan los mayores valores de IMA son aquellos que comprenden valles inter-serranos en los departamentos de Punilla, Calamuchita, sur de Cruz del Eje, Pocho y San Alberto.

5.2.2 Cultivos**Forestaciones**

Las actividades de poda, despunte y raleo y los residuos de cosecha de las plantaciones forestales representan una oferta importante de biomasa potencialmente utilizable con fines energéticos. Para la determinación del volumen del rodal es necesario conocer su ubicación, superficie y otros atributos, tales como edad, especie, densidad y, si es posible, diámetro cuadrático medio. Para determinar la ubicación y superficie de esta fuente biomásica, se utilizó la información espacial brindada por

Mapa 1. Oferta directa de bosque nativo.

Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor; Denaday, Francisco; Escartín, Celina; Parodi, Guillermo, FAO, 2016.



la Dirección de Producción Forestal (DPF), perteneciente al ex Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (ex MAGyP).

En la Provincia de Córdoba, se contabilizaron 30 especies forestales pertenecientes a 16 géneros, en un total de 5 440 ha implantadas, en el año 2014. El pino (*Pinus spp.*) cubre el 62 % del total de la superficie forestada, seguido por plantaciones plurigenéricas que alcanzan el 20 %. En el Cuadro 6, se muestra la superficie forestada, discriminada por género e identificada a partir de la información suministrada por la DPF, para la Provincia.

Para el cálculo de oferta de biomasa a partir del aprovechamiento forestal, se empleó un valor de IMA de 7,11 tn/ha x año, para eucaliptus; de 1,84 tn/ha x año, para *Pinus* y otras coníferas; y de 8,07 tn/ha x año, para otras especies latifoliadas (FAO, 2009).

Cuadro 4

Incremento medio anual, según categoría de uso/cobertura del suelo.

Fuente

Adaptado en base a FAO (2009).

Descripción	IMA (tn/ha x año)
Arbustal cerrado	0,4
Arbustal abierto	0,3
Pastizal cerrado	0,2
Pastizal abierto	0,1
Pastizal disperso	0,05

Cuadro 5

Incremento medio anual arbóreo por provincia fitogeográfica.

Fuente

FAO (2009).

Provincia fitogeográfica	IMA (tn/ha.año)
Espinal	0,5
Chaqueña	0,6

En relación a la información espacial, se utilizó la capa de información geográfica de plantaciones forestales, generada por la Secretaría de Ambiente y Cambio Climático, del Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos de la Provincia de Córdoba. Esta capa fue elaborada en el período 2006/2009, a partir de imágenes satelitales y por la carga de expedientes, correspondientes a promoción forestal en el período citado.

Asimismo, se incorporó al modelo una capa de plantaciones de coníferas digitalizada sobre *Google Earth*, a la que se le asignó el mismo valor de IMA del *Pinus* y otras coníferas. Esta capa se incorporó al modelo de manera que resulte complementaria a la proporcionada por la DPF. La superficie total forestada, caracterizada a partir de las capas de información, ascendió a 39 164 ha. Los resultados de este análisis espacial indican que el sector forestal de la Provincia podría realizar un aporte potencial de 27 567 tn/año de recursos biomásicos con fines energéticos. Esta contribución está representada por los compartimientos que aportan biomasa sin destino maderero, como la corteza, las ramas menores a 5 cm de diámetro (incluyendo despuntes) y los frutos. La biomasa foliar no fue considerada porque contiene gran porcentaje de nutrientes y se recomienda dejarla en campo, para favorecer el ciclo de nutrientes y materia orgánica.

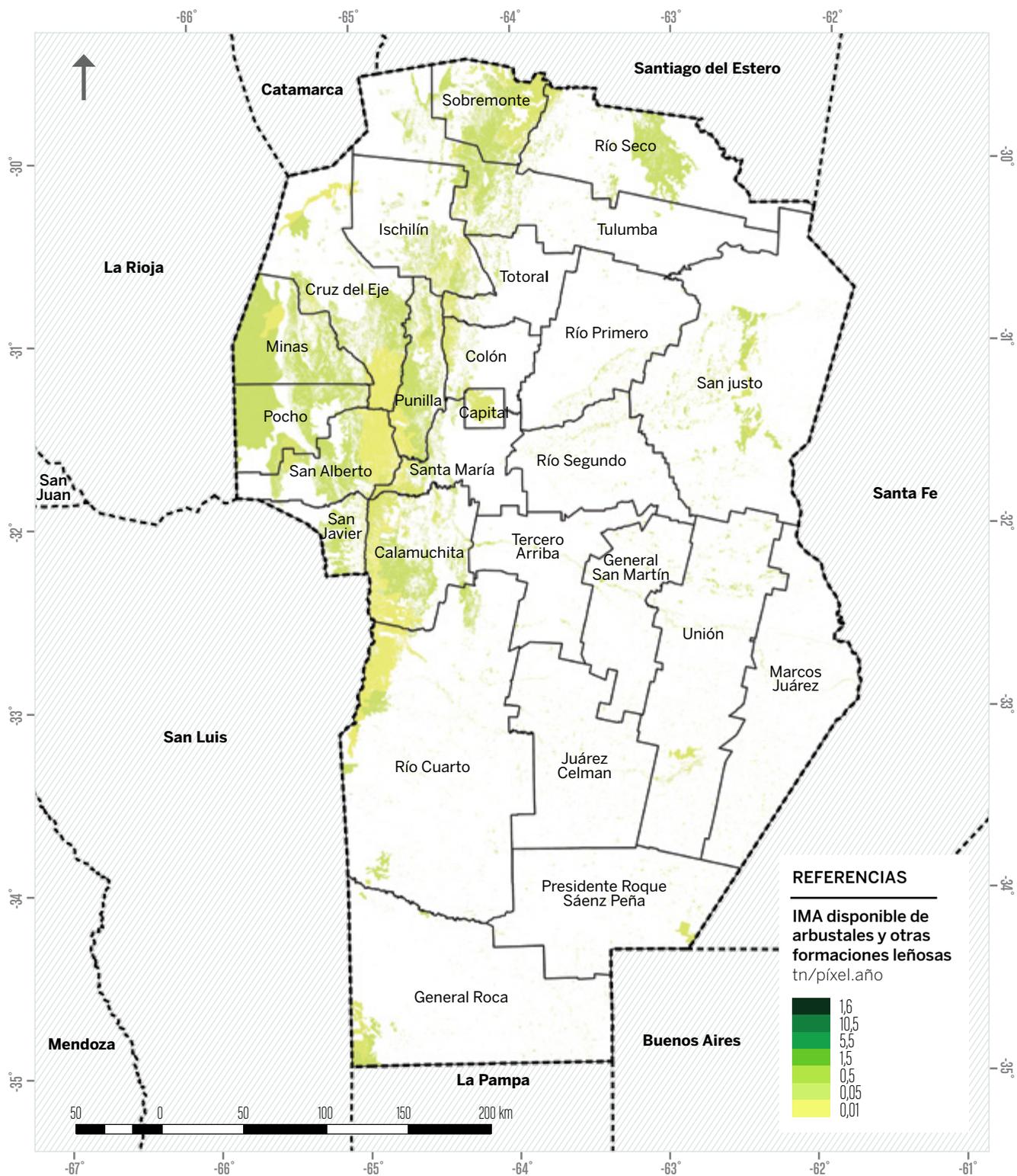
Olivos

La Argentina es el décimo productor mundial de aceitunas en conserva y el undécimo de aceites de oliva, ocupando el primer lugar en el continente americano. La producción nacional representa, aproximadamente, el 5 % del total mundial.

En la Provincia de Córdoba, la superficie cultivada alcanza las 5 000 hectáreas, representando cerca del 6 % del total nacional. En general, se trata de plantaciones antiguas, de más de 30 años de edad, cuya producción se destina a conservas en salmuera y aceites de oliva orgánicos, ya que el 60 % de esta cadena de valor, en la Provincia, se encuentra bajo certificación orgánica. Las principales variedades implantadas se destinan, en un 70 %, a la producción de aceites de oliva (Arbequina y Frantoio) y, el 30 % restante, a conservas

Mapa 2. Oferta directa de arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas.

Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibíd.*



(Manzanilla, Arauco, Nevadillo, entre otros). En las inmediaciones de la localidad de Cruz del Eje, en el departamento homónimo, se concentra la mayor actividad olivícola provincial.

La importancia bionenergética del cultivo del olivo, a los efectos de este análisis, radica en el potencial uso de la biomasa residual de la actividad de poda. En este sentido, el valor del residuo de poda del olivo considerado en el análisis fue de 2,5 tn/ha x año (FAO, 2009; Skolou y Zabanitou, 2007).

La distribución espacial del cultivo de olivos corresponde a capas digitalizadas por el proyecto, a partir de la interpretación visual de las imágenes de alta resolución espacial disponibles en *Google Earth* (Mapa 5). La superficie total comprendida en los polígonos que pudieron ser identificados a partir de la aplicación de la metodología mencionada alcanzó las 2 279 ha.

Los resultados del análisis arrojaron una estimación de 5 697,5 tn/año de residuos provenientes de los cultivos de olivos. El departamento de Cruz del Eje, con 3 803,4 tn/año, representa al 66,75 % del total provincial y es la unidad administrativa

con los valores más altos de producción de biomasa. Asimismo, tanto el departamento de Cruz del Eje como las zonas cercanas a su límite, en el departamento Ischilín, presentan buena potencialidad para la radicación de proyectos tendientes a aprovechar el potencial energético de los residuos biomásicos del cultivo del olivo.

Algodón

A partir de referencias locales, se pudo conocer que, al menos hasta el 2013, se verificaba el cultivo de algodón en las inmediaciones de la localidad de Cruz del Eje, en un solo polígono de 120 ha. Al momento de este análisis no se dispone de otra información espacial.

Se consideró que la biomasa potencialmente obtenible del cultivo del algodón asciende a 2,5 tn/ha x año (FAO, 2009).

Síntesis de oferta directa de cultivos

De acuerdo a lo descrito más arriba, se integraron los resultados de las estimaciones de residuos pasibles de aprovechamiento energético correspondiente a forestaciones y a los cultivos de olivos y algodón. En el Mapa 3, se puede observar que los mayores valores de biomasa disponible a partir de cultivos se concentran donde tiene lugar la actividad olivícola, en los departamentos de Cruz del Eje e Ischilín. El valor máximo por píxel obtenido de este análisis corresponde a 0,4 tn/píxel x año.

También se destaca el sector centro-oeste de la Provincia (departamentos de Calamuchita, Punilla y el sector oeste de Santa María), en el aporte que potencialmente ofrecen las forestaciones. En el departamento de Cruz del Eje y en las inmediaciones de Ischilín, se concentran la mayor parte de la superficie cultivada con olivos y es donde se verifican antecedentes de cultivos de algodón, aunque con muy escasa relevancia según la información recopilada hasta el presente.

Oferta directa total

La integración aditiva de la oferta de biomasa estimada de cultivos, bosque nativo, arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas, se muestra en el Mapa 4.

Cuadro 6

Géneros implantados y superficie ocupada en la Provincia de Córdoba.

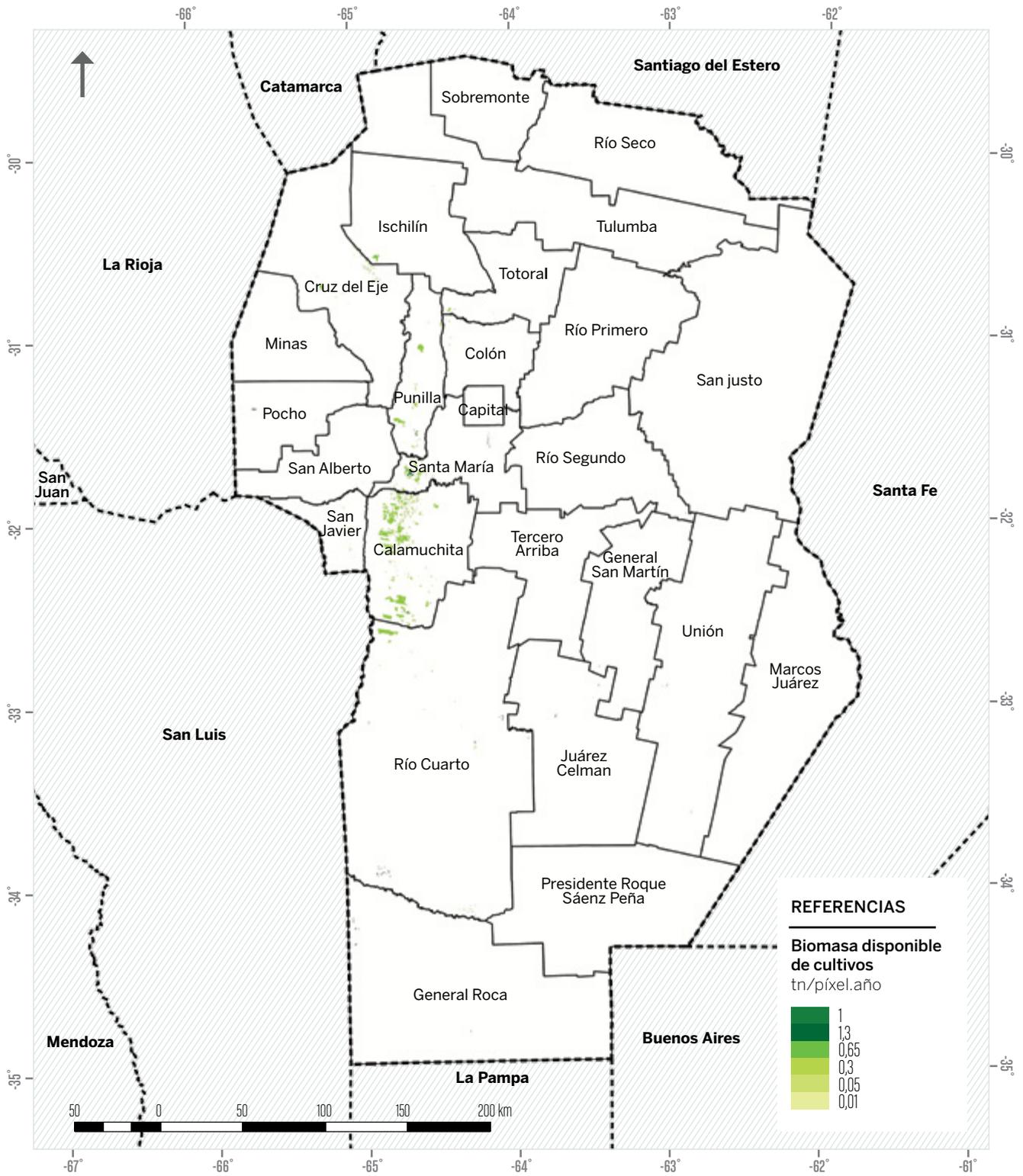
Fuente

Adaptado en base a Dirección de Producción Forestal.

Género	Superficie (ha)
<i>Pinus</i>	3 412,4
<i>Populus</i>	674,3
<i>Prosopis</i>	143,5
<i>Eucalyptus</i>	47,4
Mixtos	1 051,9
Otros	86,5
Total	5 439,4

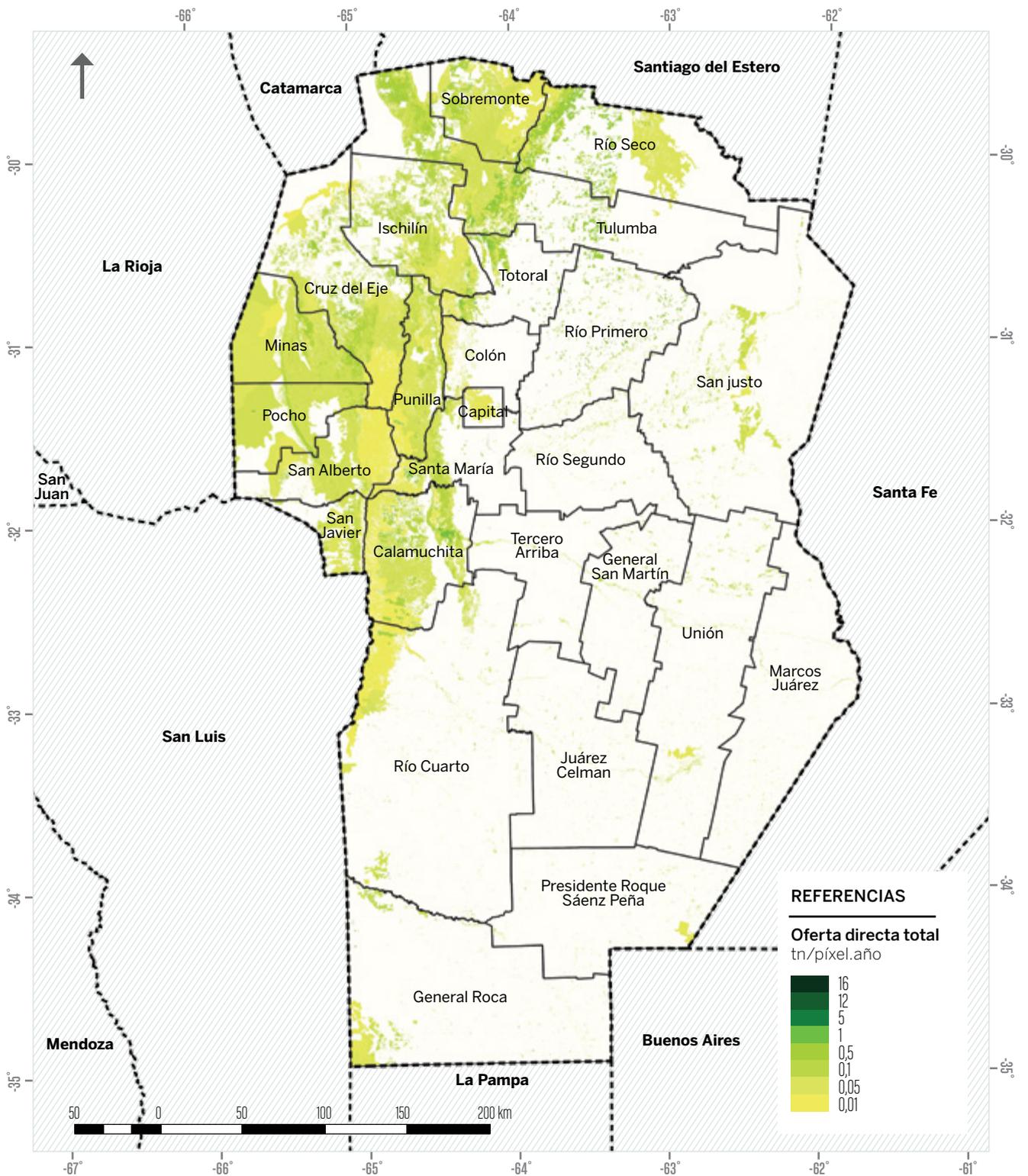
Mapa 3. Oferta directa de biomasa a partir de cultivos.

Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibíd.*



Mapa 4. Oferta directa total.

Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibíd.*



La mayor oferta potencial de biomasa la aportarían los bosques nativos y las cortinas forestales, en la provincia fitogeográfica Chaqueña. Los arbustales y pastizales presentan valores de oferta directa de intermedios a bajos, mientras que en la zona de la Pampa Subhúmeda y Húmeda, donde predominan las actividades agropecuarias extensivas, la disponibilidad de biomasa es menor o directamente nula.

5.2.I. 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 vía 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 las forestaciones, los cultivos de algodón y olivo, el bosque nativo y los arbustales y pastizales, dado que estos recursos se encuentran distribuidos en el territorio. El desplazamiento entre dos puntos del espacio implica una fricción que puede expresarse en términos de costos económicos y energéticos (combustible, mano de obra) y de tiempo de traslado, en función de la distancia y pendientes que separan a estos puntos.

La accesibilidad física es un parámetro espacial que define la posibilidad de acceder a un determinado recurso biomásico, en 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 incorporaron al análisis las capas de las redes vial y ferroviaria y de los centros poblados (con sus respectivas ponderaciones), en función del Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés). En este caso, el costo expresa la resistencia a la posibilidad de desplazamiento ofrecida por el medio físico en un punto concreto. Las superficies de fricción contienen valores de costo, que expresan la resistencia que presenta una celda a ser recorrida.

Por esta razón, se creó un mapa de accesibilidad que contempla los factores mencionados en relación con el mapa de fricción. A diferencia del

WISDOM Argentina, donde se divide en 20 categorías discretas la accesibilidad (de 100 % accesible, 95 % accesible, 90 % hasta 0), en el análisis espacial realizado con *Dinamica EGO*, no se categorizó el mapa de costo acumulado sino que se realizó usando valores continuos. Así, un píxel 58,7 % accesible, tendrá un 58,7 % de su IMA potencial utilizable con fines bioenergéticos.

En este análisis espacial, se aplicó una función exponencial para calcular el costo acumulado para llegar a un determinado píxel, a diferencia de la función lineal utilizada en el WISDOM Argentina (FAO, 2009). Con esta función exponencial, los píxeles experimentan un rápido incremento del costo acumulado a medida que se alejan del "lugar de origen", sea éste una red vial o ferroviaria o centro poblado. En otras palabras, los píxeles muy accesibles conservarían una fracción significativa de su IMA, mientras que los píxeles medianamente accesibles o poco accesibles tendrían bajo IMA disponible para utilizar.

5.2.I.a Red vial

El análisis de la red vial se realizó empleando la capa vectorial correspondiente al SIG250 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La misma fue codificada en base a bibliografía específica sobre relaciones entre el tipo de calzada y la dificultad de desplazamiento (Banco Mundial, 1995). De este modo, para realizar el análisis espacial se ponderó la accesibilidad en función de las características de la red vial y, considerando los atributos de la capa, se asignaron cuatro coeficientes tal como se detalla en el Cuadro 7.

5.2.I.b Ferrocarriles

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

5.2.I.c Ejidos urbanos

La capa de centros poblados urbanos se generó a partir de los radios censales de tipo "urbano" del CNPhyV, del 2010 (INDEC, 2010). En el análisis

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

5.2.I.d Parajes rurales

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

5.2.I.e Pendiente del terreno

Se creó un mosaico a partir de 28 escenas, correspondientes al Modelo Digital de Elevaciones (DEM), provistas por el IGN. El DEM fue utilizado como insumo para calcular un mapa de pendientes (mapa de fricción o impedancia), que sirvió para calcular el costo acumulado de una variable en el espacio (red vial, ferrocarriles, ejidos urbanos y parajes rurales).

En el Mapa 5, se observa que la llanura central y oriental de la Provincia, donde se encuentran los principales centros urbanos y la mayor densidad de rutas pavimentadas, presenta niveles altos de accesibilidad. En esta zona, no se exhiben mayores restricciones derivadas de la accesibilidad física a

los recursos biomásicos de acuerdo a los criterios tomados en consideración.

Los alrededores de la ciudad de Córdoba, flanqueados por un eje orográfico de orientación norte-sur conformado por las Sierras Pampeana orientales (Sierras Chicas), presentan una accesibilidad del 100 %. Hacia el oeste de dicho eje, los niveles de accesibilidad disminuyen en virtud del predominio de fuertes pendientes y una baja densidad de centros poblados y de vías de comunicación.

En los valles serranos y en la planicie del sur provincial, se presentan valores de máxima accesibilidad, coincidentes con la presencia de infraestructura vial y centros poblados.

5.2.II Accesibilidad legal

Este es un parámetro espacial que define la accesibilidad a un determinado recurso biomásico, en relación a las restricciones legales a las que están sujetos su aprovechamiento y su gestión comercial. Estas restricciones están impuestas sobre las áreas protegidas para la conservación de la naturaleza, tal como fue considerado en el WISDOM Argentina (FAO, 2009). Adicionalmente, en el desarrollo del WISDOM provincial se incluyó el OTBN. En este sentido, el mapa de "accesibilidad legal" correspondiente a la disponibilidad de los recursos

Cuadro 7

Coeficientes por tipo de red vial.

Fuente

Adaptado en base a Banco Mundial (1995).

Red vial		
Tipo	Clase	Coeficiente
Todos	Pavimentado	1
Todos	Consolidado	0,72
Rutas	Todas las que no sean pavimentadas o consolidadas	0,72
Camino	Tierra	0,46
Huella, senda o picada	Todos	0,36

biomásicos se constituyó integrando las distintas categorías de las áreas protegidas y del OTBN, con sus respectivas ponderaciones.

5.2.II.a Ordenamiento territorial de los bosques nativos

Según la Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos N.º 26331/07, se establece la necesidad de realizar el ordenamiento territorial de los bosques nativos. En este ordenamiento se definen tres categorías de conservación de la biodiversidad (Anexo I).

En este sentido, se siguieron las categorías del OTBN de la Provincia asignándoles ponderaciones de accesibilidad presentadas en el Cuadro 8. La información sobre esta capa provincial fue otorgada por la ex Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

La Categoría Rojo, que circunscribe sectores de muy alto valor de conservación que no pueden transformarse, ha sido restringida totalmente en el análisis espacial. Por ello, se considera nula la oferta de biomasa (a partir de su IMA) en ese sector. En cuanto a la Categoría Amarillo, debido a que admite un aprovechamiento sostenible del recurso, se le asignó una disponibilidad del 40 % del IMA. Por último, vale señalar que la Provincia de Córdoba no dispone de Categoría Verde en su OTBN. Esto quiere decir que todos los bosques nativos son objeto de preservación. Por lo tanto, se les asignó una dispo-

nibilidad del 100 % de accesibilidad legal a las áreas que no están comprendidas en la capa del OTBN.

Es necesario resaltar que para hacer un aprovechamiento del bosque nativo en áreas definida como Amarillo debe contarse con un plan de manejo forestal aprobado por la autoridad local de aplicación.

5.2.II.b Áreas protegidas

Para generar la capa de restricción legal correspondiente a las áreas protegidas, se utilizó la capa de áreas protegidas provista por la Provincia, y se complementó con la capa brindada por la ex SAYDS. Considerando el tipo de área protegida y de gestión, se asignaron los valores del Cuadro 9.

Se agregó a la capa de áreas protegidas, la capa de cursos y cuerpos de agua, debido a que también son objeto de preservación según normativas locales. Dicha capa se generó a partir de los cursos de agua del SIG205 (IGN), aplicando una restricción total al recurso (ponderación igual a 0).

A partir de los insumos mencionados, se elaboró el mapa de accesibilidad legal, que muestra el acceso a los recursos biomásicos disponibles en la Provincia de Córdoba de acuerdo con las restricciones normativas.

En el Mapa 6, se observa que una buena parte de los recursos biomásicos del sector de las Sierras Pampeanas, que corresponden al Parque Chaqueño Serrano, no pueden ser aprovechados legalmente ya que están incluidos dentro de la Categoría Rojo del OTBN. Varias de las áreas naturales protegidas también se ubican en esta región y presentan una restricción total respecto al aprovechamiento de biomasa con fines energéticos. Los faldeos, de los sistemas orográficos mencionados, cuentan con posibilidades de aprovechamiento sostenible, siempre y cuando hayan sido aprobados sus respectivos planes de manejo.

Otra de las áreas con accesibilidad restringida es el humedal que rodea a la laguna Mar Chiquita, ubicada en el noreste provincial, categorizado por niveles de restricción altos (Categoría Rojo) de acuerdo a su importancia en la conservación de la biodiversidad. Asimismo, se pueden observar las restricciones totales sobre las márgenes de los

Cuadro 8

Coefficientes de restricción según categorías del OTBN.

Fuente

Los cuadros que no consignan fuente fueron elaborados por los autores.

Categoría	Coefficiente
Rojo	0
Amarillo	0,40
Verde	1

cursos de agua y, por lo tanto, no pueden ser sujetos de explotación.

5.2.III Accesibilidad total

A partir de la conjunción de las restricciones físicas y legales, se superpusieron los coeficientes dejando el de mayor restricción a efectos de construir el mapa de accesibilidad total en el que estuvieran todas las limitaciones. En este sentido, las áreas no restringidas por ninguno de estos 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.

La accesibilidad física estimada (Mapa 5) resulta restringida al integrarla con la accesibilidad legal (Mapa 6). En las llanuras oriental y central, no se exhiben mayores restricciones de accesibilidad total a los recursos biomásicos para su aprovechamiento energético (Mapa 7). La presencia de una densa red de infraestructura vial pavimentada y de centros poblados permite que los niveles de accesibilidad se encuentren siempre por encima del 70 %, a excep-

ción del área correspondiente a la llanura cenagosa de la laguna Mar Chiquita y de sectores lagunares y ambientes de bañados en el sur provincial.

La mayor parte del área montañosa de la Provincia se ve afectada tanto por áreas incluidas en la categoría máxima de restricción del OTBN, áreas naturales protegidas, una limitada red de infraestructura vial y baja densidad de centros poblados. Por ello, los niveles de accesibilidad, tanto legal como física, se encuentran en gran parte con valores cercanos a cero.

Síntesis de la oferta directa accesible

La oferta directa total estimada se recalculó en función de la accesibilidad total. El resultado se muestra en el Mapa 8, donde se observa una reducción de la disponibilidad de biomasa con fines energéticos en los cultivos analizados y las formaciones nativas, al ser puesta en relación con las condiciones de accesibilidad.

La porción central de la Provincia posee buenas condiciones de conectividad, cercanía a centros urbanos y escasa pendiente, por lo que la produc-

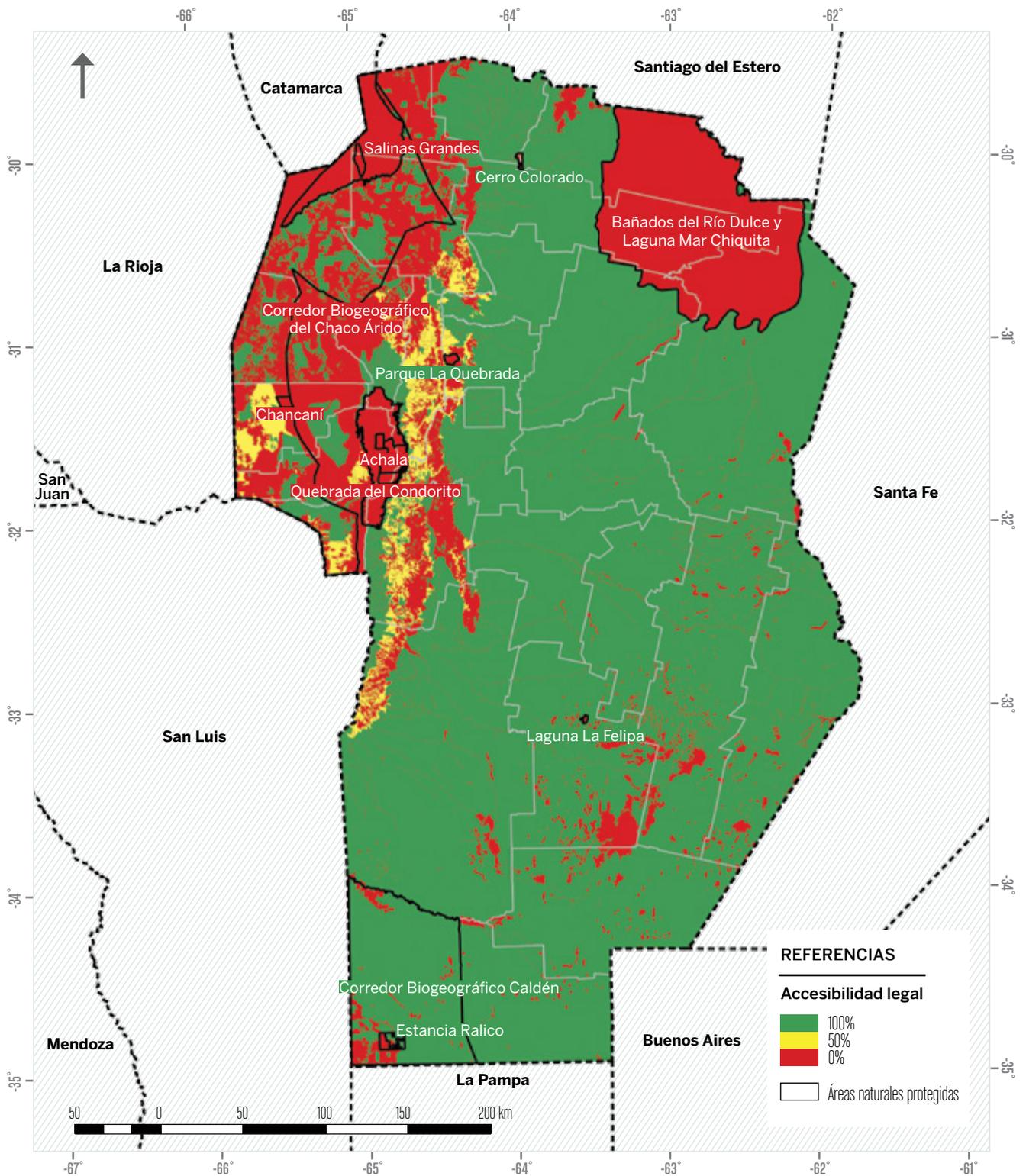
Cuadro 9

Ponderación asignada a cada área natural protegida.

Tipo	Nombre	Ponderación
Corredor Biogeográfico	Del Caldén	1,0
	Del Chaco Árido	
Parque Provincial	Monte de las Barrancas	0,0
	Cerro Colorado	
	Bañados del río Dulce y laguna de Mar Chiquita	
Parque Nacional	Quebrada del Condorito	0,0
Reserva Natural Provincial	Laguna La Felipa	0,0
	Pampa de Achala	
	Parque La Quebrada	
	Estancia Ralico	

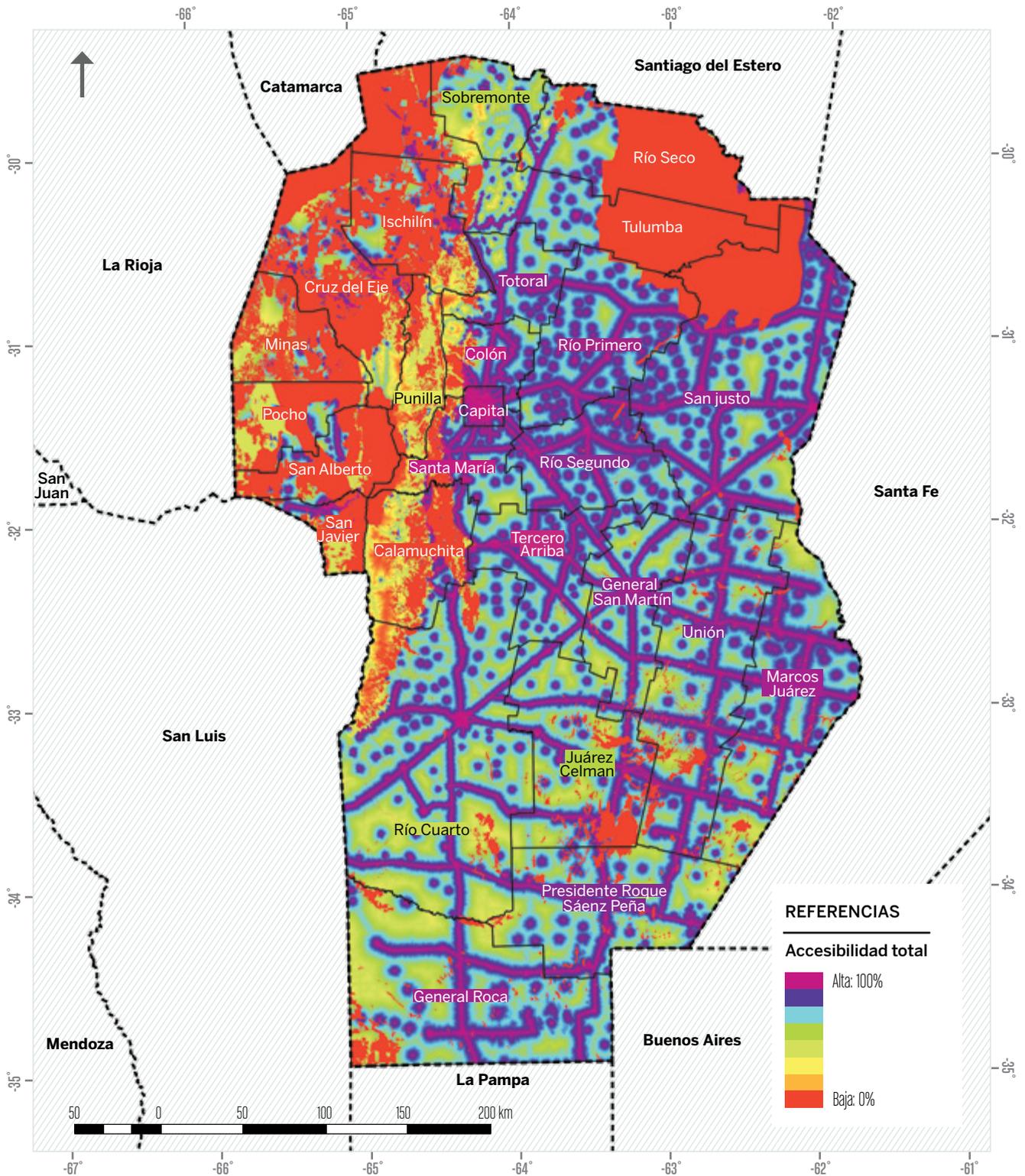
Mapa 6. Accesibilidad legal.

Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibíd.*



Mapa 7. Accesibilidad total.

Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibíd.*



ción de cultivos que presenta, se sintetiza en elevados niveles de oferta accesible a los recursos de biomasa. En tanto, las restricciones físicas y legales generan zonas de baja accesibilidad, especialmente en el oeste provincial. Estas zonas se encuentran alejadas de los centros urbanos y poseen una orografía compleja, no obstante, el factor restrictivo principal, es que gran parte de ese territorio pertenece a la Categoría Rojo del OTBN.

La biomasa posible de aprovechar a partir de formaciones nativas es la que más contribuye en el total de oferta directa accesible calculado (94,73 %). Dentro de esta magnitud, el aporte del bosque nativo es ampliamente superior al de los arbustales, pastizales y otros usos del suelo. El aporte que podrían realizar los cultivos es exiguo en relación al total potencial, no obstante, son importantes sus contribuciones a nivel local-regional. Los departamentos que presentan los mayores valores de oferta directa accesible se ubican en el centro-norte provincial, destacándose Tulumba, Río Seco, Sobremonte y Río Primero Cuadro 10, Mapa 8.

5.3 Módulo de oferta indirecta

Se entiende por oferta indirecta a la biomasa que resulta de un proceso de transformación industrial. Este residuo o subproducto, a diferencia de la biomasa considerada como oferta directa, se encuentra concentrado espacialmente. En la Provincia de Córdoba, la oferta indirecta está determinada por los subproductos como la cáscara de maní, que se genera en la industria procesadora respectiva; los residuos de la foresto-industria, como costaneros, despuntes, virutas, aserrín, corteza y astillas; y los resultantes de las tareas de secado, acopio y elaboración de conservas de frutas y hortalizas, entre otras. El objetivo de este módulo es evaluar la disponibilidad de biomasa para producción de energía, a partir de la información disponible de las actividades productivas mencionadas. Esta oferta indirecta no es filtrada por los mapas de accesibilidad, ya que se presupone 100 % accesible.

Vale aclarar que, si bien la poda del arbolado urbano y los residuos de limpieza de jardín se distribuyen espacialmente en todo el amanzanado del casco urbano, han sido considerados como oferta

indirecta debido a que son objeto de una recolección sistemática y de una disposición final en un lugar determinado.

5.3.1 Procesamiento de maní

En Córdoba, la industria procesadora de maní se concentra mayormente en la parte central de la Provincia, en los departamentos de Juárez Celman y General San Martín, coincidiendo geográficamente con la zona productiva de este cultivo.

Para el estudio realizado, se contó con una capa de información espacial con la geolocalización de las plantas industriales que procesan el maní y realizan el descascarado del geocarpo. Esta capa recaba en su base de datos las toneladas de residuos generados por cada planta industrial por año, por lo cual estos valores fueron rasterizados e incorporados directamente al modelo de oferta indirecta.

El origen de esta capa es el análisis WISDOM realizado a nivel nacional en 2009 (FAO, 2009), el cual daba cuenta de la existencia de 18 plantas procesadoras, con una capacidad de procesamiento conjunto que, en su máximo potencial, podría generar hasta 180 000 tn/año de residuos disponibles para su uso bioenergético.

5.3.2 Poda de arbolado urbano y residuos de jardín

Los gobiernos municipales de las ciudades de Córdoba, Villa María y Alta Gracia, en conjunto con Cormecor SA (Corporación Intercomunal para la Gestión Sustentable de los Residuos Sólidos Urbanos del Área Metropolitana de Córdoba), facilitaron los datos de residuos biomásicos totales que anualmente recolectan en virtud de las actividades de poda y escamonda del arbolado urbano y del mantenimiento de plazas y jardines.

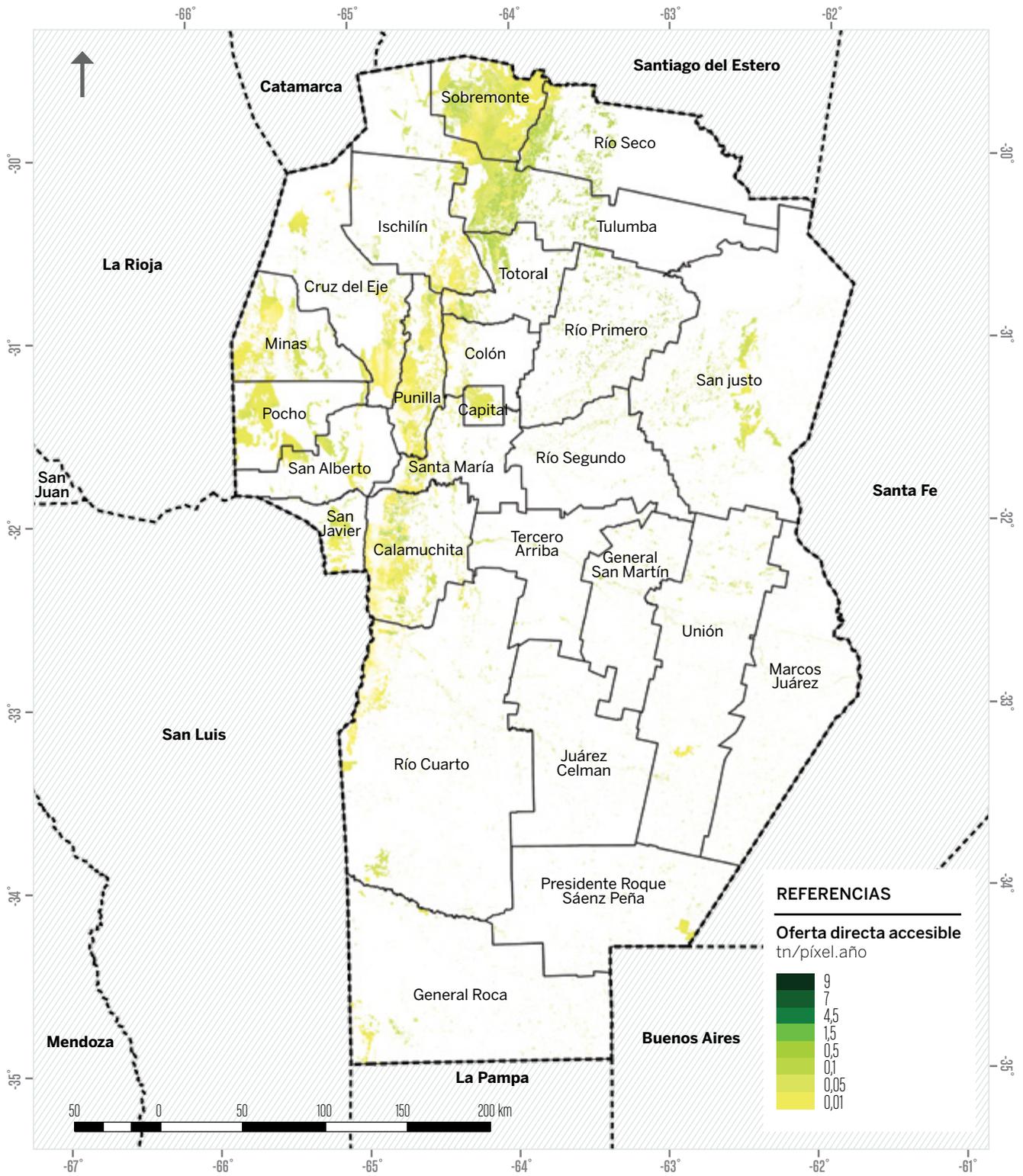
La recolección y procesamiento de este tipo de subproducto biomásico es ampliamente preponderante en la ciudad capital de Córdoba, la cual concentra más del 90 % del total de este tipo de residuo.

5.3.3 Forestoindustria

El Ministerio de Agroindustria, a través del Área de Extensión Forestal de la Oficina Regional Cór-

Mapa 8. Oferta directa accesible.

Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibíd.*



Cuadro 10

Oferta directa accesible por fuente y departamento.

Departamento	Oferta directa accesible (tn/año)					Totales por departamento (tn/año)
	Formaciones nativas		Cultivos			
	Bosque nativo	Arbustales, pastizales y otros usos	Plantaciones forestales	Cultivo de olivo	Cultivo de algodón	
Calamuchita	591,3	9 241,40	16 479,12	0	0	26 311,82
Capital	162,9	4 577,80	0,00	0	0	4 740,70
Colón	0	2 568,80	109,94	0	0	2 678,74
Cruz del Eje	3 896,70	8 275,00	0,00	3 089,90	220	15 481,60
General Roca	1 883,00	6 307,50	710,33	0	0	8 900,83
General San Martín	0	3 603,90	33,73	0	0	3 637,63
Ischilín	5 538,50	6 258,40	0,00	1 638,10	0	13 435,00
Juárez Celman	114,5	3 634,10	118,07	0	0	3 866,67
Marcos Juárez	0	3 804,00	0,00	0	0	3 804,00
Minas	938,5	15 296,40	0,00	0	0	16 234,90
Pocho	1 506,70	11 482,10	423,20	0	0	13 412,00
Presidente Roque Sáenz Peña	62,9	5 007,10	0,00	0	0	5 070,00
Punilla	3 269,50	8 187,80	1 760,38	0	0	13 217,68
Río Cuarto	0	11 363,70	3 334,54	0	0	14 698,24
Río Primero	56 813,60	4 165,20	0,00	0	0	60 978,80
Río Seco	89 334,30	6 043,30	0,00	0	0	95 377,60
Río Segundo	0	4 570,00	85,50	0	0	4 655,50
San Alberto	869,2	7 331,40	0,00	6,8	0	8 207,40
San Javier	1 382,00	4 623,60	0,00	423,3	0	6 428,90
San Justo	101,7	23 664,90	0,00	0	0	23 766,60
Santa María	4 152,30	2 373,40	4 067,28	0	0	10 592,98
Sobremonte	32 013,40	33 707,10	1,87	0	0	65 722,37
Tercero Arriba	0	2 650,60	0,00	0	0	2 650,60
Totoral	53 730,00	3 551,80	321,74	0	0	57 603,54
Tulumba	114 788,2	19 547,60	0,00	0	0	134 335,80
Unión	0	8 999,90	121,88	0	0	9 121,78
Totales	371 149,20	220 836,70	27 567,57	5 158,10	220	624 931,67
Aporte relativo (%)	59,39	35,34	4,40	0,83	0,04	100

do, ha facilitado un listado de establecimientos forestoindustriales de la Provincia que realizan la primera transformación. Se trata de aserraderos, que parten de los rollizos obtenidos a campo y realizan el primer aserrado para producir tablas, tirantes y, eventualmente, hacen algún agregado de valor, llegando a productos como machimbres, tableros y vigas de listones, tarimas, etc.

En la base de datos asociada consta la ubicación y el nivel de actividad, las especies de árboles aserrados y el estimado de subproducto forestal verde en toneladas, que se puede obtener en forma de aserrín, viruta, costaneros, chips y corteza y que, en líneas generales, se estima en un mínimo del 50 % del total de madera procesada. El listado cuenta con un total de 36 establecimientos forestoindustriales, de los cuales en el presente se hallan en actividad 21, que se ubican mayormente en el departamento de Calamuchita (48 % de la biomasa total), seguido por los departamentos de Río Cuarto y Santa María.

5.3.4 Desmote de algodón

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

De acuerdo con el Anuario 2015, de J.J. Hinrichsen S.A., en la Provincia de Córdoba existe la desmontadora Cooperativa La Regional, ubicada en el departamento de Cruz del Eje. Si bien el listado consigna otra desmotadora, esta no se encuentra operativa (Senderos del Norte).

En base a la estimación realizada en el WISDOM Argentina, se consideró que el 13 % de la materia prima ingresada permanece como residuo (FAO, 2009). De esta manera, a partir de la capacidad nominal anual se derivó la proporción de biomasa remanente, la cual asciende a 780 tn/año (Cesca *et al.*, 1997).

Síntesis de la oferta indirecta

En Córdoba, la oferta indirecta se concentra en la cáscara de maní y el residuo de la industria procesadora de maní y en los residuos de poda, escomoda y limpieza de plazas y jardines (Cuadro 11).

Entre ambas fuentes explican más del 85 % del recurso potencial disponible evaluado.

5.4 Módulo de demanda

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

Históricamente, en el sector doméstico se utilizó la biomasa con fines energéticos para hacer frente a las condiciones climáticas, cocinar los alimentos, calentar agua e iluminar.

Con respecto al sector industrial, los recursos biomásicos han tenido diversas finalidades de acuerdo a la actividad productiva desarrollada. Particularmente, en la Provincia de Córdoba, se han aprovechado los residuos del sector agrícola y forestal y de sus correspondientes cadenas de transformación.

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

El consumo de biomasa en el sector público se encuentra representado por las escuelas rurales, que utilizan leña para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos del comedor escolar.

5.4.1 Demanda residencial

En el sector residencial, los usos finales de la biomasa como combustible se corresponden con la cocción de alimentos, provisión de agua caliente para uso sanitario, calefacción y, en menor medida, iluminación. La biomasa constituye, desde tiempos precolombinos, un combustible esencial en la vida cotidiana de los pobladores (Cortellezzi y Karake, 2009).

Cuadro 11

Oferta indirecta por fuente y departamento.

Departamento	Oferta Indirecta (tn/año)				Totales por departamento (tn/año)
	Industria procesadora del maní	Poda y residuos de jardín	Foresto-industria	Desmote de algodón	
Calamuchita	0	0	26 180	0	26 180
Capital	0	14 1911	0	0	141 911
Cruz del Eje	0	0	0	780	720
General San Martín	57 604	6 934	0	0	64 538
Juárez Celman	104 406	0	0	0	104 406
Río Cuarto	0	0	15 180	0	15 180
Río Segundo	7 200	0	0	0	7 200
Santa María	0	7 800	13 455	0	21 255
Tercero Arriba	10 801	0	0	0	10 801
Totales	180 011	156 645	54 815	780	392 251
Aporte relativo (%)	45,8	40	14	0,2	100

En el análisis del consumo residencial, a cada radio censal de tipo "urbano" y a los centros poblados del BAHRA, de la Provincia de Córdoba, se le asignó el dato de cantidad de habitantes que viven en hogares que emplean leña o carbón vegetal como combustible principal para cocinar, según el CNPHyV de 2010. De acuerdo a los datos proporcionados por esta fuente, unas 21 097 personas utilizan este recurso para cocinar.

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

Como resultado de estas estimaciones, se registró una demanda de 15 822,75 toneladas anuales de leña y carbón, que equivalen al 15,55 % del total de la demanda de biomasa.

5.4.2 Demanda escuelas rurales

Existen escuelas rurales que, durante el ciclo lectivo, consumen leña para la elaboración de alimentos. Desde el Programa Mapa Educativo Nacional, del Ministerio de Educación de la Nación, se ejecutó un Relevamiento de Escuelas Rurales (RER) donde se consultó a cada establecimiento, cuál era el combustible utilizado para cocinar.

El Programa brindó los datos de ubicación de las escuelas rurales y la cantidad de alumnos, entre 2008 y 2012. Así, se asignó a cada escuela la matrícula por año y se calculó el promedio de alumnos de ese quinquenio. Para la estimación del consumo de leña, se tomaron como referencia los resultados del

“Estudio Exploratorio del Uso de la Leña en Escuelas Rurales de la Provincia de Santiago del Estero” (Luna, 2010)⁹. Con esos datos, se calculó el promedio del consumo de leña por alumno, por día (0,35 kg) y por año (66,5 kg). Para la extrapolación anual, se multiplicó el consumo diario por los 190 días escolares previstos en el calendario escolar de 2014.

En la Provincia de Córdoba, se identificaron 3 establecimientos educativos en esta condición, cuya demanda asciende a 2,37 tn/año.

5.4.3 Demanda de cáscara de maní

La firma Aceitera General Deheza S.A., localizada en la localidad homónima del departamento Juárez Celman, en abril de 2001, puso en funcionamiento una planta para generación de energía térmica, a través del vapor que produce su caldera, que funciona a partir del suministro de cáscara de maní y girasol. Este sistema permitió reemplazar la utilización del gas natural, combustible principal de las cuatro calderas utilizadas hasta ese momento, por los recursos biomásicos antes citados. La planta consta de una turbina de vapor que genera el 30% de la energía que se consume en el complejo industrial y posee una demanda actual anual de 90 000 tn/año de cáscara de maní (Beljansky, 2016). La demanda potencial máxima estimada de la planta podría ascender a las 183 000 tn/año (AGD, 2016).

Del mismo modo, la firma Prodeman S.A., ubicada en la localidad de General Cabrera, también perteneciente al departamento de Juárez Celman, plantea en el corto plazo la instalación de una planta para la generación de energía eléctrica en base al empleo de cáscara de maní (Ciravegna, 2014). La demanda actual estimada ascendería a 63 000 tn/año (Beljansky, 2016).

Síntesis de demanda de biomasa

En el Cuadro 12, se muestran los resultados de la demanda total de biomasa por departamento. Juárez Celman, Cruz del Eje, Capital, San Javier,

San Alberto e Ischilín son los que presentan mayores valores de demanda de biomasa para uso energético. El departamento de Juárez Celman concentra la demanda de cáscara de maní para uso bioenergético en las dos plantas de generación de energía pertenecientes a AGD y Prodeman S.A., las cuales actualmente suman 153 000 tn/año y que representan el 90.6 % del total de la demanda de biomasa.

La cantidad total de biomasa demandada por la Provincia de Córdoba asciende a 168 818 tn/año, con la salvedad de que solo se han considerado dos rubros por ausencia de datos para profundizar su análisis.

La demanda se concentra en áreas urbanas y periurbanas del sistema metropolitano de Córdoba Capital y se extiende por la zona de las sierras y los valles interserranos hacia el sector noroccidental de la Provincia (Mapa 9). La alta demanda de cáscara de maní no se logra apreciar en el mapa debido a cuestiones de escala¹⁰. La ausencia de información para el sector comercial y de otras industrias, provoca que estos resultados representen una estimación y deben considerarse sólo de manera orientativa.

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. Esta zonificación bioenergética es útil para la formulación de políticas públicas y para la planificación energética.

Para realizar el balance bioenergético, al mapa resultante de la oferta total accesible se le restó el mapa de la demanda total. Esta operación se realizó a nivel de cada píxel. Este balance entre la oferta y la demanda es útil a fines de contabilizar numéricamente el saldo disponible de biomasa a nivel espacial, cada celda o píxel representa tanto un sitio

9. En el mencionado trabajo se relevó el consumo de leña en siete escuelas rurales de aquella Provincia. No obstante, sólo cinco de ellas pueden considerarse representativas basándose en el funcionamiento normal del comedor.

10. Por la escala utilizada, no se llega a apreciar el volumen de biomasa demandada, ya que se concentra en sólo dos localidades del departamento de Juárez Celman.

Cuadro 12

Demanda de biomasa con fines energéticos por sector y por departamento.

Departamento	Demanda (tn/año)			Totales por departamento (tn/año)
	Residencial	Escuelas Rurales	Consumo de cáscara de maní	
Calamuchita	504,75	0	0	504,75
Capital	1415,33	0	0	1415,33
Colón	575,17	0	0	575,17
Cruz del Eje	2905,50	0,6384	0,00	2906,14
General Roca	27,75	0	0	27,75
General San Martín	106,50	0,9177	0	107,42
Ischilín	1083,00	0,00	0,00	1083,00
Juárez Celman	32,25	0,00	153 000,00	153 032,25
Marcos Juárez	52,50	0,00	0	52,50
Minas	837,75	0,00	0	837,75
Pocho	1093,50	0,00	0	1093,50
Pres. R. S. Peña	9,75	0,00	0	9,75
Punilla	432,00	0,00	0	432,00
Río Cuarto	302,25	0,8113	0	303,06
Río Primero	492,00	0	0	492,00
Río Seco	837,00	0	0	837,00
Río Segundo	153,75	0	0	153,75
San Alberto	1248,00	0	0	1248,00
San Javier	1332,00	0	0	1332,00
San Justo	133,50	0	0	133,50
Santa María	375,75	0	0	375,75
Sobremonte	468,75	0	0	468,75
Tercero Arriba	89,25	0	0	89,25
Totoral	235,50	0	0	235,50
Tulumba	977,25	0	0	977,25
Unión	95,25	0	0	95,25
Totales	15 816,00	2,37	153 000,00	168 818,37
Aporte relativo (%)	9,37	0,00	90,63	100

de producción como de consumo de biomasa con fines energéticos.

Otra forma de representar el balance es mediante la relación entre el consumo y la oferta potencial, dentro de una superficie que se relacione con el verdadero contexto de disposición de la oferta. En una escala local, este análisis representa la distancia que los consumidores (hogares, escuelas rurales, industrias y comercios, etc.) y los proveedores están dispuestos a sortear para buscar o llevar el combustible biomásico. Para poder visualizar espacialmente este factor, se realizó un balance focalizado donde se promediaron los valores de los píxeles comprendidos en ventanas de 20 píxeles de lado, o sea, una ventana de 800 m de lado que equivale a 64 ha (FAO, 2009).

El resultado de la estimación del balance focalizado, se muestra en el Mapa 10¹¹, donde se observa que el mayor potencial energético de acuerdo al balance entre oferta y demanda energética de biomasa se encuentra en el norte provincial debido, principalmente, a los aportes de oferta directa derivada del incremento medio anual del bosque nativo. Dicha fuente de oferta directa accesible es la de mayor potencial en la Provincia. El aporte de este recurso se destaca en los departamentos de Tulumba, Río Seco, Sobremonte y Río Primero, en orden decreciente.

En tanto que, de acuerdo al Cuadro 13 y el Mapa 11, el departamento de Juárez Celman constituye el único departamento que presenta valor negativo en cuanto al balance en la Provincia. En este caso, el balance se conforma esencialmente por el aporte de la oferta indirecta de la industria procesadora del maní y, en menor medida, por el incremento medio anual accesible de bosques nativos y arbustales y pastizales. No obstante, concentra la totalidad de la demanda de cáscara de maní (que asciende a 153 000 tn/año) y, por ello, presenta valor negativo. Dicha demanda es satisfecha por el superávit biomásico que se verifica en los departamentos de General San Martín y Tercero Arriba, en

donde la industria procesadora del maní también tiene lugar. El superávit marcado del departamento Capital se debe a que concentra la recolección de biomasa proveniente de las actividades de poda y escamonda del arbolado urbano, junto con el mantenimiento de plazas y jardines de la ciudad de Córdoba y sus alrededores.

Cabe considerar que gran parte la oferta directa de bosques nativos se ve afectada por importantes limitaciones de accesibilidad legal y física, debido a que se encuentra bajo la máxima categoría de restricción del OTBN y a que las formaciones leñosas de mayor incremento medio anual se localizan sobre las Sierras Pampeanas del oeste, noroeste y norte provincial, es decir, en sectores de baja accesibilidad física.

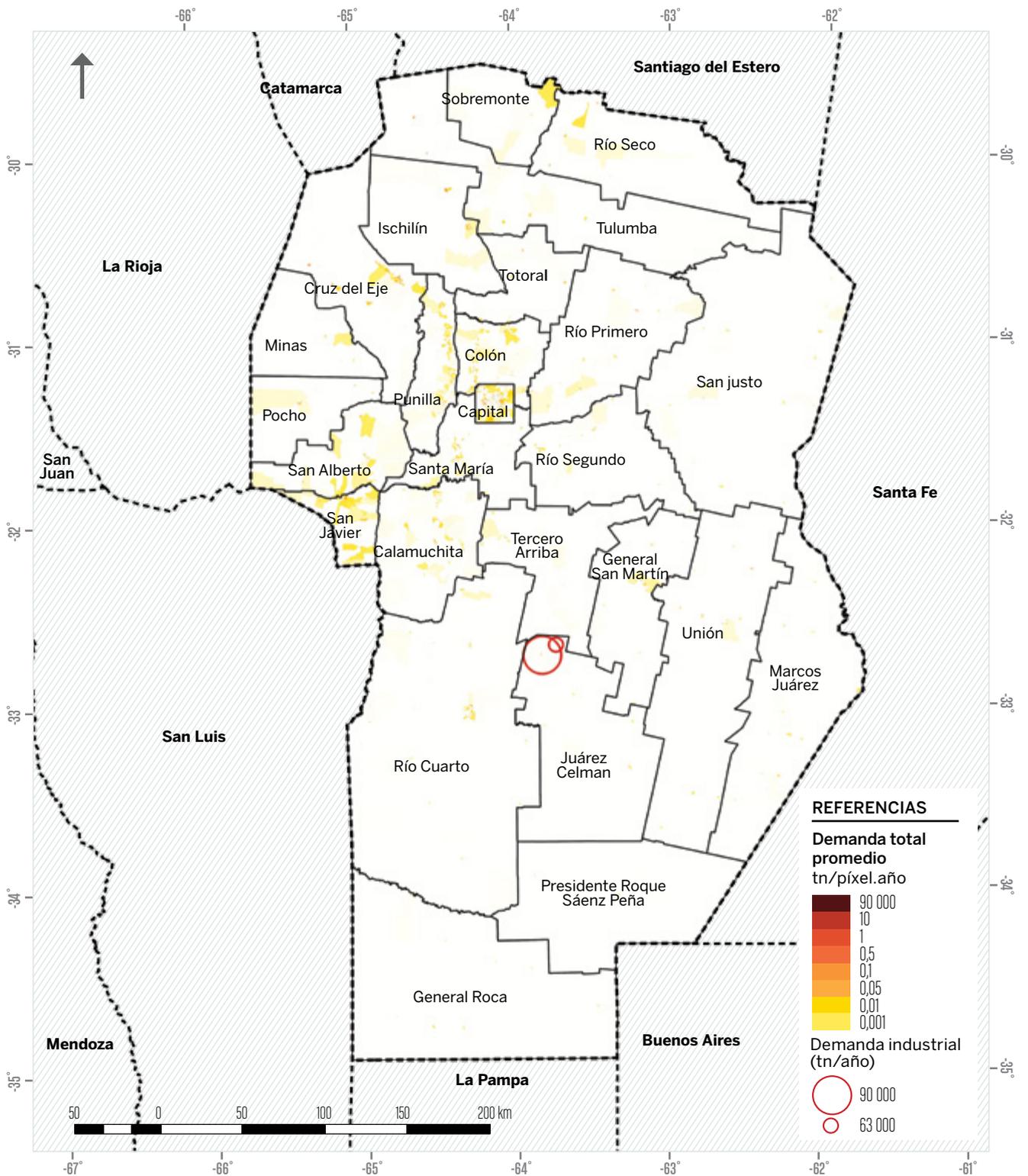
El Mapa 11 muestra el balance entre oferta y demanda energética pero agregado a nivel de radios censales. En materia de demanda deficitaria se destacan numerosas secciones censales del departamento Capital, en donde los aportes de la oferta directa se ven ampliamente superados por la demanda de biomasa energética del sector residencial. Lo mismo sucede en la mitad oriental del departamento de Colón.

Otros radios censales deficitarios ubicados en el noreste y oeste provinciales coinciden con áreas donde se verifica la existencia de biomasa disponible, pero que se halla en condiciones de muy baja o nula accesibilidad por motivos físicos o legales, sobre todo por restricciones totales debido a la Categoría Rojo del OTBN y a la existencia de áreas protegidas.

Como se mencionó anteriormente, y más allá de ofertas indirectas puntualmente altas, el mayor potencial se encuentra en el norte provincial, debido al aporte derivado del aprovechamiento del IMA del bosque nativo y de las forestaciones, y, en la llanura central, a partir de la oferta que genera la industria procesadora del maní. En tanto los mayores niveles de demanda se encuentran en las localidades y centros urbanos ubicados en los alrededores de Córdoba Capital y en amplios sectores del norte y oeste provinciales. Es decir, el mayor consumo de biomasa de la Provincia se localiza próximo a las áreas de mayor potencial.

11. Por la escala utilizada no se llega a apreciar los volúmenes espacialmente puntuales de biomasa ofertada (residuos de poda) y demandada (cáscara de maní).

Mapa 9. Demanda total promediada y consumo de cáscara de maní.
Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibid.*



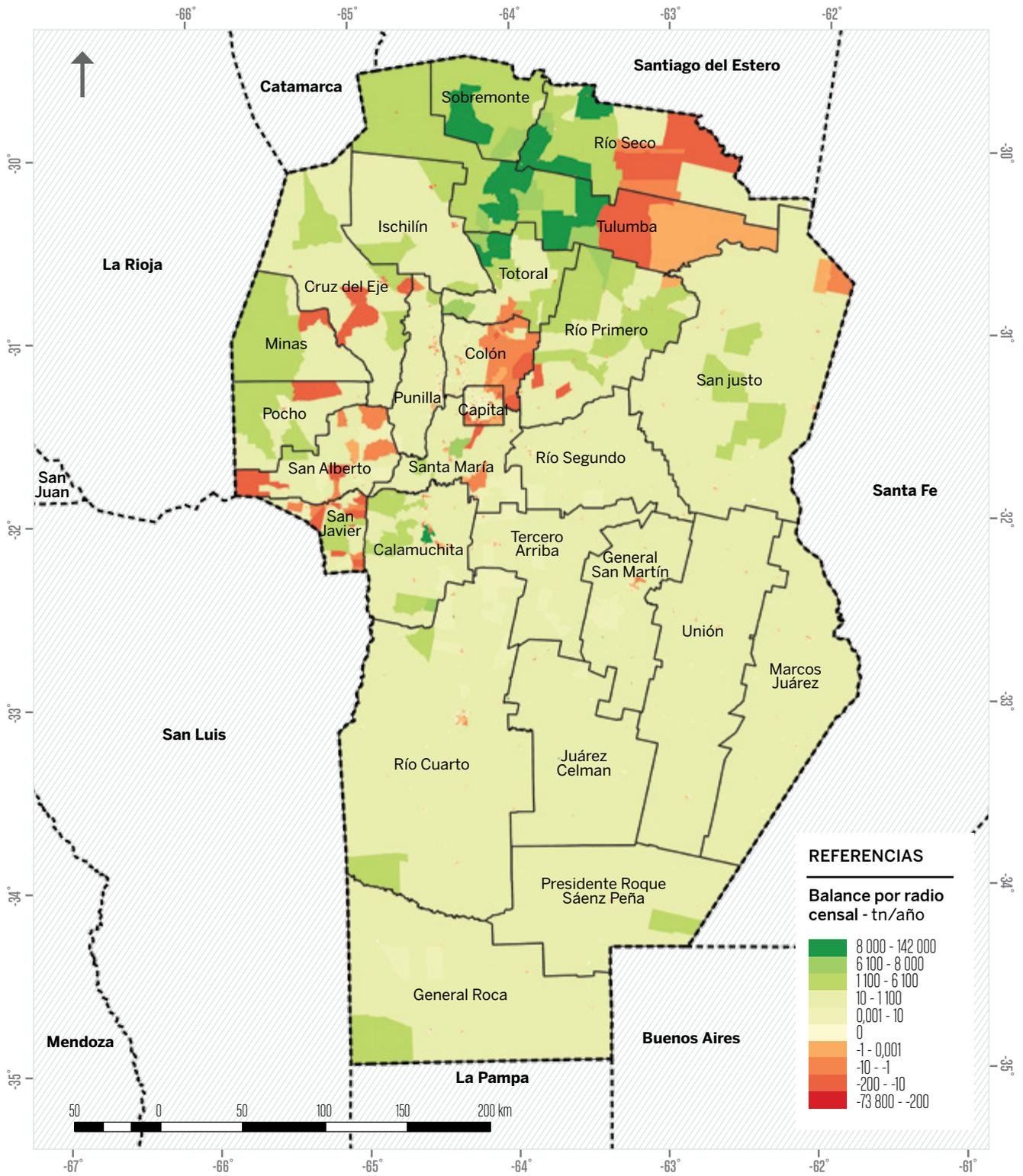
Cuadro 13

Resultados oferta, demanda y balance por departamento.

Departamento	(tn/año)			
	Oferta directa	Oferta indirecta	Demanda total	Balance
Calamuchita	26 311,82	26 180,00	504,75	51 987,07
Capital	4 740,70	141 911,00	1 415,33	145 236,37
Colón	2 678,74	0	575,17	2 103,57
Cruz del Eje	15 481,60	780	2 906,14	13 355,46
General Roca	8 900,83	0	27,75	8 873,08
General San Martín	3 637,63	64 537,50	107,42	68 067,72
Ischilín	13 435,00	0	1 083,00	12 352,00
Juárez Celman	3 866,67	104 406,40	153 032,25	-44 759,18
Marcos Juárez	3 804,00	0	52,50	3 751,50
Minas	16 234,90	0	837,75	15 397,15
Pocho	13 412,00	0	1 093,50	12 318,50
Presidente Roque Sáenz Peña	5 070,00	0	9,75	5 060,25
Punilla	13 217,68	0	432,00	12 785,68
Río Cuarto	14 698,24	15 180,00	303,06	29 575,18
Río Primero	60 978,80	0	492,00	60 486,80
Río Seco	95 377,60	0	837,00	94 540,60
Río Segundo	4 655,50	7 200,40	153,75	11 702,15
San Alberto	8 207,40	0	1 248,00	6 959,40
San Javier	6 428,90	0	1 332,00	5 096,90
San Justo	23 766,60	0	133,50	23 633,10
Santa María	10 592,98	21 255,00	375,75	31 472,23
Sobremonte	65 722,37	0	468,75	65 253,62
Tercero Arriba	2 650,60	10 800,70	89,25	13 362,05
Totoral	57 603,54	0	235,50	57 368,04
Tulumba	134 335,80	0	977,25	133 358,55
Unión	9 121,78	0	95,25	9 026,53
Total	624 931,67	392 251,00	168 818,37	848 364,3

Mapa 11. Balance por radio censal.

Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibíd.*



6. MÓDULO DE OFERTA DE BIOMASA HÚMEDA



-
- 6.1 *Feedlots* bovinos
 - 6.2 Establecimientos porcinos
 - 6.3 Establecimientos tamberos

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

La fracción orgánica de la biomasa húmeda se transforma a partir de un proceso natural de descomposición biológica, que se da en presencia de oxígeno (aeróbica) o en ausencia de éste (anaeróbica). A partir de este proceso de descomposición se puede obtener bioenergía, mediante la utilización del metano (CH_4) producido. La digestión anaeróbica es un proceso biológico que puede ser utilizado para la recuperación de energía y de los nutrientes contenidos en la materia orgánica. En este proceso interviene un grupo de microorganismos, que transforman la materia orgánica en una mezcla de gases, fundamentalmente CH_4 y dióxido de carbono (CO_2), conocida como biogás, y en un afluente denominado digestato que contiene macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, entre otros). El valor energético del biogás depende principalmente del contenido de CH_4 , el cual varía entre un 50 y 75 %. El digestato obtenido puede utilizarse como biofertilizante, ya que presenta excelentes características agronómicas, permitiendo el aumento de la fertilidad química de los suelos y, por lo tanto, la sustitución de algunos agroquímicos de origen sintético.

El proceso de digestión anaeróbica se realiza en contenedores herméticamente cerrados, denomi-

nados reactores, biodigestores o fermentadores. La digestión anaeróbica es un proceso que puede ocurrir en residuos ganaderos y agrícolas, así como en residuos provenientes de las industrias de transformación de productos agropecuarios. Por su diseño y funcionamiento, los biodigestores permiten la co-digestión con otras materias primas, como pueden ser los recursos biomásicos provenientes de cultivos bioenergéticos, garantizando de esta manera el suministro de combustible bioenergético a la planta de generación. Este tratamiento permite aprovechar la complementariedad de las composiciones de los distintos sustratos con el fin de lograr perfiles de procesos eficientes.

La implementación de la biodigestión anaeróbica surge como alternativa a la disposición inadecuada de los efluentes de actividades pecuarias, ya que un manejo inadecuado de los mismos, puede producir la contaminación del suelo, del aire y de los cuerpos de agua. Durante el proceso de descomposición de estos residuos, se liberan CH_4 y CO_2 a la atmósfera, y el vertido de los efluentes a los cuerpos de agua producen contaminación por la alta carga orgánica de los mismos. Los microorganismos que participan en el proceso de descomposición de la materia orgánica utilizan el oxígeno (O_2) disuelto, afectando al resto del ecosistema acuático. Asimismo, por la composición química que suelen tener este tipo de sustratos (alto con-

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

tenido de sales minerales y, en especial, de nitrógeno), al degradarse la materia orgánica se forman compuestos volátiles como CH_4 y CO_2 . El resultado son altas concentraciones de nitrógeno en el agua, lo que genera una elevada proliferación de algas, favoreciendo la eutrofización.

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

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

- Uso de energía sustentable renovable.
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2 y CH_4).
- Reducción de la contaminación de cuerpos de agua y de la proliferación de vectores de enfermedades. Mejora de las condiciones higiénicas y sanitarias de la zona.
- Independencia en el abastecimiento de energía, reemplazando total o parcialmente a los combustibles fósiles.
- Fomento del desarrollo regional, mediante nuevas actividades y técnicas agropecuarias.
- Aprovechamiento de los subproductos derivados de la producción agroalimentaria.

- Beneficios económicos para productores locales e inversores.
- Contribución al arraigo de las poblaciones rurales al promover nuevas actividades económicas.
- Generación de infraestructuras y servicios para satisfacer las necesidades básicas de los productores y habitantes.
- Especialización de la mano de obra.
- Mejora de la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Si se tienen en cuenta los sectores productivos más relevantes de la Provincia de Córdoba, las materias primas que se podrían considerar para la producción de biogás son: efluentes de las actividades de cría y explotación de ganado y de la industria láctea, frigorífica, de alimentos elaborados y enlatados, entre otras, y el residuo generado en los mercados frutihortícolas.

Cabe aclarar que, para el presente análisis, solamente se han tenido en cuenta los residuos ganaderos bovinos (*feedlots* y *tambos*) y porcinos, y los residuos orgánicos generados en los mercados frutihortícolas de concentración que se hallan en la Provincia de Córdoba. Para el resto de las actividades generadoras de residuos potencialmente aprovechables, no se contaba con fuentes oficiales de información. Asimismo, en el caso de las producciones ganaderas, se aplicó una restricción de carácter estructural para este análisis espacial, ya que este tipo de producción tiene incidencia directa en la disposición del residuo o recurso. Por tal motivo, se consideró únicamente la forma de producción intensiva, porque simplifica las tareas de recolección del estiércol, purines y efluentes, garantizando de esta manera el abastecimiento continuo del sustrato en los biodigestores.

Las estimaciones del residuo orgánico generado por las producciones ganaderas se llevaron a cabo a partir de información del SENASA, actualizada a octubre 2015. Esta información contemplaba la localización de cada establecimiento y número de cabezas de ganado, lo que permitió realizar los cálculos de la oferta discriminando en: bovinos (*feedlot* y *tambos*) y porcinos. Para estimar los residuos generados por cabeza y por tipo de

producción se utilizó el criterio aplicado por Flores *et al.* (2009).

6.1 Feedlots bovinos

Para los *feedlots* bovinos, se estimó un residuo potencial de 23,9 Kg de estiércol fresco /día x animal, que al multiplicarlo por los días del año resultan 8708 Kg de estiércol fresco/año x animal.

6.2 Establecimientos porcinos

En el caso de los establecimientos porcinos, se calculó un potencial de residuo de 3,4 Kg de estiércol fresco/día x animal, que al multiplicarlo por los días del año resultan 1241 Kg de estiércol fresco/año x animal.

6.3 Establecimientos tamberos

En tanto que, para los establecimientos tamberos se contemplaron 3 kg de estiércol fresco/animal x día, ya que sólo se considera la cantidad de residuo que puede ser recolectado cuando la vaca se encuentra en el proceso de ordeño. El valor estimado fue de 1095 kg de estiércol fresco/animal x año.

En el Cuadro 14, se pueden observar los valores obtenidos para cada tipo de establecimiento.

Se adoptó como poder calorífico del biogás 5500 Kcal/m³ y para el factor de conversión a tonelada equivalente petróleo (tep) se utilizó 10⁷ Kcal por cada tep.

6.4 Mercados frutihortícolas

En cuanto a los mercados frutihortícolas de concentración de la oferta, se contó con los datos de los mercados de abasto de las ciudades de: Córdoba Capital, San Miguel –ubicado en la localidad de Malagueño–, Río Cuarto y Villa María. Cabe destacar que en el Mercado de San Miguel se está desarrollando una experiencia piloto con la instalación de seis biodigestores tubulares, junto con las instalaciones accesorias.

Los residuos orgánicos húmedos originados en estos mercados consisten, mayormente, en frutas y hortalizas de rezago o rechazo, y una proporción menor de restos de embalajes (papel, cartón).

El porcentaje de materia seca (MS) en los residuos vegetales de hortalizas y frutas se estima entre un 15 y un 45 % respectivamente del total, tomándose el promedio entre ambos (30 %). A su vez, el contenido orgánico de este residuo seco (oMS) se calcula en un 84,5 %, como promedio entre el 76 % correspondiente a hortalizas y el

Cuadro 14

Cálculo biogás por tipo de animal.

Fuente

Adaptado por Mariano Butti, del INTA, en base a Flores *et al.* (2009) y Hilbert (2011).

Parámetro	Feedlot	Porcino	Tambo
Biogás (m ³ /kg de estiércol fresco)	0,0315	0,0495	0,0315
Biogás (m ³ /animal x año)	274,30	61,45	34,49
Energía (kcal/animal x año)	1508 627	337 962	189 709
Energía (tep/animal x año)	0,1509	0,0338	0,0190

93 %, a frutas. El factor de conversión de este tipo de residuos a biogás es del orden de 550 m³/tn oMS desechos FH (Iacono y Sucani, 2015). Al igual que en el caso del biogás producido a partir de desechos pecuarios, se adoptó como poder calorífico del biogás 5 500 Kcal/m³ y para el factor de conversión a tep se utilizó 10⁷ Kcal por cada tep.

En el Cuadro 15, se muestra la generación potencial de residuos orgánicos húmedos de cuatro mercados frutihortícolas concentradores de la Provincia, de los que se contó con información. Como se puede ver, se destaca el Mercado de Abasto de la Ciudad de Córdoba, por el volumen de residuos que genera y la oportunidad de generación de biogás que representa. También se presenta la generación potencial de biogás para el resto de los mercados frutihortícolas.

En el Cuadro 16, se muestran los valores en tep por año y por departamento para cada actividad. El mayor potencial pasible de aprovechamiento energético podría ser generado a partir de la producción bovina en confinamiento (*feedlot*), en segundo lugar se ubican la actividad porcina seguida de la tampera y, por último, los mercados frutihortícolas concentradores.

Para el caso de los *feedlots* bovinos, los departamentos que presentan una mayor oferta poten-

cial de energía son Río Cuarto, Río Primero, Colón y Juárez Celman, coincidiendo con la presencia de centros urbanos altamente poblados. Los mismos se encuentran en la parte central de la Provincia. Luego, les siguen los departamentos de Calamuchita, Totoral y Unión (Mapa 12).

En cuanto a los establecimientos porcinos, la mayor oferta potencial se encuentra en el departamento de Río Cuarto, seguido por los departamentos de Unión, Juárez Celman y Marcos Juárez. Esta actividad se encuentra presente en toda la Provincia, aunque los valores de biogás estimados son muy variables por departamento (Mapa 13).

Por último, la actividad tampera se encuentra concentrada en los departamentos de San Justo y General San Martín, al noreste y centro de la Provincia respectivamente, con un potencial bioenergético relativamente menor que el de los establecimientos porcinos y bovinos en confinamiento (Mapa 14).

Si se consideran los tres tipos de fuentes, el departamento de Río Cuarto se destaca en cuanto al potencial para la generación de biogás, con más del 18 % del total provincial, seguido de San Justo, Unión y Juárez Celman. Estos cuatro departamentos representan más de la mitad del total provincial.

Cuadro 15

Oferta potencial de biogás proveniente de los residuos orgánicos de los mercados frutihortícolas de concentración de la oferta.

Mercado Frutihortícola	Residuos húmedos totales (tn/año)	Materia seca total (tn/año)	Materia orgánica seca total (tn/año)	Biogás (m ³ /año)	Energía (tep/año)
Córdoba	13 000	3 900	3 295	1 812 525	996,8
San Miguel	2 200	660	557	306 735	168,7
Río Cuarto	2 000	600	507	278 850	153,3
Villa María	1 385	415	351	193 103	106,2
Totales	18 585	5 575	4 711	2 591 213,6	1 425,1

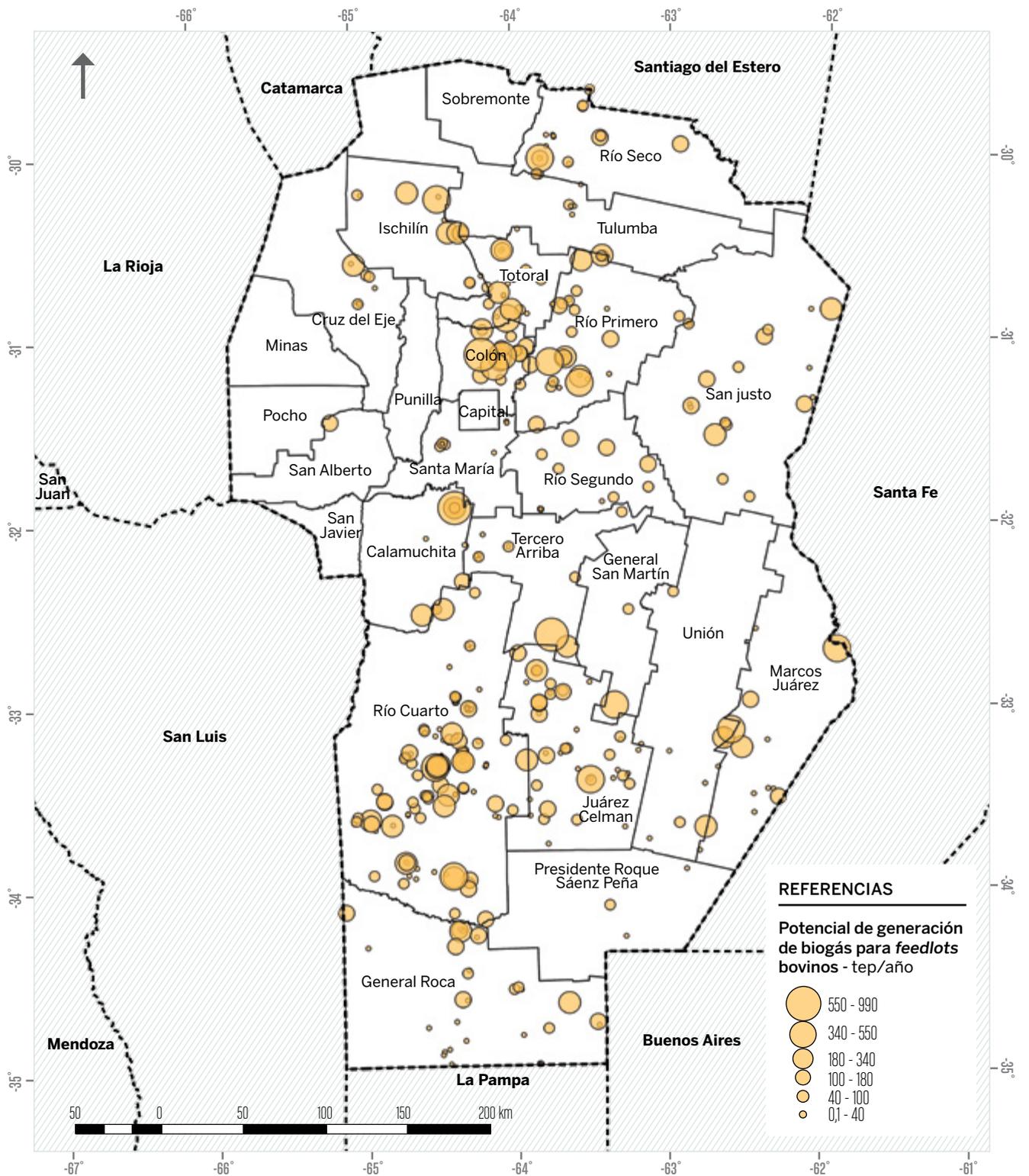
Cuadro 16

Oferta potencial de biogás por fuente y departamento.

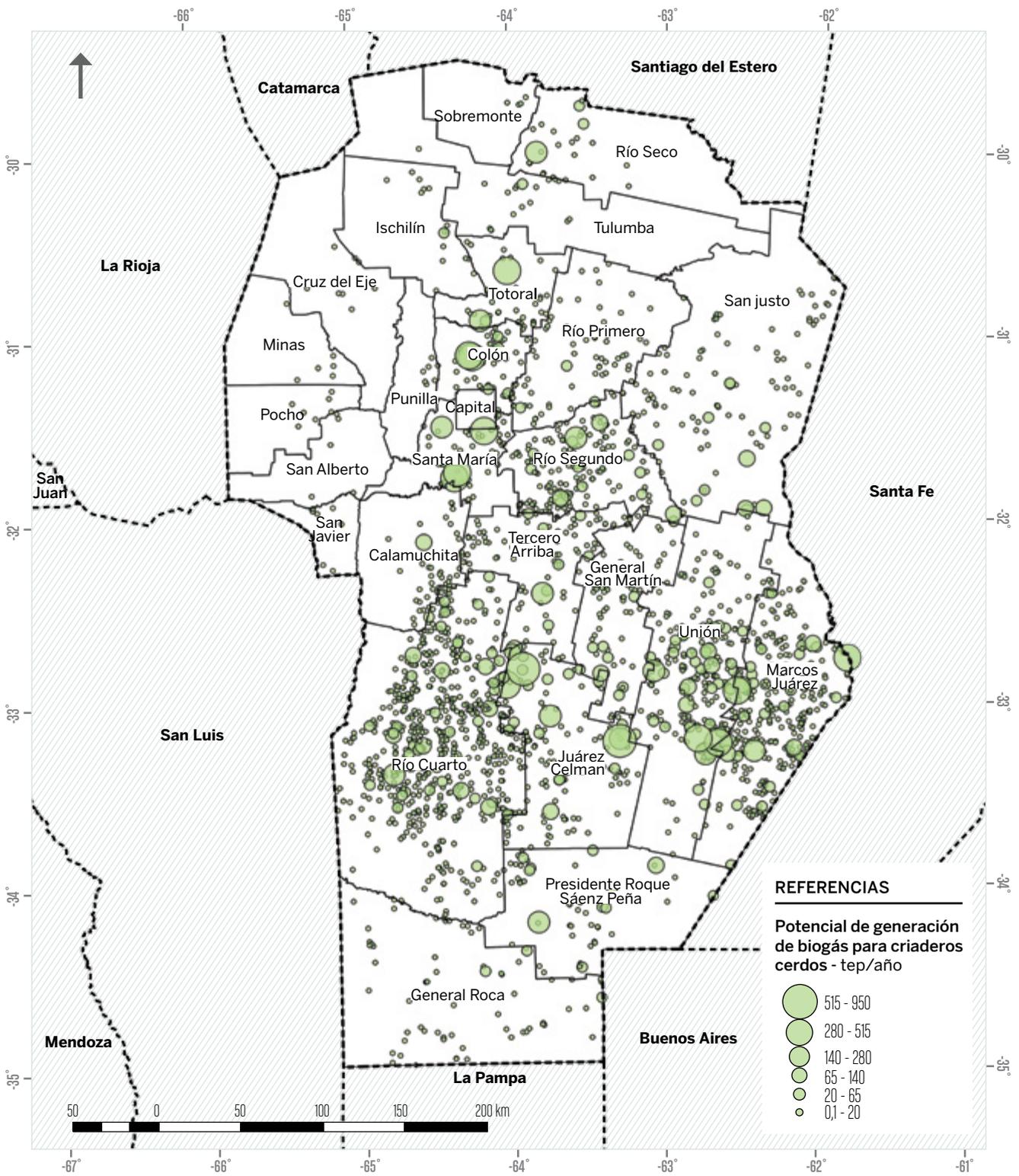
Departamento	Biogás (tep/año)				Total por departamento (tep/año)
	Feedlots	Tambos	Porcinos	Residuos frutihortícola	
Calamuchita	2377,7		339,2		2716,9
Capital			77,1	996,9	1073,9
Colón	3416,3		1163,1		4579,4
Cruz del Eje	433,3	3,7	53,6		490,7
General Roca	1726,0	343,8	326,0		2395,8
General San Martín	607,1	3397,0	599,9	106,2	4710,0
Ischilín	1086,0	1,3	98,7		1185,0
Juárez Celman	3137,8	1070,2	4169,6		8377,7
Marcos Juárez	1086,4	510,9	3575,9		5173,1
Minas	42,4		20,0		62,4
Pocho			26,2		26,2
Presidente Roque Sáenz Peña	83,1	675,0	859,7		1617,8
Punilla			27,1		27,1
Río Cuarto	8473,8	1112,6	5680,4	153,4	15420,1
Río Primero	3661,1	798,0	404,9		4804,1
Río Seco	1508,9	14,6	346,5		1855,4
Río Segundo	775,7	1004,1	1640,4		3420,3
San Alberto	175,5		13,8		189,2
San Javier		0,8	61,0		61,8
San Justo	1597,0	8388,6	1005,2		10990,9
Santa María	251,6	3,6	1488,7	168,7	1912,7
Sobremonte			6,5		6,5
Tercero Arriba	1537,1	679,4	964,8		3181,4
Totoral	1664,0		771,7		2435,7
Tulumba	441,1		102,0		543,1
Unión	1393,2	2575,4	4768,0		8736,6
Totales	35474,3	20504,3	28589,9	1425,2	85993,7
Aporte relativo (%)	41,25	23,84	33,25	1,66	100,0

Mapa 12. Potencial de generación de biogás para feedlots bovinos.

Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibíd.*

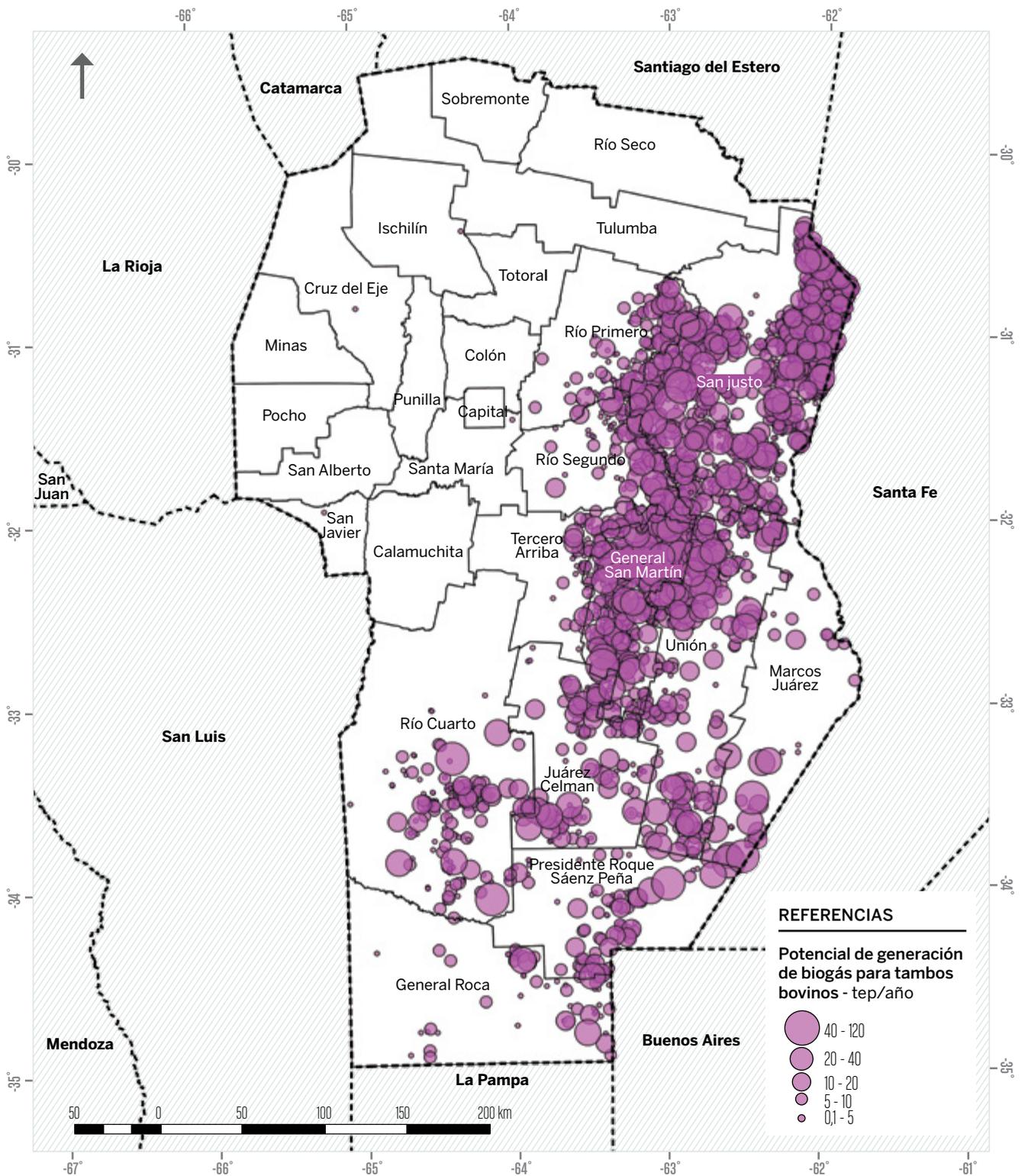


Mapa 13. Potencial de generación de biogás para criaderos cerdos.
Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibíd.*



Mapa 14. Potencial de generación de biogás para tambos bovinos.

Fuente: Elaborado por Di Leo, Néstor, *et al.*, *ibíd.*





© Ministerio de Agroindustria

7.



Conclusiones

Los resultados del presente análisis refuerzan la noción de que la Provincia de Córdoba posee un gran potencial bioenergético debido al volumen y a la amplia variedad de fuentes de biomasa seca y húmeda existentes, susceptibles de producir energía renovable.

El análisis espacial realizado constituye un insumo esencial para la toma de decisiones en políticas públicas y en la planificación y formulación de estrategias bioenergéticas. Este trabajo constituye la línea de base para la promulgación de proyectos bioenergéticos de diferentes escalas, con la posibilidad de producir diferentes vectores energéticos (electricidad, calor, biogás) de manera sustentable.

Para ello, se profundizó y enriqueció, tal como se recomendaba en el WISDOM Argentina, la metodología a nivel provincial, considerando no sólo el incremento medio anual del bosque nativo, sino también los recursos provenientes del agro y la forestoindustria y los residuos de cosecha y del manejo de los cultivos, con un mayor nivel de detalle (mayor resolución espacial). Adicionalmente, se estimó la oferta de biomasa húmeda generada en establecimientos vacunos (tambos y *feedlots*) y porcinos y en los mercados frutihortícolas.

Las actividades llevadas a cabo por el Proyecto para la Promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA) y la Unidad Provincial Ejecutora de Córdoba permitieron arribar en forma consensuada a esta versión final del análisis espacial del balance energético derivado de biomasa, aplicando la metodología WISDOM.

Considerando los recursos biomásicos existentes, más del 68 % de la oferta directa accesible se distribuye a lo largo del centro-norte y el norte de la Provincia, en los departamentos de Tulumba, Río Seco, Sobremonte, Río Primero y Totoral. Esta oferta se deriva, esencialmente, del IMA del bosque nativo, y, en menor medida, del aporte biomásico de arbustales y pastizales y de las forestaciones. En tanto que la industria procesadora del maní se revela como una actividad con un remanente biomásico aprovechable con fines energéticos, ubicándose principalmente en los departamentos de Juárez Celman y General San Martín.

En la Provincia de Córdoba, solamente el departamento de Juárez Celman presenta déficit de recursos biomásicos, debido a que concentra la demanda de cáscara de maní. Sin embargo, la falta de datos acerca de los consumos comerciales e industriales torna condicional esta afirmación.

Más allá de lo señalado, es posible observar geográficamente sectores con déficit cuando se agregan a nivel de radios censales. Así, resaltan numerosas secciones censales del departamento Capital, en donde los aportes de la oferta directa se ven ampliamente superados por la demanda de biomasa energética del sector residencial, y similares condiciones se verifican en la mitad oriental del departamento de Colón. Algunos radios censales deficitarios ubicados en el noreste y oeste provinciales coinciden con áreas donde se verifica la existencia de biomasa disponible, pero que se halla en condiciones de muy baja o nula accesibilidad, por motivos físicos o legales.

Asimismo, en este estudio se avanzó en la evaluación del potencial de biogás derivado del aprovechamiento de las deyecciones de ganadería vacuna (tambos y *feedlots*) y porcina, y del aprovechamiento de los residuos orgánicos en los mercados frutihortícolas de concentración de la oferta. Dicho potencial incidiría sosteniblemente en las prácticas productivas de estos establecimientos, ya que, por un lado, se podría favorecer el desplazamiento de energía derivada de fuentes fósiles por una de fuentes renovable y, por el otro, a través de una gestión adecuada de los residuos, evitar un pasivo ambiental y producir biofertilizantes.

La metodología WISDOM ha sido adaptada a las condiciones particulares que inciden sobre las formaciones leñosas nativas, la cadena de valor agropecuaria y la demanda energética de biomasa de la Provincia de Córdoba. Ello ha sido posible gracias a la estrecha colaboración de los miembros de la Unidad Provincial Ejecutora de la Provincia y al marco de intercambio generado en este ámbito.

8.



© Ministerio de Agroindustria

Recomendaciones

Considerando la gran diversidad de fuentes de biomasa con destino energético y la multiplicidad de instituciones y centros de investigación que abarcan diversos temas e intereses, pero que se relacionan en su quehacer con los aspectos referentes a la oferta y el consumo de dentro y agro energía, se refuerza la necesidad de contar con un grupo técnico multidisciplinario para el análisis de la información. Por lo tanto, se recomienda la continuidad de la UPE de Córdoba, para otorgar un marco institucional a la actualización del WISDOM de la Provincia, enriqueciendo el análisis espacial a través de la incorporación de fuentes que no fueron consideradas en este estudio. Es menester contemplar siempre la protección de ecosistemas y la renovabilidad del recurso.

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

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

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

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

- **Oferta directa:**

- Cuantificar residuos, rever sistemas de cosecha, determinar la humedad del residuo, su transporte y formas de densificación.

- Cultivos: constatar en campo los valores asignados de productividad por cultivo y provincia fitogeográfica; relevar e incorporar información perteneciente a todos aquellos cultivos que generan residuos potencialmente utilizables con fines energéticos.

- Forestaciones: actualizar el estado de las forestaciones y determinar el volumen de residuo generado. En cada rodal, relevar especie, densidad y diámetro cuadrático medio (o edad de la plantación). Asimismo, desarrollar ecuaciones alométricas para aquellas especies de las que no se tiene información.

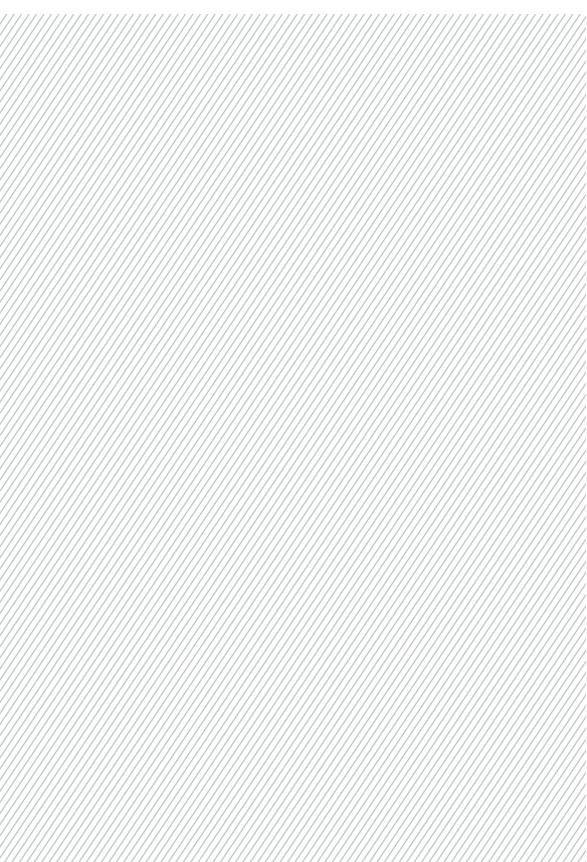
- Producción olivícola y frutícola en general: se sugiere emplear una capa que posea un mejor detalle espacial, así como aplicar valores de residuos disponibles por poda o reemplazo ajustados según especie y áreas de distinta productividad.

- **Oferta indirecta:**

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

- Industria procesadora del maní: actualizar la información en cuanto a localización espacial de las plantas y volúmenes procesados.

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



- **Accesibilidad física:**

- Ferrocarriles: consensuar una mayor desagregación de esta ponderación, en función del uso actual de las vías (vías muertas, empleo de zorras) y mejorar la calidad geométrica de la traza.

- Caminos: mejorar la calidad geométrica de la traza y discutir la ponderación asignada.

- BAHRA: revisar la precisión de la ubicación de los asentamientos, especialmente aquellos que no son urbanos.

- Ejidos urbanos: digitalizar los aglomerados urbanos de toda la Provincia.

- **Accesibilidad legal:**

- Áreas protegidas: investigar sobre los usos reales dentro de las áreas protegidas (zonificación, forestaciones implantadas dentro del área, pobladores que consuman leña, etc.) y la pertinencia de incorporar otras áreas de importancia biológica que no poseen actualmente una figura de protección formal.

Se sugiere, también, mejorar la calidad geométrica de la capa de las riberas de los ríos y de los cuerpos de agua, por ejemplo, empleando como insumo de apoyo el DEM del IGN.

- OTBN: se propone discutir la restricción que debiera asignarse a la Categoría Amarillo.

- **Módulo de demanda:**

- Se propone realizar una encuesta de consumo que brinde datos más precisos sobre la demanda real de biomasa.
- Consumo comercial: resulta imprescindible contar con información sobre el consumo de biomasa en ladrilleras, parrillas, panaderías, secaderos, entre otros.
- Consumo residencial: dado que no existen datos sistemáticos sobre el consumo residencial de leña o carbón vegetal en la Provincia, se optó por estimarlo. Por ello resulta imprescindible verificar las estimaciones realizadas.
- Escuelas rurales: actualizar el listado de las que consumen leña e identificar el consumo real de leña (podría hacerse, por ejemplo, algún tipo de encuesta estratificando la muestra por región climática).
- Ladrilleras: realizar un censo de ladrilleras y analizar el consumo anual de leña con fines energéticos.
- Parrillas, panaderías y hotelería (cabañas): relevar todos los comercios que utilizan biomasa con fines energéticos y cuantificar el volumen de leña y carbón vegetal consumido.

- **Biomasa húmeda:**

- Medir *in situ* la cantidad de estiércol generado y realizar pruebas del potencial de producción de biogás. Asimismo, se recomienda la incorporación al modelo de datos de residuos de las actividades agroindustriales que se desarrollan en la Provincia. Ejemplos de ello se encuentran en la actividad avícola y en los efluentes de la industria frigorífica y de la elaboración de alimentos (dulces, enlatados, conservas).
- Completar la base de datos de mercados frutihortícolas de la Provincia.

Bibliografía

- AGD – Aceitera General Deheza S.A. 2016. *Cuidando del Aire - Energía de la biomasa*. Página WEB corporativa. https://www.agd.com.ar/es/ambiente/amb_caldera.php Fecha de última consulta: 22 de febrero de 2016.
- Banco Mundial. 1995. *Vehicle operating cost (VOC). Versión 3.0. HDM III The highway design and maintenance standards model*. USA.
- Beljansky, M. 2016. *Comunicación Personal*. Ing. Mariela Beljansky. Fecha: 8 de marzo de 2016.
- Cabido, M. y Zak, M. 1999. *Vegetación del Norte de Córdoba*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de Córdoba. 56 pp. Córdoba. Argentina.
- Cabrera, A. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, (1-2): 1-42.
- Cesca, M.; Corradi, R.; Melgratti, M.; Castillo, A. - Sayago, M. 1997. *Alternativas de Aprovechamiento para los Residuos del Desmote de Algodón*. Material didáctico. Cátedra Procesos unitarios, Facultad de Agroindustrias, UNNE. Corrientes, Argentina.
- Ciravegna, J. 2014. *En Prodeman no tiran ni la cáscara*. Entrevista periodística al director del proyecto de instalación de la planta de generación de energía a partir de biomasa en Prodeman S.A., Ing. Jorge Ciravegna. <http://www.todomani.com.ar/mani/notas.asp?nid=480> Fecha de última consulta: 21 de febrero de 2016.
- DINREP (Dirección Nacional de Relaciones Económicas con las Provincias). 2013. *Córdoba*. MECON. Buenos Aires. Argentina.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2010a. *What woodfuels can do to mitigate climate change?* Roma. Italia.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2010b. *Evaluación de los recursos forestales mundiales. Informe Nacional Argentina*. Roma. Italia.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2009. *Análisis espacial de la producción y consumo de biocombustibles aplicando la metodología de "Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles" (Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping)*. Buenos Aires. Argentina.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2004. *Terminología Unificada sobre la Bioenergía (TUB). Terminología de los dendrocombustibles sólidos*. Roma: Departamento Forestal Dendroenergía. Italia.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2003. *Elaboración de un marco para las buenas prácticas agrícolas*. Roma. Italia.
- Flores Marco, N.; Hilbert, J.; Carballo, S. y Anschau, A. 2009. Potencial de producción de biogás en la Provincia de Santa Fe. Instituto de Ingeniería Rural. INTA Castelar. Buenos Aires. Argentina. *Mimeo*.
- Hansen, M; Thau, D; Stehman, S; Goetz, S; Loveland, T; Kommareddy, A; Egorov, A; Chini, L; Potapov, V; Moore, R; Hancher, H; Turubanova, S; Tyukavina, A; Justice, C; Townshend, J. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, (342): 850-853.
- Hilbert, J. 2008. *Manual para la producción de biogás*. Instituto de Ingeniería Rural. INTA Castelar. Buenos Aires. Argentina.
- Iacono, J. y Sucani, G. 2015. Dimensionamientos y cálculos (Parte 4). Materiales del 1º Curso-Taller sobre Manejo de un Biodigestor. Si-Ecotécnica Biodigestores. 10 de Octubre de 2015. Malagueño, Córdoba, Argentina.
- IEA (International Energy Agency). 2009. *Bioenergy-a sustainable and reliable energy source: a review of status and prospects*. París. Francia.
- Iglesias, D. y Ghezan, G. 2013. Análisis de la Cadena de la Carne Porcina en Argentina. Estudios Socioeconómicos de los Sistemas Agroalimentarios y Agroindustriales. INTA. Buenos Aires. Argentina.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2010. *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. MECON. Buenos Aires. Argentina.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Cen-

-
- sos). 2013. *Ficha de la Provincia de Tucumán*. Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo. MECON, Buenos Aires. Argentina.
- Lewis, J. y Collantes, M. 1973. El Espinal Periestépico. *Ciencia & Investigación* 29: 360-377.
- Luna, E. 2010. *Estudio Exploratorio del Uso de la Leña en Escuelas Rurales de la Provincia de Santiago del Estero*. "Trabajo final de graduación", UNSE, Argentina.
- Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V.; Seghezzi, L. 2011. Propuesta metodológica para la toma de decisiones sobre bioenergía en un contexto complejo y diverso. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (12): 06.39-06.47. ASADES, Ciudad de Salta. Argentina.
- Méndez-González, J.; Luckie-Navarrete, S.; Capó-Arteaga, M.; Nájera-Luna, A. 2011. Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia* 45: 479-491.
- SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable). 2015. *Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos*. Informe Nacional Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires. Argentina.
- SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable). 2004. *Mapa Forestal. Provincia de Córdoba. Actualización año 2002*. Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal, Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires. Argentina.
- SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable). 2003. *Atlas de los Bosques Nativos Argentinos 2003*. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas BIRF 4085-AR, Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires. Argentina.
- Schlatter, J.; Gerding, V. 1999. Productividad en el ejemplo de seis sitios característicos de la VIII Región con *Pinus Radiata* D. Don. *Bosque*. Vol. 20, N° 1: 65-78.
- Secretaría de Energía. 2009. *Energías Renovables. Diagnóstico, barreras y propuestas*. Área de Energías Renovables, Dirección Nacional de Promoción, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Buenos Aires. Argentina.
- SIIA (Sistema Integrado de Información Agropecuaria). 2015. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación. Buenos Aires. Argentina. <http://www.sii.gov.ar/> Fecha de última consulta: 1 de marzo de 2017.
- Skoulou, V. y Zabaniotou, A. 2007. Investigation of agricultural and animal wastes in Greece and their allocation to potential application for energy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11. Pp. 1698-1719.
- Sultana, A. y Kumar A. 2012. Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors. *Biomass and Bioenergy*, (39): 344-355.

Anexo I

Marco normativo

La Ley N.º 26 331/2007 (Decreto Reglamentario 91/2009) de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, conocida como “Ley de Bosques”, establece normas y presupuestos mínimos de protección ambiental para la conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos y de los servicios ambientales que éstos brindan a la sociedad. En Córdoba, esto se encuentra reglamentado por Ley Provincial N.º 7 543, que establece las siguientes categorías:

- **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 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. Estas áreas o zonas 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 o disturbios antrópicos o naturales.
- **Categoría II (Amarillo):** Sectores de mediano valor de conservación, que pueden estar degradados pero que, a juicio de la Autoridad de Aplicación, con la implementación de actividades de restauración pueden tener un valor alto de conservación y que podrán ser sometidos a los siguientes usos: aprovechamiento sostenible, turismo, recolección e investigación científica. Los mismos deberán efectuarse a través de Planes de Conservación o Manejo Sostenible, según corresponda.
- **Categoría III (Verde):** Sectores de bajo valor de conservación que pueden transformarse parcialmente o en su totalidad, aunque dentro de los criterios de la presente Ley y sus normas reglamentarias y complementarias.

Anexo II

Clases de coberturas arbóreas adoptadas por el FRA 2000.

Clasificación propuesta por la FAO, mediante el FRA 2000 (Evaluación de los Recursos Forestales al año 2000), adaptada a las características y particularidades de la Argentina, definiéndose los tipos de coberturas de la tierra descriptos en el Cuadro 17.

Cuadro 17

Coberturas y definiciones FAO (FRA 2000).

Fuente

SAyDS, 2005.

Clase de cobertura de la tierra	Definición
Tierras forestales	Tierra con una cubierta de copa (o su grado equivalente de espesura) de más del 20 % del área y una superficie superior a 10 ha. Los árboles deberían poder alcanzar una altura mínima de 7 m a su madurez <i>in situ</i> . Puede consistir en formaciones forestales cerradas, donde árboles de diversos tamaños y sotobosque cubren gran parte del terreno.
Otras tierras forestales	Tierras donde la cubierta de copa (o su grado de espesura equivalente) tiene entre 5 y 20 % de árboles capaces de alcanzar una altura de 7 m a su madurez <i>in situ</i> ; o tierras con una cubierta de copa de más del 20 % (o su grado de espesura equivalente), en la que los árboles no son capaces de alcanzar una altura de 7 m a su madurez <i>in situ</i> (árboles enanos o achicados); o aquellas donde la cubierta arbustiva abarca más del 20 %.
Bosques rurales	Remanentes de bosque natural en un paisaje agrícola menores a 1 000 ha.
Otras tierras	Tierras no clasificadas como forestales u otras tierras forestales (especificadas más arriba). Incluye tierras agrícolas, praderas naturales y artificiales, terrenos con construcciones y tierras improductivas.

ANÁLISIS ESPACIAL DEL BALANCE ENERGÉTICO DERIVADO DE BIOMASA

METODOLOGÍA WISDOM

Provincia de Córdoba

N° 5

COLECCIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS

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

www.fao.org

ISBN 978-92-5-109874-5



9 7 8 9 2 5 1 0 9 8 7 4 5

17659ES/1/09.17