



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

# ANÁLISIS ESPACIAL DEL BALANCE ENERGÉTICO DERIVADO DE BIOMASA

## METODOLOGÍA WISDOM

Provincia de Tucumán

COLECCIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS

Nº 1



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 Tucumán



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

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 978-92-5-309511-7

© FAO, 2016

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](http://www.fao.org/contact-us/licence-request) o a [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

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

Fotografía de portada: © FAO

## AUTORIDADES

### 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



## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1</b>	Clasificación de las fuentes de biocombustibles.	<b>6</b>
<b>Cuadro 2</b>	Valores de RAC considerados para el cultivo de caña de azúcar.	<b>23</b>
<b>Cuadro 3</b>	Especies implantadas y superficie ocupada en la provincia de Tucumán, año 2014.	<b>27</b>
<b>Cuadro 4</b>	Valores de IMA de bosque nativo utilizados en el modelo diferenciado por provincias fitogeográficas.	<b>31</b>
<b>Cuadro 5</b>	Extracción de productos forestales por departamento, para el año 2012.	<b>31</b>
<b>Cuadro 6</b>	Usos de suelo contemplados en el análisis e incremento medio anual asignado.	<b>34</b>
<b>Cuadro 7</b>	Provincia fitogeográfica e incremento medio anual asignado.	<b>34</b>
<b>Cuadro 8</b>	Coeficientes por tipo de red vial.	<b>38</b>
<b>Cuadro 9</b>	Valores asignados a cada tipo de área natural protegida.	<b>41</b>
<b>Cuadro 10</b>	Coeficientes según OTBN.	<b>41</b>
<b>Cuadro 11</b>	Oferta directa accesible por fuente y departamento.	<b>46</b>
<b>Cuadro 12</b>	Oferta indirecta por fuente y departamento.	<b>49</b>
<b>Cuadro 13</b>	Demanda por tipo y departamento.	<b>52</b>
<b>Cuadro 14</b>	Resultados de oferta, demanda y por balance departamento (tn/año).	<b>56</b>
<b>Cuadro 15</b>	Estimación de potencial de generación de biogás por tipo de animal.	<b>63</b>
<b>Cuadro 16</b>	Oferta potencial de biogás por fuente y departamento.	<b>66</b>
<b>Cuadro 17</b>	Coberturas y definiciones FAO.	<b>77</b>

## Índice de mapas

<b>Mapa 1</b>	Niveles de producción de caña de azúcar. Zafra 2013.	<b>24</b>
<b>Mapa 2</b>	Superficie cultivada de cítricos. Campaña 2012.	<b>26</b>
<b>Mapa 3</b>	Oferta directa de biomasa de cultivos.	<b>30</b>
<b>Mapa 4</b>	Oferta directa de bosque nativo.	<b>33</b>
<b>Mapa 5</b>	Oferta directa de arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas.	<b>35</b>
<b>Mapa 6</b>	Oferta directa total.	<b>37</b>
<b>Mapa 7</b>	Accesibilidad física.	<b>39</b>
<b>Mapa 8</b>	Accesibilidad legal.	<b>42</b>
<b>Mapa 9</b>	Accesibilidad total.	<b>43</b>
<b>Mapa 10</b>	Oferta directa accesible.	<b>45</b>
<b>Mapa 11</b>	Demanda total promediada (en una ventana de 20 x 20 píxeles).	<b>54</b>
<b>Mapa 12</b>	Balance promediado en ventanas de 800 m de lado.	<b>55</b>
<b>Mapa 13</b>	Balance por radio censal	<b>58</b>
<b>Mapa 14</b>	Potencial de generación bioenergético por tipo de producción.	<b>67</b>

## Índice de gráficos

<b>Gráfico 1</b>	Composición de la oferta interna de energía primaria en porcentajes.	<b>7</b>
<b>Gráfico 2</b>	Modelo conceptual WISDOM Tucumán.	<b>19</b>
<b>Gráfico 3</b>	Caña de azúcar: aporte relativo por provincias (en porcentaje). Zafra 2014.	<b>22</b>
<b>Gráfico 4</b>	Oferta indirecta total. Departamentos seleccionados (tn/año).	<b>50</b>
<b>Gráfico 5</b>	Balance por departamento (tn/año).	<b>57</b>

---

# 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, movilizandando inversiones, 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.

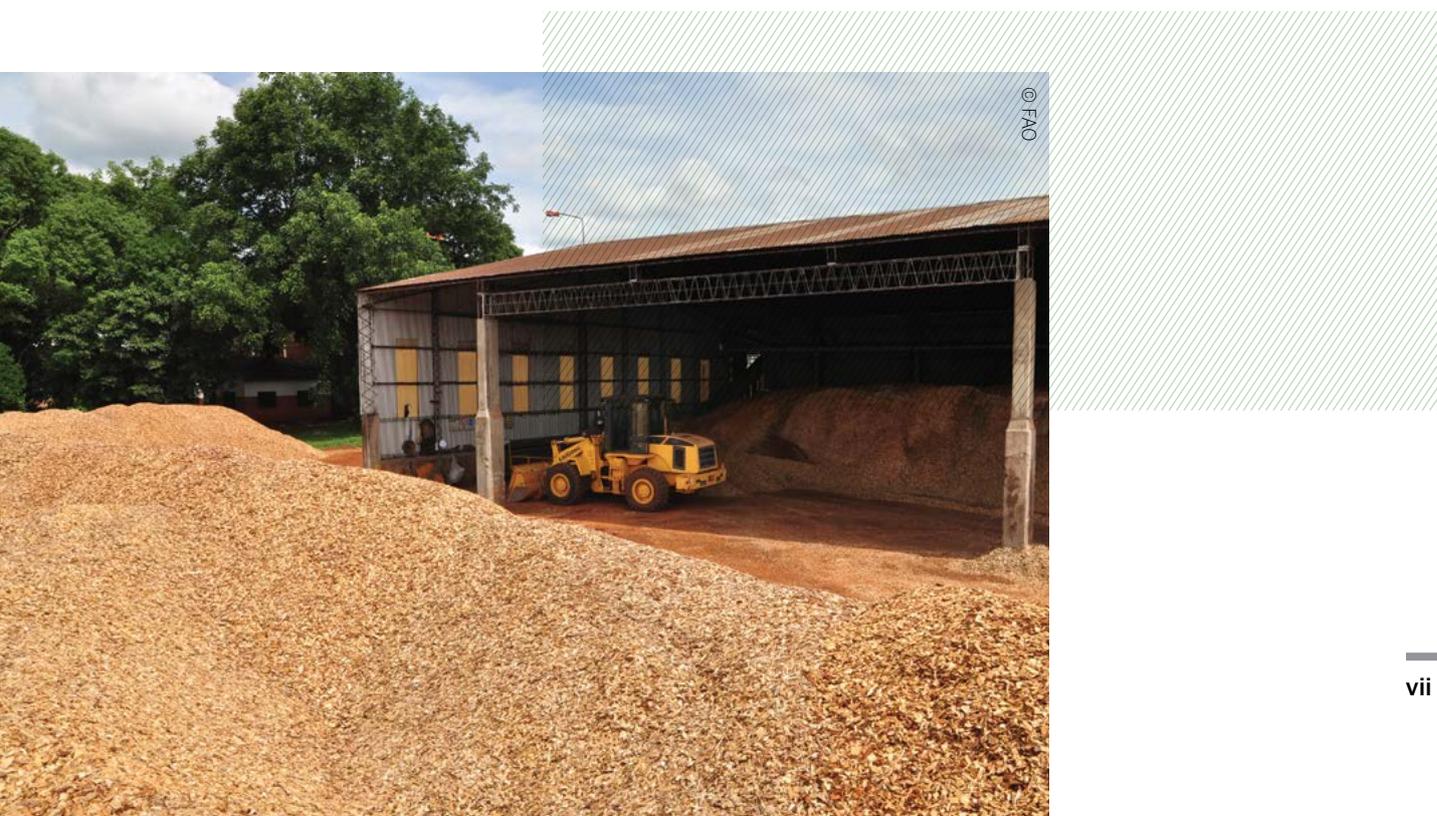


---

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/os del Proyecto e instituciones parte, con el propósito de divulgar los conocimientos y resultados alcanzados, y de esta forma, contribuir al desarrollo de negocios y al diseño, formulación y ejecución de políticas públicas que promuevan el crecimiento del sector bioenergético en Argentina.



---

# Agradecimientos



---

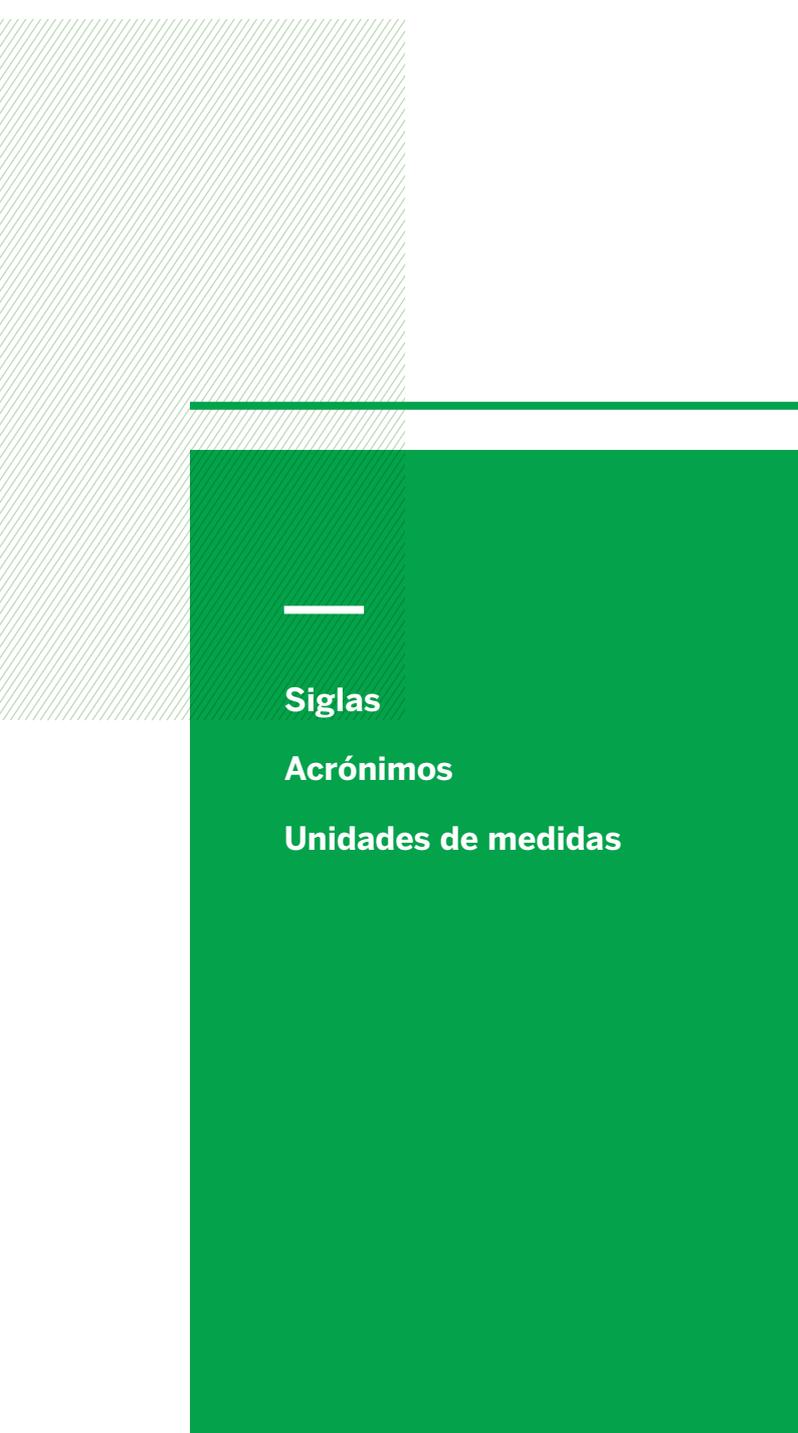
La elaboración de esta publicación ha sido posible gracias a la cooperación de los siguientes organismos nacionales, cuyas denominaciones actuales establecidas en el Decreto N.º 13/2015 son: Ministerio de Agroindustria, Ministerio de Energía y Minería, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Educación y Deportes, Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, Fondo Especial del Tabaco (FET), 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) y Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).

Del mismo modo, se agradece a las reparticiones provinciales, a saber: Ministerio de Desarrollo Productivo, Dirección de Agricultura, Dirección de Minería, Dirección de Flora, Fauna Silvestre y Suelos, Dirección de Industria y Energía, Secretaría de Medio Ambiente, Dirección General de Catastro, Infraestructura de Datos Espaciales de Tucumán (IDET) y Dirección Provincial de Estadísticas (Secretaría de Planeamiento y Gestión Pública).

A los mencionados, se le suman la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Estación Experimental Agropecuaria Famaillá), el INTI-Tucumán, la Fundación ProYungas, la Universidad Nacional de Tucumán (Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Estudios Geográficos «Guillermo Rohmeder»), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Tucumán, la Cámara de Foresto Industria de Tucumán (CAFITUC), la Asociación de Empresarios Madereros y Afines (ADEMA) y el Instituto de Promoción del Azúcar y Alcohol de Tucumán (IPAAT).

Se agradece a la Secretaría de Desarrollo Productivo, en especial a la Dirección de Programación, a cargo de la Ing. Mónica Odstrcil, que facilitó la gestión de los diferentes canales de comunicación para obtener la información necesaria para desarrollar el análisis espacial, a través de la Red de Información para el Desarrollo Productivo de la Provincia de Tucumán (RIDES). Todos ellos han trabajado mancomunadamente y con gran predisposición junto al equipo de trabajo del Componente de Fortalecimiento Institucional.

---



## Siglas

## Acrónimos

## Unidades de medidas

**ADEMA:** Asociación de Empresarios Madereros y Afines

**BAHRA:** Base de Asentamientos Humanos de la República Argentina

**BEN:** Balance Energético Nacional

**CAA:** Centro Azucarero Argentino

**CAFITUC:** Cámara de Foresto Industria de Tucumán

**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

**DPF:** Dirección de Producción Forestal

**DQO:** Demanda química de oxígeno

**EEAOC:** Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres

**EGO:** Environment for Geoprocessing Objects

**ENARSA:** Energía Argentina SA

**ETM+:** Enhanced Thematic Mapper Plus

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

**FET:** Fondo Especial del Tabaco

**FODER:** Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables

**GEI:** Gases de efecto invernadero

**GENREN:** Generación de energía eléctrica a partir fuentes renovables

**HRVIR:** High-Resolution Stereoscopic

**IDET:** Infraestructura de Datos Espaciales de Tucumán

**IEA:** International Energy Agency

**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

**INV:** Instituto Nacional del Vitivinicultura

---

**IPAAT:** Instituto de Promoción del Azúcar y Alcohol de Tucumán

**IRS:** Indian Remote Sensing

**ISAP:** Informe Sintético de Actividad de las Provincias

**LISS:** Linear Imaging Self Scanning Sensor

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

**MEM:** Mercado Eléctrico Mayorista

**MinPlan:** ex Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios

**NOA:** Noroeste Argentino

**OTBN:** Ordenamiento Territorial de Bosque Nativo

**PERMER:** Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales

**PIB:** Producto bruto interno

**PRECOP:** Proyecto de Eficiencia de Cosecha y Postcosecha de Granos

**PROSAP:** Programa de Servicios Agrícolas Provinciales

**RAC:** Residuos agrícola de cosecha

**RER:** Relevamiento de Escuelas Rurales

**RIDES:** Red de Información para el Desarrollo Productivo de la Provincia

**RSU:** Residuos sólidos urbanos

**SA:** Sociedad Anónima

**SAyDS:** ex Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

**SEGEMAR:** Servicio Geológico Minero Argentino

**SEMA:** Secretaría de Estado de Medio Ambiente

**SENASA:** Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

**SIG:** Sistema de información geográfica

**SIPROSA:** Sistema Provincial de Salud de Tucumán

**SPOT:** Satellite Pour l'Observation de la Terre

**UNAM:** Universidad Nacional Autónoma de México

**UNSE:** Universidad Nacional de Santiago del Estero

**UPE:** Unidad Provincial Ejecutora

**WISDOM:** Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping

**GW/h:** Gigavatio hora

**ha:** hectárea

**kcal:** kilocaloría

**km<sup>2</sup>:** kilómetro cuadrado

**kW:** kilovatio

**l:** litro

**MJ/kg:** Megajulio kilogramo

**m:** metro

**mm:** milímetro

**mm<sup>3</sup>:** milímetro cúbico

**msnm:** metros sobre el nivel del mar

**MW:** Megavatio

**tep:** tonelada/s equivalente/s 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 Tucumán, 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 Tucumán, 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:



© FAO

- 
- **Oferta directa:** caña de azúcar (74,9%), bosque nativo (16,6%), cítricos (5,3%), arbustal y pastizal (2,8%), forestaciones (0,3%) y tabaco (0,02%).
  - **Oferta indirecta:** ingenios (99,88%), secaderos de tabaco, acopiadores de tabaco y bodegas (0,22%).

Con respecto al consumo de biomasa con fines energéticos, los sectores demandantes considerados fueron la industria azucarera (98,18%), las ladrilleras (0,90%), el sector residencial (0,85%) y las escuelas rurales (0,05%).

En resumen, y teniendo en cuenta todos estos componentes, se estimó que la oferta directa provincial accesible, física y legalmente, es de 1 581 407 tn/año. Mientras que la oferta indirecta es de 3 781 080 tn/año. Por su parte, la demanda actual estimada es de 3 846 558 tn/año. En consecuencia, el balance resultante entre la oferta potencial y el consumo actual estimado da un superhábit de 1 515 928 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, cría de porcinos) y de la vinaza (subproducto de la industria azucarera). La oferta potencial provincial es de 44 267 toneladas equivalentes de petróleo (tep) por año, que se constituye por los aportes de *feedlots* bovinos (2 953 tep/año), porcinos (675 tep/año), tambos bovinos (152 tep/año) y vinaza (40 487 tep/año).

En conclusión, se confirma que la Provincia de Tucumán posee un gran potencial bioenergético debido al volumen y a la amplia variedad de fuentes de biomasa seca y húmeda existente, susceptible de ser aprovechada 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 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"<sup>1</sup> (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 prioritarias para el desarrollo de combustibles leñosos. La metodología WISDOM

está basada en 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 del sector 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).
- Conocer la disponibilidad de recursos de biomasa, siendo de gran utilidad para promotores de proyectos de energías renovables.

---

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

- 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 promoción 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 Tucumán, a través de la Secretaría de Desarrollo Productivo, 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 Secretario de Desarrollo Productivo de la Provincia, Ing. Bartolomé del Bono, como Punto Focal Institucional, y a la Directora de Programación, Ing. Mónica Odstrcil, como Punto Focal Técnico para implementar, monitorear y hacer el seguimiento de las actividades relacionadas con el Proyecto.

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 posibles fuentes de información para incorporar al WISDOM Tucumán. Como resultado de este proceso, el *Componente de Fortalecimiento Institucional* desarrolló una versión preliminar del WISDOM Tucumán, para ser puesta a consideración de los especialistas provinciales, logrando una versión final enriquecida, corregida y consensuada que aquí se presenta.

En abril de 2015, se dictó en la ciudad de San Miguel de Tucumán el "Curso-Taller para la Implementación de la Metodología WISDOM en la Provincia de Tucumán". El mismo tuvo como objetivos: presentar a técnicos de instituciones de Tucumán la primer versión del Modelo de Oferta y Demanda de Biomasa de la Provincia de Tucumán; capacitar a los profesionales de la Provincia en la lógica y en la estructura de la metodología WISDOM y en el empleo de las aplicaciones informáticas utilizadas; consensuar y programar mejoras en el modelo.

---

**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.**

---

Al curso asistieron técnicos de organismos públicos, académicos y del ámbito privado: Dirección de Programación, Unidad Ejecutora para el Desarrollo Productivo, Dirección de Flora, Fauna Silvestre y Suelos, Dirección de Industria y Energía, Dirección de Estadística (Secretaría de Planeamiento y Gestión Pública), INTA, INTI, Estación Experimental Agropecuaria Obispo Colombres (EEAOC), Fundación ProYungas y Universidad Nacional de Tucumán (Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Estudios Geográficos “Guillermo Rohmeder”). A cada uno de los participantes se le entregó un manual impreso elaborado específicamente para dicho curso y como material de apoyo para la UPE, así como la información digital correspondiente.

A partir del modelo conceptual trabajado por el *Componente de Fortalecimiento Institucional*, que se materializó en la primera versión del WISDOM Tucumán,

se repasaron entre todos los asistentes cada uno de los elementos que componen los módulos de la metodología adaptados a esta provincia. Se identificaron elementos que no estaban siendo contemplados aún, así como otros que debían excluirse. Para cada componente, se mencionó la posible fuente de información, su nivel de detalle y grado de actualización. Asimismo, se consensuaron aquellos elementos que debían priorizarse en el modelo provincial y otros que sólo debían ser incorporados para estudios específicos, ya sea porque requieren relevamientos de campo complejos o porque superan el nivel de detalle pretendido para un WISDOM a escala provincial.

En el transcurso del año 2015, se incorporaron nuevos datos y las recomendaciones aportadas por las instituciones convocadas, obteniendo 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 diversidad 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 posee una alta dependencia geográfica. Esto hace que el costo de transporte constituya una parte significativa del

costo total de producción, del 33 al 50 % (Sultana y Kumar, 2012), por ello es indispensable conocer espacialmente su disponibilidad, para lo cual las herramientas de Sistemas de Información Geográfica son particularmente apropiadas.

A nivel global, durante los últimos años, el empleo de biomasa con fines energéticos ha ido ganando espacio en las agendas públicas de todos los países. El estímulo a las energías limpias renovables, por parte de los gobiernos nacionales y locales, se ha convertido en prioridad, si se tiene en cuenta no 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.
- Conversión de pasivos ambientales (residuos, efluentes) en materia prima energética.

**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 feedlots 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)

- Redistribución de ingresos hacia el sector rural.
- Facilidad de conservación y almacenamiento.

La Tabla 1 muestra la clasificación de los biocombustibles de acuerdo a sus características, donde los “dendrocombustibles” se circunscriben a las fuentes de biomasa leñosa, los “agrocombustibles” se relacionan con la biomasa herbácea, de frutas y semillas, y la categoría “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.

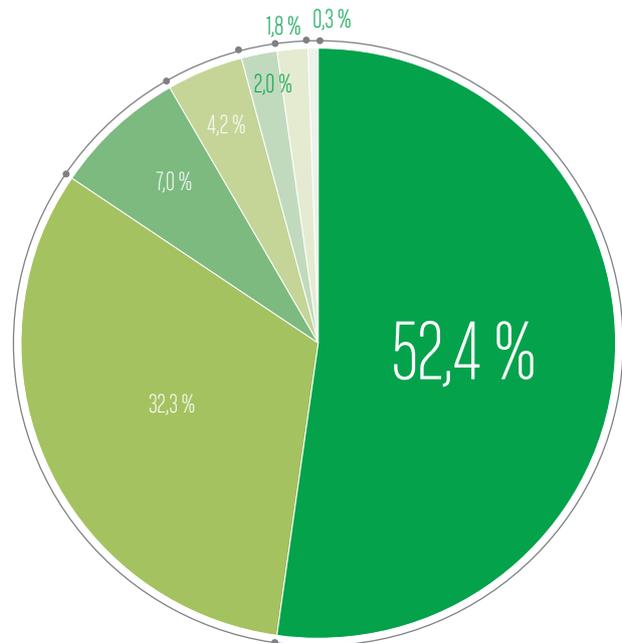
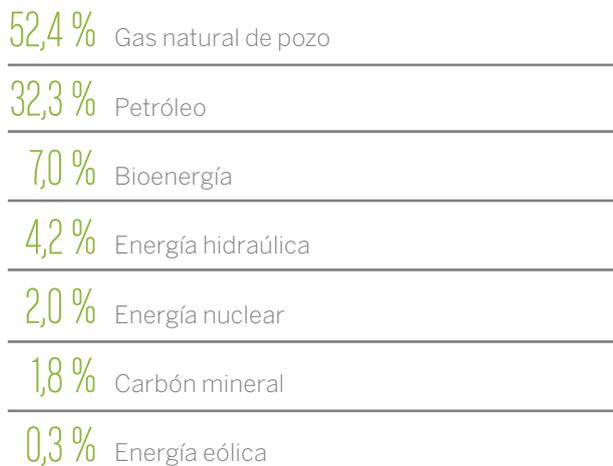
El uso de la bioenergía tiene una significativa participación en la matriz energética mundial (10%), aunque la distribución difiere marcadamente entre las distintas regiones del globo (IEA, 2009). En la República Argentina, según las cifras del Balance Energético Nacional (BEN), del año 2014, las fuentes 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 residuos pecuarios. Las energías hidráulica, nuclear, eólica y solar representan un 6,5 % de la oferta total de energía primaria del país, mientras que los com-

**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.





# TUCUMÁN

Primera planta de biogás proveniente de la industria cítrica - CITRUSVIL

2 biodigestores

residuos de efluentes líquidos

33 000 m<sup>3</sup>  
de biogás diarios

20 000 m<sup>3</sup>  
metano por día

ENERGÍA  
TÉRMICA

biogás reemplaza el 19%  
del gas natural consumido

bustibles 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).

En la región del Noroeste Argentino (NOA), Tucumán es la provincia con mayor capacidad instalada para la generación de energía eléctrica, que en su mayor parte proviene de centrales térmicas de alto rendimiento que operan con gas natural. No obstante, produce tres veces más de lo que consume, hecho que convierte a la Provincia en el principal nodo de generación y distribución de energía eléctrica del NOA, a través del sistema interconectado nacional.

La Provincia de Tucumán ha sido la primera provincia del país en cogenerar energía eléctrica utilizando el bagazo de la caña de azúcar y en producir biogás a través del aprovechamiento de los residuos de la industria citrícola. Asimismo, se ha promovido la producción de energía a partir de fuentes renovables, sustituyendo parcialmente los combustibles fósiles por biomasa, hidroelectricidad y energía solar.

Hacia fines de 2009, el ingenio tucumano La Providencia fue el primero en generar energía eléctrica a partir del bagazo de caña de azúcar. La planta produjo 11 MW, en su primera etapa. Siguiendo esta línea, las inversiones realizadas y proyectadas por los ingenios tucumanos podrían convertir a estas industrias en potentes usinas energéticas. En 2010, entró en funcionamiento una central térmica a partir de biomasa, en el Ingenio Santa Bárbara, con una potencia de 16 MW y una generación

eléctrica de 10,8 GW/h x año. Dicha central generó, entre junio y agosto de 2015, 5,02 GW/h.

Desde el momento en que el gobierno provincial promoviera la modificación a la Ley Nacional N.º 26 093 de biocombustibles, que habilita la mezcla de bioetanol que se obtiene de la caña de azúcar con naftas, el sector azucarero inició un fuerte proceso de inversión para la adecuación y construcción de nuevas destilerías, deshidratadoras de alcohol y mezcladoras de combustibles, entre otras inversiones.

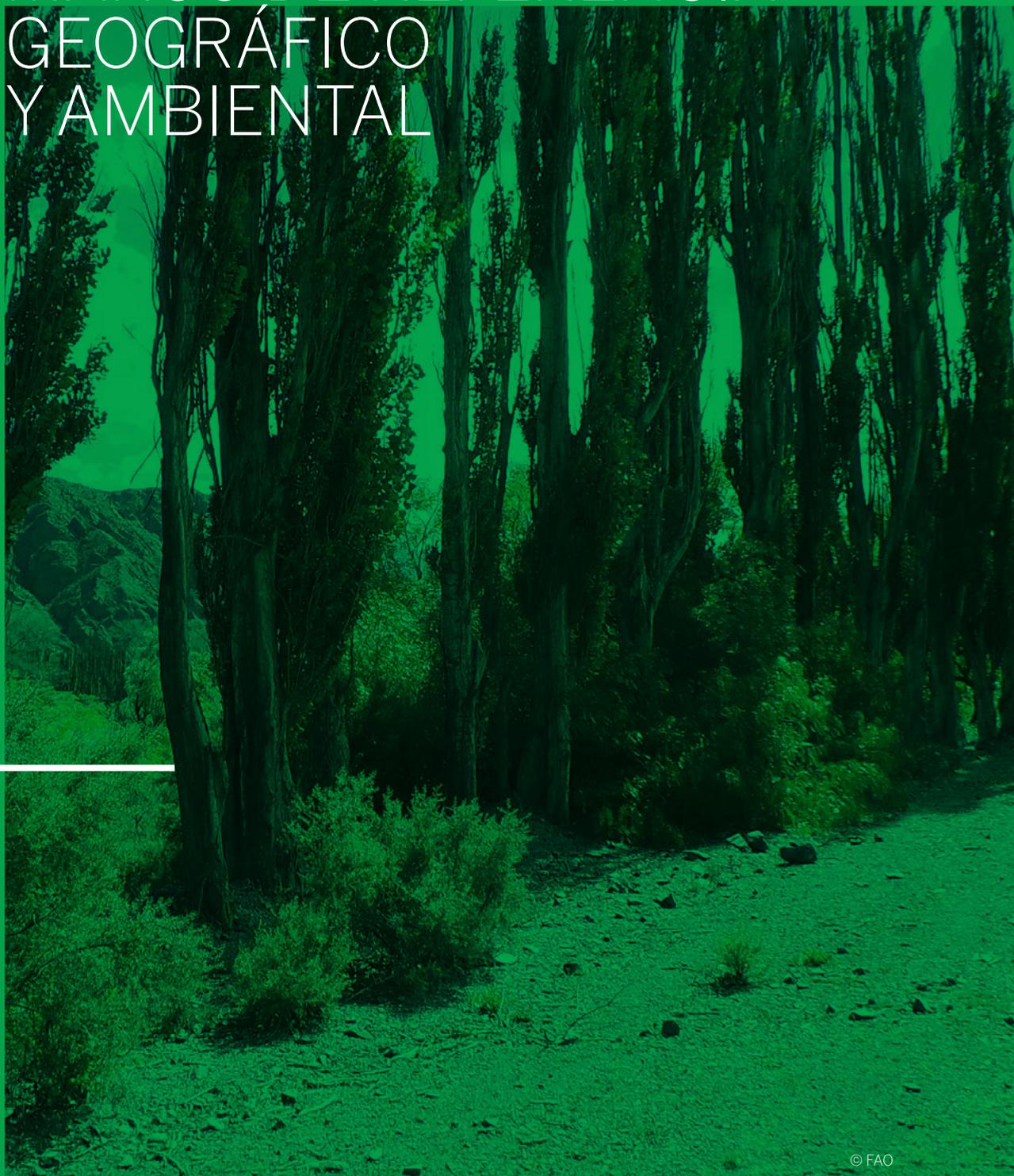
También, en el año 2009, se inauguró en Tucumán la primera planta de producción de biogás del país, a partir del tratamiento de efluentes de la industria citrícola. Esto tuvo lugar en CITRUSVIL S.A., una de las procesadoras de cítricos más grandes del mundo, cuya producción principal es el limón. La planta de biogás cuenta con dos biodigestores que aprovechan los residuos provenientes de los efluentes líquidos de los propios procesos industriales, para generar alrededor de 33 000 m<sup>3</sup> diarios de biogás, lo que equivale a 20 000 m<sup>3</sup> de metano por día. Actualmente, el gas producido en esta planta se utiliza para generar energía térmica. El biogás capturado permite reemplazar cerca del 19 % del gas natural actualmente consumido por CITRUSVIL. Al igual que este emprendimiento, otros similares están llevándose a cabo en otras empresas industrializadoras de cítricos de Tucumán (Dirección de Promoción, 2009; EEAOC, 2016<sup>2</sup>).

2. Comunicación personal, julio 2016.

**La Provincia de Tucumán ha sido la primera provincia del país en cogenerar energía eléctrica utilizando el bagazo de la caña de azúcar y en producir biogás a través del aprovechamiento de los residuos de la industria citrícola.**

---

# 3. MARCO DE REFERENCIA GEOGRÁFICO Y AMBIENTAL



---

---

**Desde el punto de vista físico y natural, la Provincia presenta una amplia variedad de paisajes que se corresponden con una diversidad orográfica, climática y de ecosistemas.**

---

La Provincia de Tucumán tiene una superficie de 22 524 km<sup>2</sup>, que representa el 0,8 % del total nacional, y registra la mayor densidad poblacional del país (64,3 hab/km<sup>2</sup>). Administrativamente, se divide en 17 departamentos y, según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (CNPHyV), en 2010, contaba con una población de 1 448 188 habitantes (INDEC, 2010).

La población se distribuye de manera heterogénea en el territorio provincial, ya que más del 90 % se concentra en 5 000 km<sup>2</sup> de la llanura central, principalmente a lo largo de un eje urbanizado de 100 km de longitud, que se inicia en el extremo sur y culmina en San Miguel de Tucumán, que alberga alrededor de 550 mil personas. Este eje contiene las seis ciudades principales del interior de la Provincia (DAMI, 2014).

De acuerdo con datos del INDEC, en el año 2010, la población urbana representaba el 80 % del total provincial. La misma fuente indicaba también que, de un universo de 368 572 hogares, un 98,5 %, se encontraba conectado a la red eléctrica (INDEC, 2010). En cuanto al combustible utilizado para cocinar, un 55 % de los hogares empleaba gas envasado; un 40 %, gas de red; y, un 4 %, leña o carbón vegetal. Por otra parte, en 2015, 2 700 usuarios eran alcanzados por el Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER).

Desde el punto de vista físico y natural, la Provincia presenta una amplia variedad de paisajes que se corresponden con una diversidad orográfica, climática y de ecosistemas. El área montañosa está constituida por dos grandes sistemas, que exceden los límites provinciales y son: las sierras pampeanas noroccidentales y las sierras subandinas o del nordeste (DAMI, 2014).

Las precipitaciones constituyen la principal fuente de alimentación de los cursos de agua que drenan la vertiente oriental de la sierra y de las cuencas subterráneas. El régimen de precipitaciones es de tipo monzónico, donde el máximo de lluvias coincide con las máximas temperaturas. Aproximadamente, el 85 % de las precipitaciones anuales se concentra durante el semestre cálido, que tiene lugar entre octubre y marzo. Actualmente, en la región semiárida de la provincia, las lluvias se encuentran entre un 20 y un 30 % por encima del promedio histórico. Este fenómeno amplió el área potencialmente agrícola en unas 20 millones de hectáreas.

Tucumán posee formaciones leñosas correspondientes a tres provincias fitogeográficas: Chaqueña, de las Yungas y del Monte. La vegetación responde a un gradiente altitudinal asociado a la orientación de las laderas y a diferentes niveles de precipitación. La provincia fitogeográfica Chaqueña comprende las llanuras del este de la provincia

**En términos productivos, la Provincia de Tucumán representa el 2,5 % del Producto Bruto Interno (PBI) de la Argentina y el 35 % del PBI del NOA. Estas cifras muestran la preponderancia de Tucumán en la región.**

y una importante extensión del distrito Chaqueño Serrano, en el Valle de Trancas<sup>3</sup> (Cabrera, 1971). La provincia fitogeográfica de las Yungas se ubica en los faldeos de las sierras, entre los 400 y 2 000 msnm; y, sumada a la Selva Paranaense, alberga el 50 % de la biodiversidad del país. Tradicionalmente la región ha sido reconocida por sus recursos forestales, con más de 200 especies de árboles, de los cuales 15 son de interés forestal<sup>4</sup>. Por último, la provincia fitogeográfica del Monte se extiende en sen-

3. Entre las principales especies forestales de esta formación, pueden nombrarse: *Schinopsis lorentzii*, *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Ziziphus mistol* y *Prosopis spp.*

4. Algunas de las especies forestales de importancia son: *Cedrela lilloi*, *Juglans australis*, *Alnus acuminata*, *Anadenanthera colubrina*, *Blepharocalyx gigantea*, *Phoebe porphyria*, *Myrcianthes pungens*, *Podocarpus parlatorei*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Tipuana tipu*, *Pisonia zapallo*, *Handroanthus impetiginosus*, *Patagonula americana*, *Jacaranda mimosifolia*, *Myroxylon peruiferum*, entre otras.

tido norte-sur, en el área de los Valles Calchaqués<sup>5</sup> (SAyDS, 2004).

El potencial productivo y la localización de las distintas actividades se correlacionan con las condiciones agroecológicas de los diferentes ambientes de la Provincia. En este sentido, la producción agrícola se encuentra concentrada en el pedemonte húmedo de las Yungas y se extiende por las llanuras hacia el este, dentro de la provincia fitogeográfica Chaqueña. Para el año 2014, la principal producción agrícola fue la caña de azúcar, cultivada en una superficie de 265 250 ha. También fueron importantes los cultivos de soja, trigo y maíz (173 070 ha, 80 590 ha y 71 000 ha, respectivamente). Entre la producción de frutales, se destacó el limón con 40 300 ha, principalmente en el pedemonte húmedo de las Yungas (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2015).

En términos productivos, la Provincia de Tucumán representa el 2,5 % del Producto Bruto Interno (PBI) de la República Argentina y el 35 % del PBI del NOA (ISAP, 2015). Estas cifras muestran la preponderancia de Tucumán en la región. Según cifras de 2012, la estructura exportadora de la Provincia se diversificaba en: 38 % de productos primarios, 33 % de manufacturas de origen agropecuario y 29 % de manufacturas de origen industrial (INDEC, 2013).

5. En esta región, se localizan las poblaciones de Colalao del Valle y Amaicha del Valle. La vegetación, en general, corresponde a pastizales y arbustales de jarilla (*Larrea spp.*), con algunos bosques de *Prosopis spp.* y *Salix humboldtiana*, en los bordes de salinas y márgenes de ríos.



© FAO

---

# 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 ciertas características esenciales (FAO, 2009).

- Multisectorialidad: involucran diferentes sectores, tales como el forestal, el industrial, el energético, el agrícola, el residencial y el comercial, que deben ser concebidos en sus interrelaciones, si se pretende realizar una planificación pública de largo plazo.
- Interdisciplinariedad: el análisis de los sistemas bioenergéticos requiere la concurrencia de una multiplicidad de ciencias y técnicas, como la gestión forestal y la silvicultura, las ciencias ambientales, la ingeniería, la agronomía, la geografía, entre otras.
- Especificidad geográfica: la oferta de recursos biomásicos presenta una disponibilidad variada y una extensa distribución a lo largo del territo-

rio. 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 los estudios sitio-específicos.

- Heterogeneidad en las fuentes de oferta de biomasa<sup>6</sup>: 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 disímiles tanto cualitativa como cuantitativamente. Así, hallamos grandes consumidores industria-

---

6. 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



© FAO

les 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 ésta 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. Entre los diferentes recursos biomásicos con fines energéticos, históricamente se ha destacado la leña, 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 2000 millones de personas en los países en desarrollo (FAO, 2010).

Asimismo, un aspecto crítico de los sistemas bioenergéticos, que se relaciona directamente con la especificidad geográfica, es el acceso y traslado de los recursos biomásicos. La baja densidad energética de la biomasa y su alta dispersión geográfica hacen que los grandes volúmenes 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 FAO<sup>7</sup> 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 los agroindustriales. Esta versión "extendida" es la que se utilizó para realizar el WISDOM Argentina (FAO, 2009).

7. 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 Tucumán 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*), porcinos y para la vinaza (efluente residual orgánico de la industria azucarera).**

---

Un componente innovador en el WISDOM Tucumán 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*), porcinos y para la vinaza (efluente residual orgánico de la industria azucarera).

El "Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles" es una metodología que se apoya en una plataforma SIG, donde se integran datos, estadísticas e información procedentes de múltiples ámbitos y se los dispone espacialmente. Al no presentar una estructura rígida ni utilizar un *software* predeterminado, esta metodología permite un alto grado de flexibilidad y adaptabilidad frente a la heterogeneidad y fragmentación de los datos e información disponibles sobre producción y consumo de bioenergía. Además, el enfoque WISDOM tiene la ventaja de considerar el contexto completo de la oferta y la demanda, lo que brinda un apoyo consistente para alcanzar el objetivo de definir zonas de oferta sustentable o sitios específicos de consumo, tales como las principales ciudades o centros poblados, y la identificación de áreas en las que resulte necesario potenciar las plantaciones con fines energéticos (FAO, 2009).

Para realizar el análisis espacial integrado sobre oferta y demanda de biomasa con fines energéticos

de la Provincia de Tucumán, se utilizaron diversos software de código abierto: *R*, *Quantum Gis* y *Dinamica EGO* (*Environment for Geoprocessing Objects*, por sus siglas en inglés). El programa *R* se usó para sistematizar las bases de datos geográficos 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 completa<sup>8</sup>; el *Quantum Gis*, se empleó para editar archivos vectoriales, enmascarar y recortar las capas ráster, y producir los mapas temáticos presentados en este informe; por último, el *Dinamica EGO*, se utilizó para integrar la información y 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 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.

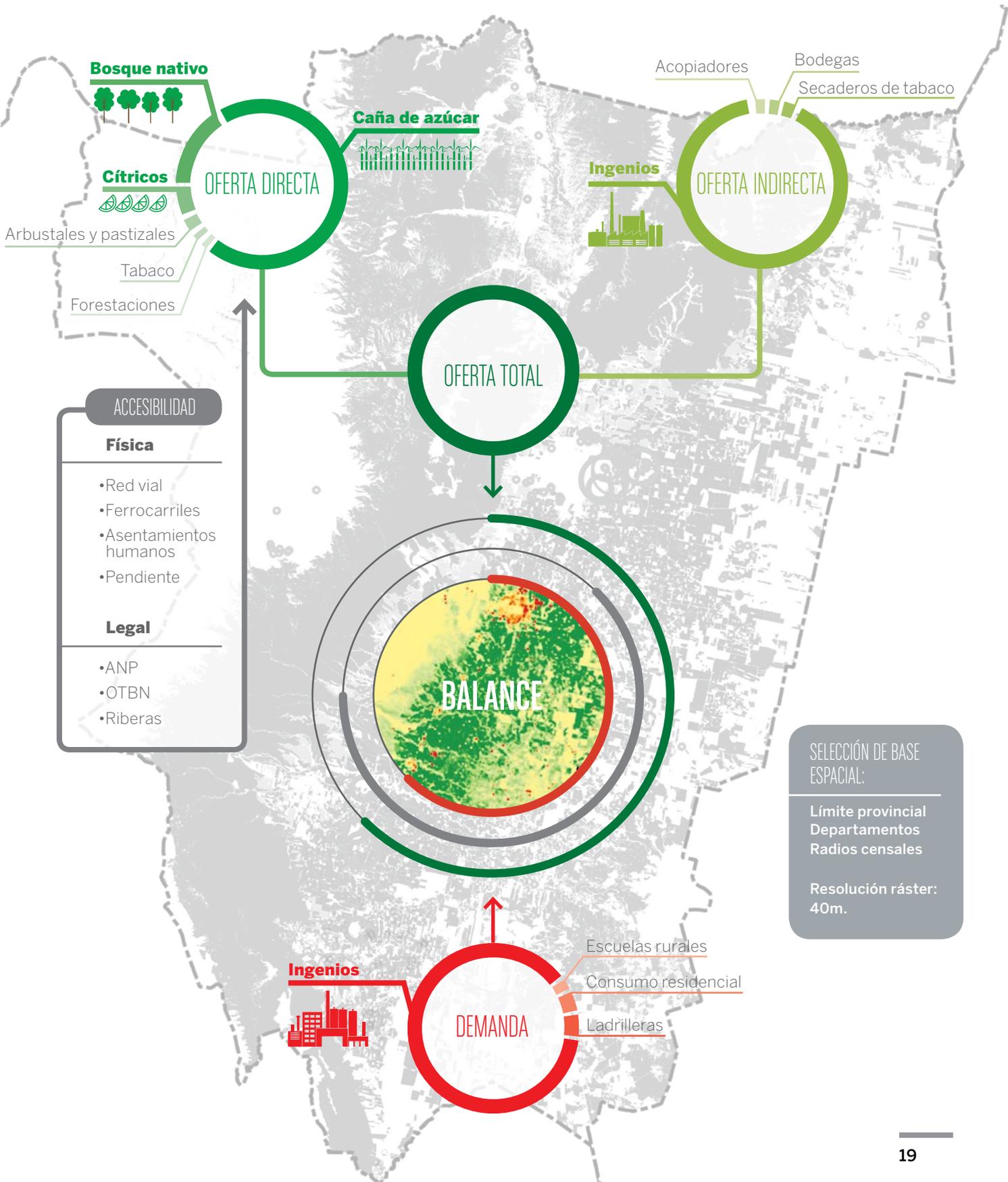
Adicionalmente, se desarrolló un quinto módulo sobre oferta de biomasa húmeda.

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

---

8. Esto se realiza, para que todos los ráster con los que opere el *Dinamica EGO* tengan la misma extensión y tamaño de celda y el mismo número de filas y columnas, y que las celdas de las diferentes capas coincidan en el espacio.

Gráfico 2. Modelo Conceptual WISDOM Tucumán.



---

# 5. MÓDULOS Y RESULTADOS DEL WISDOM TUCUMÁN

- 
- 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

---

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

### **5.1 Unidad de análisis y resolución espacial**

El nivel mínimo de análisis utilizado fue el radio censal, correspondiente a la unidad censal de mayor desagregación cartográfica, con el objeto de lograr el más alto nivel de detalle y garantizar la correspondencia con los datos del CNPHyV (INDEC, 2010). No obstante, se trabajó a escala departamental cuando la información y datos estadísticos se encontraban disponibles a este nivel de detalle. De esta manera, la estructura administrativa considerada presenta 17 departamentos con 547 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 3 POSGAR 94 WGS84. El límite provincial se confeccionó a partir de los límites departamentales de la Dirección General de Catastro de Tucumán.

### **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 Tucumán, se consideraron: el residuo agrícola de cosecha (RAC) de la caña de azúcar y del tabaco; la biomasa resultante de la poda, el raleo y los residuos de cosecha de las plantaciones forestales; el incremento medio anual (IMA) del bosque nativo, de arbustales y pastizales; y la poda o renovación de plantas proveniente del manejo de cítricos.

En relación a los cultivos agrícolas extensivos relevados en la Provincia, como la soja o el maíz, los residuos de cosecha no han sido considerados para usos energéticos. Esto se debe a que bajo la práctica de la siembra directa y dado el alto nivel de mineralización de estos suelos, los residuos se mantienen sobre la superficie 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 poseían una mayor resolución y ajuste espacial.

**5.2.1 Cultivos**  
**Caña de azúcar**

La caña de azúcar es el cultivo más extendido en la Provincia y, a su vez, una importante fuente de biomasa con potencial energético, tanto si se considera el RAC como la generación de bagazo y vinaza en la etapa industrial.

Las labores culturales y la industrialización de la caña de azúcar permiten la transformación de sus residuos y subproductos, RAC, bagazo y vinaza, para generar o cogenerar calor de proceso o energía eléctrica. La cantidad teórica de energía que puede obtenerse de una tonelada de caña de azúcar, utilizando el bagazo, RAC, alcohol y vinaza, es equiparable a la energía que puede obtenerse de un barril de petróleo (EEAOC, 2011).

Según el Centro Azucarero Argentino (CAA), la Provincia de Tucumán aportó, en 2014, el 64,5 % de la producción nacional de azúcar, mientras que la Provincia de Jujuy contribuyó con un 23,2 % y la Provincia de Salta, con un 11,5 %. En el Gráfico 3, pueden observarse los aportes relativos por provincia.

La quema de la caña de azúcar en pie y la posterior quema de los residuos luego de la cosecha son prácticas muy arraigadas en la Provincia de Tucumán, que responden a razones culturales, tecnológicas y económicas. Estas actividades disminuyen el rendimiento de los suelos, contaminan el aire, causan incendios en viviendas y tendidos eléctricos, además de desaprovechar los residuos biomásicos para su utilización como posible fuente de energía (Valeiro y Sopena, 2009). Actualmente, son diversas las instituciones que buscan soluciones alternativas a esta compleja problemática (INTA, INTI, Universidades, organismos ambientales). Por su parte, la Provincia ha legislado al respecto, restrin-

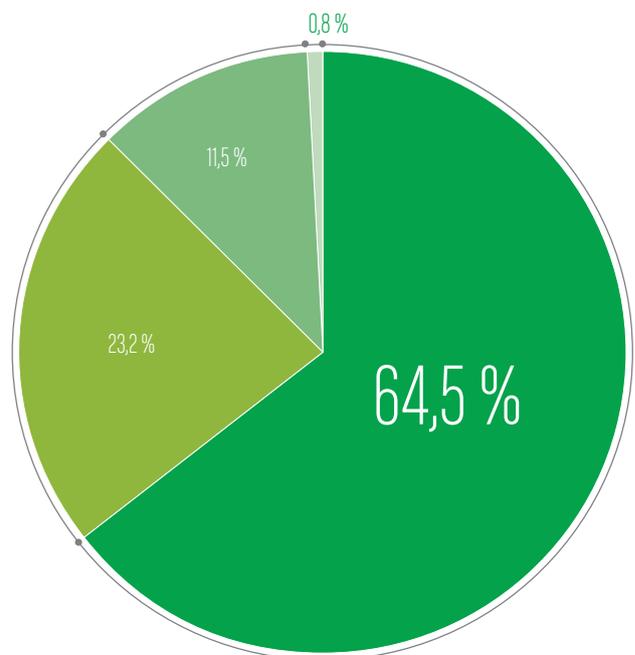
**Gráfico 3**

Caña de azúcar. Aporte relativo por provincias (en porcentaje). Zafra 2014.

**Fuente**

Centro Azucarero Argentino (CAA, 2014).

64,5 %	Tucumán
23,2 %	Jujuy
11,5 %	Salta
0,8 %	Litoral



giendo progresivamente la quema de caña<sup>9</sup>. Hoy está totalmente prohibido cualquier tipo de quema, independientemente del tamaño de la parcela del productor y se ha creado un Sistema de Certificación de Buenas Prácticas<sup>10</sup>. El empleo del RAC de caña con fines energéticos es una alternativa que convierte a este residuo en un insumo que contribuye al ingreso económico del productor y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros impactos ambientales.

El volumen de RAC de caña, factible de recolección por hectárea de caña de azúcar cultivada, depende del rendimiento, la tecnología empleada y las necesidades edáficas de la zona<sup>11</sup>. Por recomendación de expertos locales, se empleó un potencial de recolección del residuo de 5 tn/ha x año.

Para el análisis espacial de la oferta de biomasa de este cultivo, la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) brindó una capa ráster, con la distribución del cultivo de la caña de azúcar en Tucumán, correspondiente a la campaña

2013, la cual fue generada a partir de técnicas de clasificación digital empleando imágenes satelitales de los sensores HRVIR (SPOT 5), LISS III (IRS P6 *Resourcesat* 1) y ETM+ (*Landsat* 7). Esta capa geoespacial fue categorizada en 3 niveles de rendimiento: alto, medio y bajo, para los cuales se consideraron los siguientes valores de RAC de caña, a partir de un valor medio de 5 tn/ha (Tabla 2).

El cultivo de caña de azúcar se desarrolla al este de la Provincia, sobre la llanura central (Mapa 1). Los límites de este cultivo están definidos, al oeste, por las características climáticas y topográficas de la zona (pendientes pronunciadas y altas temperaturas); y, al este, por la expansión de los cultivos de grano, como la soja, maíz y trigo. Los departamentos que podrían aportar la mayor cantidad de residuos biomásicos al sistema son Leales, Cruz Alta, Simoca y Burreyacuá, predominando valores de producción de caña de azúcar que van entre 57 y 75 tn/ha x año. En total, el sector estaría aportando al sistema 1 184 273 tn/año de residuos biomásicos.

9. Ley N.º 6 253/1991 y su modificatoria Ley N.º 7 459/2004, prohíben la quema de caña de azúcar como método alternativo de cosecha, excepto la quema controlada. Asimismo, la Ley N.º 7 876/07 prohíbe a los ingenios recibir caña de azúcar quemada y cosechada con máquinas integrales.

10. El Sistema de Certificación de Cosecha de Caña de Azúcar consiste en la implementación de un Protocolo local de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), por parte de los productores adherentes. Las BPA refieren a "prácticas orientadas a la sostenibilidad ambiental, económica y social para los procesos productivos de la explotación agrícola, que garantizan la calidad e inocuidad de los alimentos y de los productos no alimenticios" (FAO, 2003). A través de este protocolo, se podrá certificar que la cosecha y postcosecha de la caña de azúcar se realiza sin utilización del fuego. Éste ha sido elaborado en el marco de la Mesa de Gestión Ambiental de Cruz Alta, coordinada por el INTA, con la participación de distintos organismos públicos y privados comprometidos con la erradicación de la quema: SEMA, EEAOC, SIPROSA, Subsecretaría de Asuntos Agrarios y Alimentos, Dirección de Defensa Civil, Dirección de Fiscalización Ambiental, Grupo CREA Cañaverales de Tucumán, Asociación de Bomberos Voluntarios de Las Talitas, Sociedad Rural de Tucumán, Asociación Cañeros Unidos, Fundación ProYungas, Cooperativa de Trabajo Agropecuario La Merced, Los Cevilares, Juan José Budeguer, Transener SA, Central El Bracho y productores cañeros.

11. En aquellos suelos que sufrieron varias rotaciones del cultivo de caña, es recomendable dejar entre el 60 y el 70 % del RAC en el suelo para permitir la recuperación de nutrientes, mientras que en la en las zonas nuevas se recomienda dejar un 30 %.

## Cuadro 2

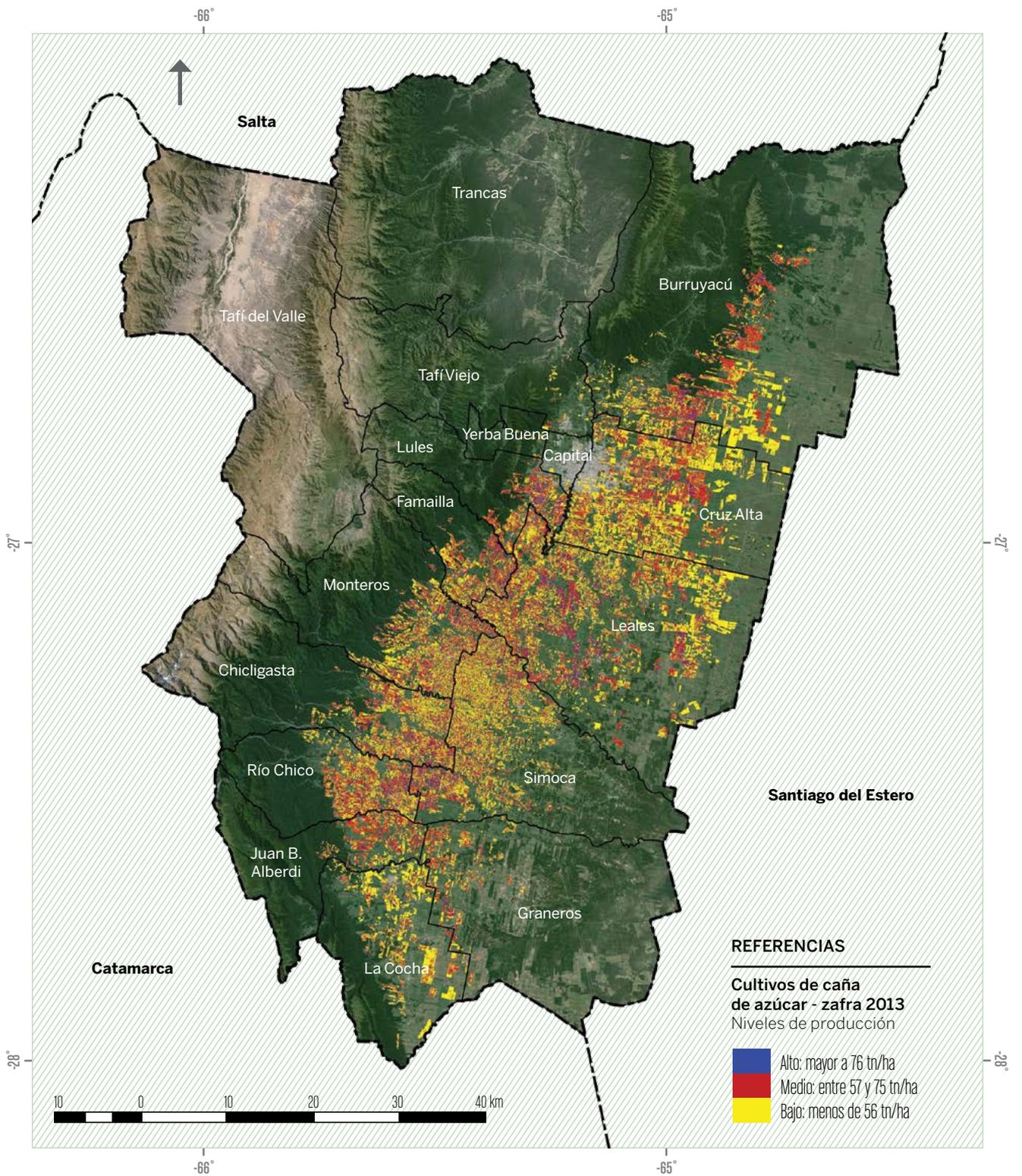
Valores de RAC considerados para el cultivo de caña de azúcar.

### Fuente

Adaptado en base a datos de EEAOCa (2013).

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

**Mapa 1.** Niveles de producción de caña de azúcar. Zafra 2013.  
**Fuente:** Adaptado en base a EEAOC (2013).



### Cítricos

En Argentina, existen aproximadamente 46 700 ha destinadas al cultivo del limón, de las cuales, el 82 % se ubica en Tucumán. La producción anual promedio, entre 2005 y 2014, fue de 1 191 000 tn (Ministerio de Desarrollo Productivo, Gobierno de Tucumán, 2015), con una producción de 588 000 tn/año. Tal es así que, en la Provincia, el limón ha desplazado fuertemente a otros cítricos. Después de la crisis de la industria azucarera, de mediados de la década de 1960, el limón se ha instalado en antiguas zonas cañeras y constituye hoy el segundo sector agroindustrial de Tucumán. En la actualidad, Argentina ocupa el primer puesto en el *ranking* mundial del cultivo de limón y lidera su industrialización, con casi el 45 % del total mundial (EEAOCb, 2013).

Un significativo porcentaje de la superficie destinada a este cultivo, se localiza en el territorio metropolitano, en el sector del pedemonte. Aproximadamente, el 70 % de la producción de limón se destina a la elaboración de jugos concentrados, aceite esencial y cáscara deshidratada. El restante 30 %, se comercializa en fresco. Tanto en lo que hace a la producción primaria como industrial, la actividad limonera de Tucumán es estructuralmente exportadora. El jugo concentrado es el primer derivado del procesamiento del limón y se destina a la elaboración de gaseosas y otras bebidas sin alcohol. El aceite esencial se utiliza en la industria de bebidas no alcohólicas y, en menor medida, para fabricar cosméticos y fármacos. Es el producto de mayor valor unitario del complejo. En la citricultura tucumana son prácticamente inexistentes las fincas minifundistas. En toda la Provincia, existen 10 industrias cítricas y 40 empaquetadoras registradas, de las cuales 30 se ubican en la zona metropolitana de San Miguel de Tucumán (DAMI, 2014).

La oferta de biomasa seca del cultivo de cítricos proviene de los residuos de poda y reemplazo de plantas. Los residuos de poda ascienden a 1,5 tn/ha x año<sup>12</sup>. Asimismo, es considerable el reemplazo de plantaciones por vejez y heladas, por lo que, para el presente trabajo, se consideró un residuo

biomásico seco anual de 3 tn/ha<sup>13</sup>. Actualmente, las cinco cítricas más importantes de la Provincia retornan al campo esta biomasa, cumpliendo con las exigencias ambientales de sus clientes. Igualmente, debido a la falta de datos, se consideró esa biomasa en el análisis, por lo que la estimación de estos residuos podría estar sobreestimada.

La distribución de este cultivo se obtuvo a partir de una capa ráster provista por la EEAOC, referida a la campaña 2012. Estos píxeles se reclasificaron por el valor estimado de residuos (3 tn/ha x año).

Los resultados del análisis arrojaron una estimación de 84 136 tn/año de residuos provenientes de los cultivos de cítricos. Los departamentos de Burruyacú, con 30 370 tn/año, y de Tafí Viejo, con 11 844 tn/año, son las unidades administrativas con los valores más altos de producción de residuos biomásicos con potencial energético.

El cultivo se ubica principalmente en la zona del pedemonte y se extiende desde el departamento de Burruyacú, al noreste, hasta La Cocha, al sur de la provincia (Mapa 2). Esta distribución longitudinal de la zona cítrica se debe a limitaciones por temperatura, hacia el este, donde la intensidad de las heladas aumenta, y, hacia el oeste, por la topografía, donde las pendientes impiden el desarrollo del cultivo (Pérez, 2001).

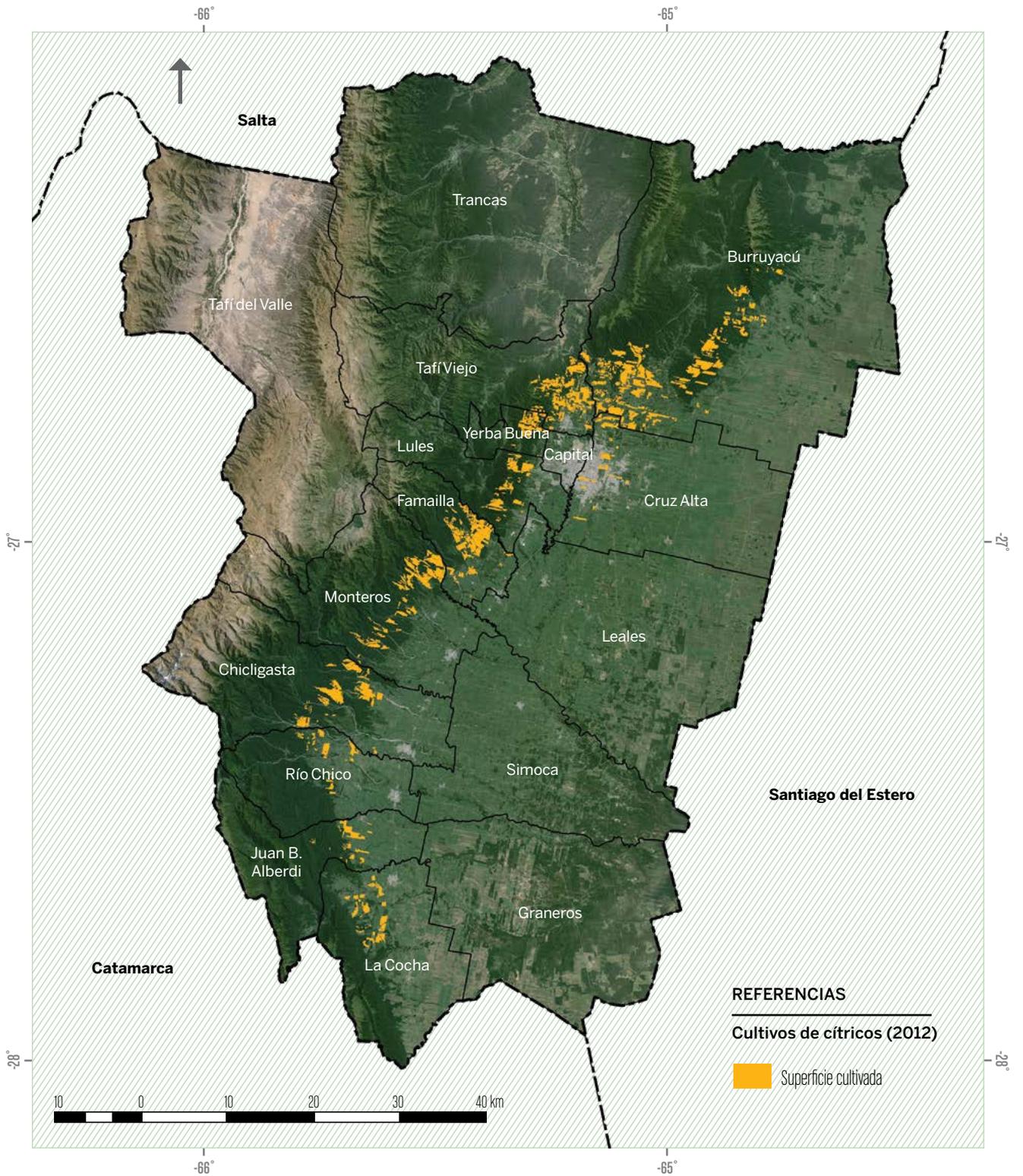
### Forestaciones

Las actividades de poda y raleo y los residuos de cosecha de las plantaciones forestales representan una oferta importante de biomasa potencialmente utilizable con fines energéticos. Para la determinación del volumen del rodal es necesario conocer su ubicación y superficie. Además, para su cuantificación, se requiere que la superficie del rodal esté acompañada de otros atributos, 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 la Dirección de Producción Forestal (DPF), perteneciente al ex Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (ex MAGyP).

12. Martínez Pulido, comunicación personal, abril 2015

13. Este fue el valor empleado en el WISDOM Argentina (FAO, 2009), consultado en APAT (2003).

**Mapa 2.** Superficie cultivada de cítricos. Campaña 2012.  
**Fuente:** Adaptado en base a EEAOC (2012).



En la Provincia de Tucumán, se contabilizaron 12 especies forestales pertenecientes a cinco géneros, en un total de 3 606 ha plantadas, en el año 2014. El pino (*Pinus spp.*) constituye el 75% del total de la superficie forestada. En la Tabla 3, se muestra la superficie forestada, discriminada por especie e identificada a partir de la información suministrada por la DPF, para la Provincia.

Con el fin de calcular la oferta potencial bioenergética derivada de las forestaciones, se empleó la información provista por la DPF, que consta de dos capas: una, correspondiente a los planes aprobados bajo el régimen de promoción forestal (Ley 25080); y, la otra, que posee parcelas que no necesariamente corresponden a ese régimen (planes no pagados) y predios digitalizados por fotointerpretación. El

tratamiento de los insumos consistió en integrar la geometría de ambas capas así como sus atributos. En los casos donde hubo datos faltantes correspondientes al diámetro a la altura del pecho (DAP) o altura, éstos se estimaron a partir de curvas de regresión.

Para procesar la información, se realizó una revisión bibliográfica de ecuaciones que relacionan la edad de las plantaciones con valores del IMA para cada especie a considerar, es decir, que correlacionan el DAP con la edad.

A su vez, fue necesario recopilar ecuaciones alométricas de biomasa por especie, para diferenciar los compartimentos que aportan biomasa sin destino maderero al modelo, como son: las cortezas, las ramas menores a 5 cm de diámetro (incluyen des-

### Cuadro 3

Especies implantadas y superficie ocupada en la Provincia de Tucumán, año 2014.

#### Fuente

Dirección de Producción Forestal (ex MAGyP).

Género	Superficie (ha)	Nomenclatura	Especie
<i>Pinus</i>	2 804,4	PIPE	<i>Pinus elliottii</i>
		PIPT	<i>Pinus taeda</i>
		PIPU	<i>Pinus patula</i>
<i>Eucalyptus</i>	541,1	EUEU	<i>Eucalyptus urophylla</i>
		EUEG	<i>Eucalyptus grandis</i>
		EUET	<i>Eucalyptus tereticornis</i>
		EUNA	<i>Eucalyptus sp.</i>
<i>Prosopis</i>	133,6	PPPA	<i>Prosopis alba</i>
		PPPC	<i>Prosopis chilensis</i>
<i>Populus</i>	112,3	PONA	<i>Populus sp.</i>
		POPD	<i>Populus deltoides</i>
<i>Araucaria</i>	14,9	ARAA	<i>Araucaria angustifolia</i>
<b>Total</b>	<b>3 606,3</b>		

puntes) y los frutos. La biomasa foliar no fue considerada, porque contiene un gran porcentaje de nutrientes y se recomienda dejarla en campo para favorecer el ciclo bio-geoquímico. Asimismo, se desestimó para este estudio el fuste, debido a que, en general, posee un mayor valor comercial y es utilizado con fines madereros.

Tal recopilación se realizó para los principales géneros y especies cultivados en la Provincia. Se utilizaron ecuaciones de regiones con aptitudes agroecológicas similares a la zona de estudio, debido a que no se encontró gran desarrollo de ecuaciones para Tucumán. Una vez homogeneizado el atributo DAP, se aplicó el conjunto de ecuaciones para estimar el IMA de biomasa que puede ser utilizada con destino energético. De este modo, se obtuvo una matriz con el valor de biomasa potencialmente disponible con fines energéticos, expresado en toneladas por hectárea para cada rodal.

Los resultados de este análisis indican que el sector forestal de Tucumán aportaría 4 709 tn/año de recursos biomásicos con fines energéticos. Las plantaciones forestales se distribuyen en toda la Provincia con predominancia en el departamento de Famaillá (1 299 tn/año) y Burruyacú (1158 tn/año).

### **Tabaco**

La actividad tabacalera en Argentina se concentra principalmente en las provincias de Salta, Jujuy, Misiones, Tucumán, Chaco, Corrientes y Catamarca. En el caso de las dos primeras, predomina el cultivo de la variedad Virginia y, en las restantes, la producción se concentra en las variedades Burley y Criollos. El 98,8 % de la superficie de tabaco cultivada en Tucumán, corresponde a la variedad Burley, mientras que el 1,2 % restante se dedica al tipo Virginia. El cultivo Burley se desarrolla en cuatro departamentos del sur de la Provincia (en la totalidad de las áreas cultivables de La Cocha y Alberdi, en el sur de Río Chico y en el oeste de Graneros) y en el departamento Trancas, en el norte. En tanto que, la producción de la variedad Virginia se extiende a lo largo de la Cuenca Tapia-Trancas, ubicada al norte de la Provincia, que se corresponde con la continuidad de la faja de cultivo de esta variedad en el Valle de Lerma, en la Provincia de Salta. El 85 % de los predios dedicados al tabaco en Tucumán, corres-

ponden a pequeños productores con superficies cultivadas menores a 5 ha (Corradini, 2005).

La cosecha del tabaco Virginia se realiza hoja por hoja, quedando en campo el resto de la planta como residuo biomásico. Las fuentes consultadas indican que la relación residuo producto es de 0,505 (Manrique y Franco, 2012; Martínez Pulido, comunicación personal, abril 2015). A los fines del análisis espacial de la oferta potencial de biomasa, se consideró un rendimiento de 2,2 tn/ha x año y un índice de disponibilidad de 0,85 (Manrique y Franco, 2012), por lo que se estimó que cada hectárea cultivada de tabaco Virginia generaría 0,94 tn/año de residuo biomásico.

Para este estudio, la variedad Burley se desestimó, dado que no deja una cantidad significativa de residuos en el campo, debido a que se cosecha la planta entera y el corte de las hojas se realiza en los secaderos. Los residuos que se producen en estos establecimientos se analizan en el módulo de oferta indirecta.

La incorporación de la oferta biomásica al WISDOM Tucumán, se realizó a partir de una capa ráster brindada por la EEAOC, la cual representa la distribución del tabaco Virginia en la Provincia, para la campaña 2008. Las estimaciones para este cultivo arrojan una oferta disponible de 274 tn/año, concentrada en el departamento de Trancas.

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

De acuerdo a lo descripto más arriba, se integraron los resultados de las estimaciones de residuos pasibles de aprovechamiento energético correspondientes a los cultivos de caña de azúcar, cítricos, forestaciones y tabaco. En el Mapa 3, se observa que los mayores valores de biomasa disponible se concentran sobre la llanura central de la Provincia. El valor máximo por píxel obtenido de este análisis corresponde a 3,1 tn/año.

La oferta directa de biomasa proveniente de cultivos se desarrolla principalmente a lo largo de la llanura central de la Provincia, en los departamentos de Leales, Cruz Alta, Burruyacú, Simoca y Monteros, los cuales en conjunto alcanzan el 70 %. Esta participación relativa se apoya, esencialmente, en el cultivo de caña de azúcar y, en menor medida, en las plantaciones de cítricos (Mapa 3).

En los departamentos de Leales, Cruz Alta, Simoca y Burruyacú se registra alrededor del 65 % del RAC de caña de azúcar existente. En la zona del pedemonte, se ubican los cultivos de cítricos (Burruyacú, Tafí Viejo, Famaillá y Monteros); las forestaciones se encuentran en Famaillá, Burruyacú y Lules; mientras que el tabaco Virginia se desarrolla en el norte, exclusivamente en el departamento de Trancas. Hacia el oeste, el límite a los cultivos lo imponen las fuertes pendientes y las condiciones climáticas, mientras que, hacia el este, el avance de los cultivos de soja y maíz compite con la caña de azúcar.

### 5.2.2 Formaciones nativas

#### *Bosque nativo*

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. Estas mediciones recurren actualmente a técnicas que funcionan a diferentes escalas, desde inventarios de campo realizados a escala local hasta estimaciones mediante teledetección que funcionan a escala nacional o subregional.

El análisis espacial realizado por el Proyecto contempla un uso sostenible del bosque nativo, motivo por el cual se trabajó teniendo en cuenta las restricciones legales, entre las que se resalta la del Ordenamiento Territorial de Bosque Nativo (OTBN). Es importante destacar que solamente se considera biomasa disponible al IMA del bosque, con el fin de evitar extraer más de lo que crece, asegurando la sustentabilidad del recurso. De tal forma, se contempla una restricción total del IMA del bosque nativo en las zonas de Categoría I (Rojo); un manejo restringido al 50 % del IMA, en la Categoría II (Amarillo)<sup>14</sup>; y, el uso total del IMA, en la Categoría III (Verde).

14. El valor del 50 % constituye una estimación teórica, ya que el uso del bosque nativo en las áreas correspondientes a la Categoría II (Amarillo) queda sujeto a la aprobación de planes de manejo forestal.

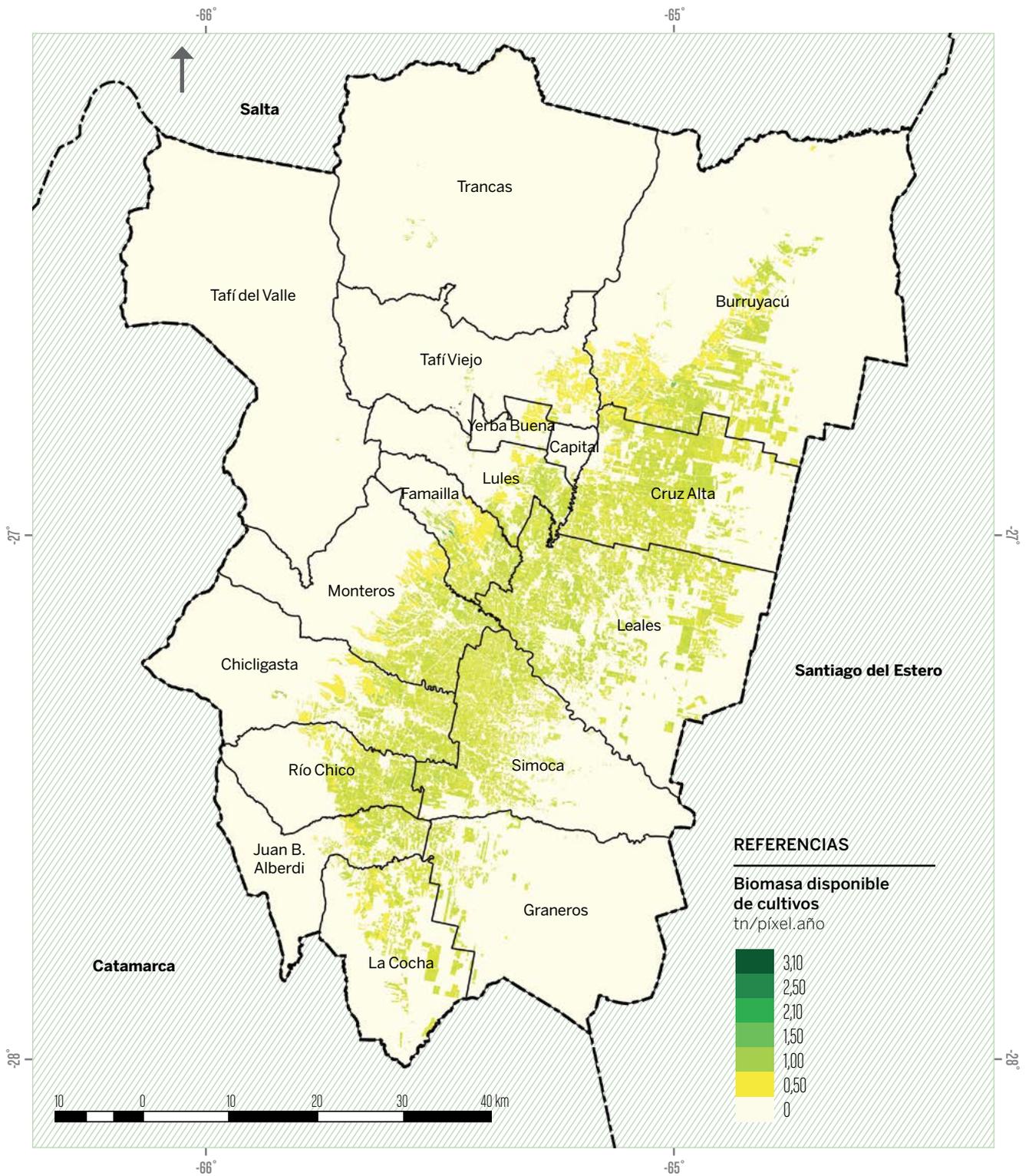
**La oferta directa de biomasa proveniente de cultivos se desarrolla principalmente a lo largo de la llanura central de la Provincia, en los departamentos de Leales, Cruz Alta, Burruyacú, Simoca y Monteros, los cuales en conjunto alcanzan el 70 %. Esta participación relativa se apoya, esencialmente, en el cultivo de caña de azúcar y, en menor medida, en las plantaciones de cítricos.**

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

Los valores de IMA incluidos en el modelo son los presentados en el WISDOM Argentina (FAO, 2009), para cada una de las clases de cobertura de bosque consideradas (Tabla 4).

**Mapa 3.** Oferta directa de biomasa de cultivos.

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



**Cuadro 4**

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

**Fuente**

FAO (2009).

Provincia fitogeográfica	IMA (tn/ha año)
Chaqueña (tierras forestales)	2,4
Yungas (tierras forestales)	3,8
Monte	0,5
Chaqueña (otras tierras forestales)	0,6
Yungas (otras tierras forestales)	1

**Cuadro 5**

Extracción de productos forestales, por departamento, para el año 2012.

**Fuente**

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

Departamento	Producto	Toneladas	Metros cúbicos
Burruyacú	Leña	6139	8770
	Rollizos	74	88
Tafí Viejo	Leña	916	1309
Leales	Leña	789	1127
Lules	Rollizos	656	937
	Leña	70	105
Graneros	Leña	590	843
	Carbón vegetal	35	0
Río Chico	Leña	376	537
Trancas	Leña	293	419
Tafí del Valle	Leña	214	306
Famaillá	Rollizos	182	256
Capital	Leña	80	114
Simoca	Leña	56	80
La Cocha	Leña	48	69
	Carbón vegetal	1	0
Monteros	Rollizos	15	21
<b>Totales</b>		<b>10534</b>	<b>14981</b>

---

## Solamente se considera biomasa disponible al incremento medio anual (IMA) del bosque nativo, con el fin de evitar extraer más de lo que crece, asegurando la sustentabilidad del recurso.

---

A fin de evitar conflictos con otros usos maderables del bosque nativo, se dedujeron del mapa de IMA los volúmenes correspondientes a las extracciones registradas por la Dirección de Bosques (DB, ex SAyDS) (Tabla 5). A nivel provincial, el 96,4 % de estas extracciones pertenecen al rubro leña, en tanto que los rollizos representan el 3,2 % y el carbón vegetal apenas un 0,3 %.

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 del suelo, como una práctica de manejo sustentable. En este sentido, se aplicaron dos valores, 0,88 para formaciones densas y 0,83 para formaciones abiertas (FAO, 2009).

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

Asimismo, la Dirección de Bosques brindó las capas geoespaciales con la deforestación ocurrida entre los años 2006 y 2011, por lo que se actualizó la capa de bosque nativo con las pérdidas detecta-

das. Para integrar estos tres insumos, se aplicó un reescalado a un píxel de 40 m.

El resultado de la estimación del potencial de IMA disponible de bosque nativo con fines energéticos se presenta en el Mapa 4.

El IMA sustentable de biomasa leñosa disponible para usos energéticos proveniente de bosque nativo muestra que los mayores valores coinciden con las Yungas y la selva pedemontana y, en menor medida, con la provincia fitogeográfica Chaqueña. Hacia el centro de la Provincia de Tucumán, esta oferta estimada de bosque nativo es baja o nula, debido al desarrollo de las áreas agroproductivas donde predominan los cultivos de caña de azúcar, cítricos, tabaco y granos, quedando remanentes de bosque chaqueño o parches aislados de bosque secundario. En los departamentos del sudeste, como Graneros, Simoca y Leales, los valores de IMA estimados corresponden al Bosque Chaqueño. Al oeste de la Provincia, particularmente en el departamento de Tafí del Valle, la oferta de bosque nativo es relativamente baja, debido al predominio de formaciones arbustivas y herbáceas que se desarrollan en los ambientes semiáridos característicos de la zona altoandina.

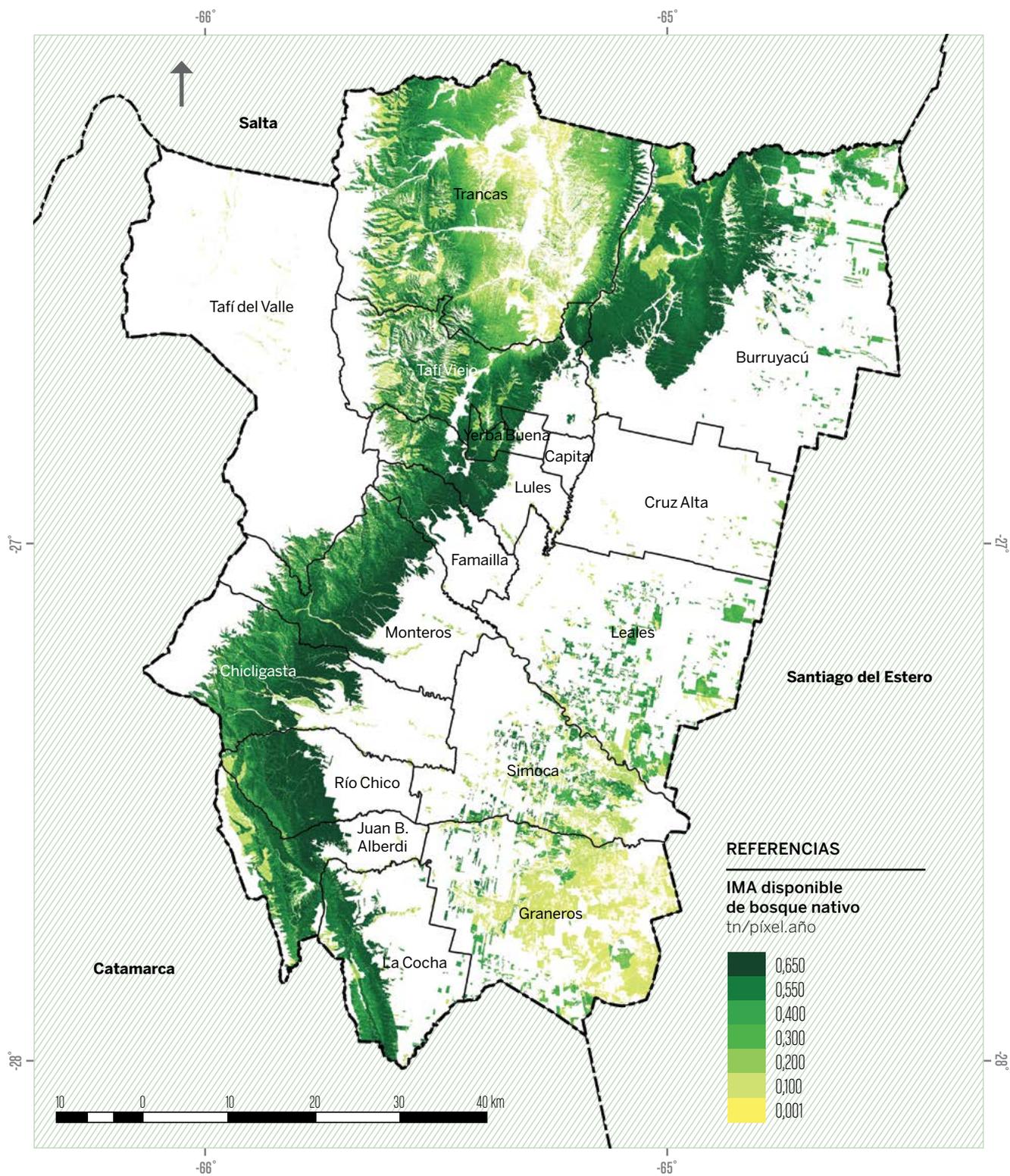
### **Arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas**

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 especialmente en la zona altoandina, se recurrió al mapa de usos del suelo del INTA, del año 2009. Esta información permitió incorporar al análisis espacial otros usos y coberturas de suelo no contempladas en el análisis correspondiente a bosque nativo.

A partir de la capa de usos de suelo del INTA, las categorías consideradas son: arbustal cerrado, arbustal abierto, pastizal cerrado, pastizal abierto y pastizal disperso. El tratamiento consistió en aplicar, de manera homogénea en todas las categorías, el valor de IMA utilizado en el WISDOM Argentina (FAO, 2009). Es importante aclarar que, debido a la superposición de capas, se prioriza la capa de bos-

**Mapa 4.** Oferta directa de bosque nativo.

**Fuente:** Elaborado por Barasch, Yamila, *et al.*, *ibíd.*



que nativo (de 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, cascós 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 (Tabla 7).

En el Mapa 5, se representa la oferta de biomasa estimada de arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas. La distribución de este ítem presenta dos patrones espaciales bien marcados. Hacia el oeste de la Provincia, en el departamento de Tafí del Valle, los pastizales de altura se presentan como un continuo con valores bajos de IMA, mientras que, hacia el este, en la llanura central, el patrón espacial se muestra como pequeños parches dispersos, con altos valores. Los departamentos que presentan los mayores valores de IMA son Graneros, Simoca, Burruyacú y Leales, presentando una distribución

### Cuadro 6

Usos de suelo contemplados en el análisis e Incremento Medio Anual asignado.

#### Fuente

Adaptado en base a FAO (2009).

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

### Cuadro 7

Provincia fitogeográfica e Incremento Medio Anual asignado.

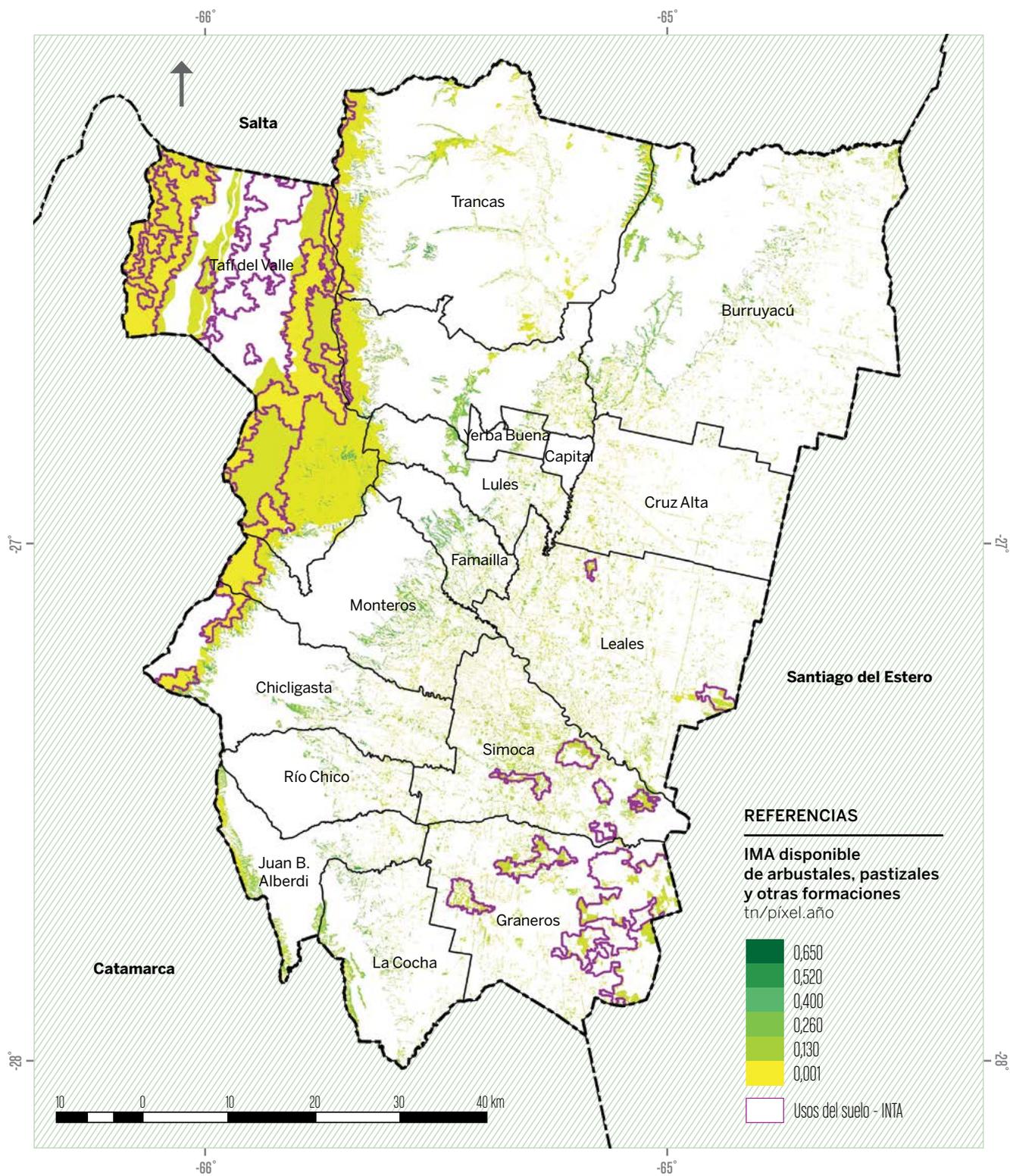
#### Fuente

Elaboración propia en base a FAO (2009).

Provincia fitogeográfica	IMA (tn/ha año)
Monte	0,5
Yungas	1,0
Parque Chaqueño	0,6

**Mapa 5.** Oferta directa de arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas.

**Fuente:** Elaborado por Barasch, Yamila, *et al.*, *ibíd.*



**La mayor oferta potencial de biomasa la aportarían los cultivos ubicados en la llanura chaqueña, siendo la caña de azúcar el cultivo con mayor contribución. Los bosques nativos, principalmente las formaciones comprendidas en las selvas de las Yungas y pedemontana, presentan valores intermedios de IMA, mientras que en la zona donde predominan los pastizales altoandinos la disponibilidad de biomasa es menor.**

de parches asociada a la hidrología y redes viales donde predominan cortinas forestales y formaciones arbustivas.

#### **Síntesis de oferta directa total**

En el Mapa 6, se muestra la integración de la oferta de biomasa estimada, tanto para cultivos como para bosque nativo, arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas.

La mayor oferta potencial de biomasa la aportarían los cultivos ubicados en la llanura chaqueña, siendo la caña de azúcar el cultivo con mayor contribución. Los bosques nativos, principalmente las formaciones comprendidas en las selvas de las Yungas y pedemontana, presentan valores intermedios de IMA, mientras que en la zona donde predominan los pastizales altoandinos la disponibilidad de biomasa es menor.

#### **5.2.1 Accesibilidad física**

La metodología WISDOM contempla la incorporación de una variable limitante, que tiene relación con la topografía y la distancia que existe entre un

lugar poblado o 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 del bosque nativo, arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas, caña de azúcar, cítricos, forestaciones y tabaco, dado que estos recursos se encuentran dispersos en el territorio. El desplazamiento entre dos puntos del espacio implica una fricción que puede expresarse en términos de costos económicos y energéticos (combustible, mano de obra) y de tiempo de traslado, en función de la distancia y pendientes que separan a estos puntos.

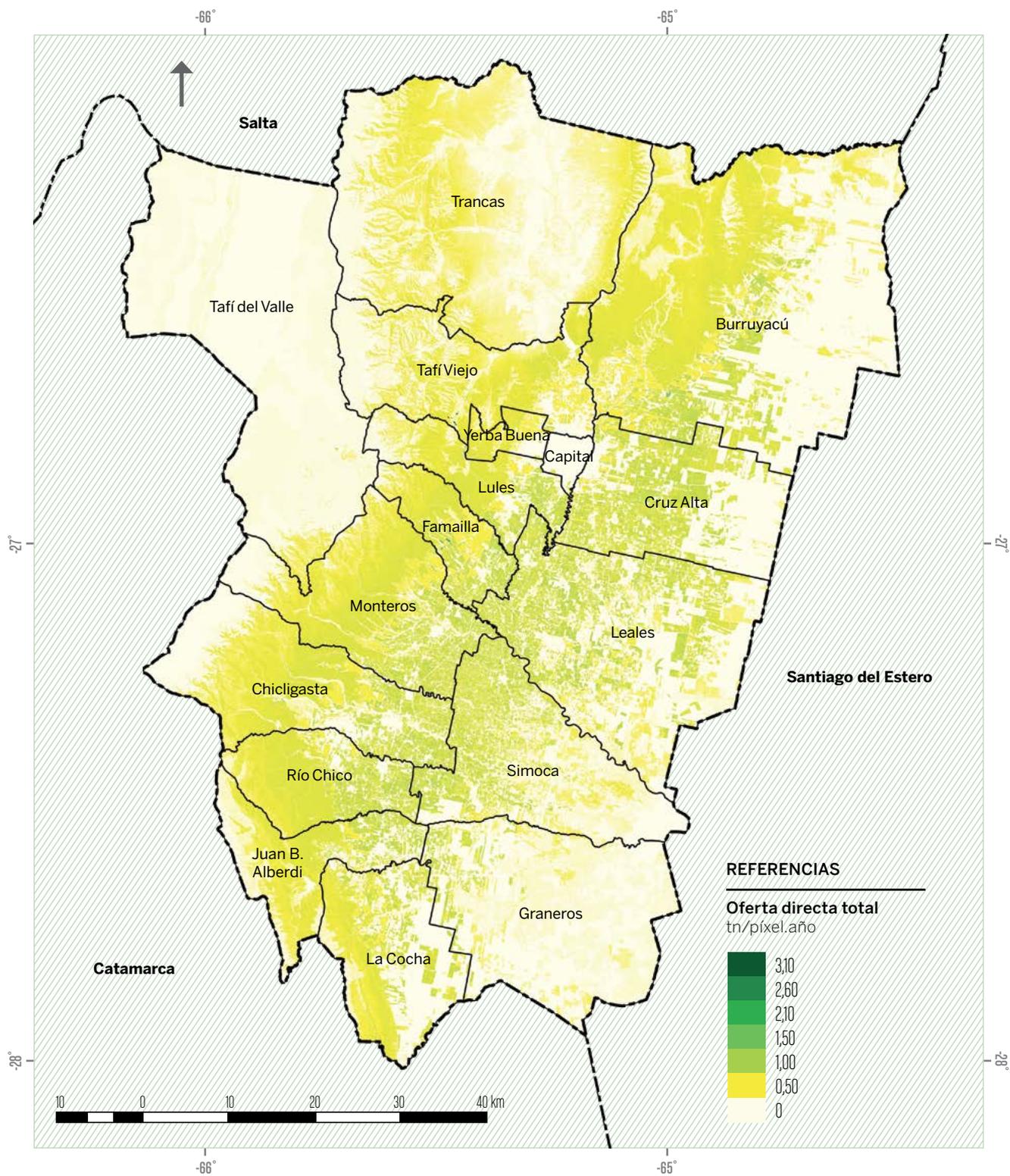
La accesibilidad física es un parámetro espacial que define la posibilidad de acceder a un determinado recurso biomásico, en relación a la distancia que lo separa del lugar más cercano y a un factor de costo, basado en las características del terreno (FAO, 2009). De esta manera, para calcular la accesibilidad 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). En este caso, el costo expresa la resistencia a la posibilidad de desplazamiento ofrecida por un medio físico en un punto concreto. Las superficies de fricción contienen valores de costo, que expresan la resistencia que presenta una celda a ser recorrida.

Por esta razón, se creó un mapa de accesibilidad que contempla los factores mencionados en relación con el mapa de fricción. A diferencia del WISDOM Argentina, donde se divide en 20 categorías discretas la accesibilidad (desde 100 % accesible, 95 %, 90 %, hasta alcanzar el 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 disponible 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 acumu-

**Mapa 6.** Oferta directa total.

**Fuente:** Elaborado por Barasch, Yamila, *et al.*, *ibíd.*



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

#### 5.2.1.a Red vial

El análisis de la red vial se realizó empleando la capa vectorial correspondiente al SIG250 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), la cual fue complementada con otra capa de red vial de la RIDES de Tucumán y con una capa de caminos terciarios rurales otorgada por el PROSAP. 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 la Tabla 8.

#### 5.2.1.b Ferrocarriles

En relación a los ferrocarriles, la capa vectorial que se utilizó fue suministrada por 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.

#### 5.2.1.c Ejidos urbanos

La geometría de los ejidos urbanos de Tucumán fue extraída a partir de la capa del OTBN, la cual discrimina con muy buena precisión estos espacios. En el análisis espacial, se consideró que la accesibilidad a los recursos biomásicos en los ejidos urbanos es del 100 % (coeficiente 1).

#### 5.2.1.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 %.

#### 5.2.1.e Pendiente del terreno

Se creó un mosaico a partir de siete escenas correspondientes al 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

### Cuadro 8

Coeficientes por tipo de red vial.

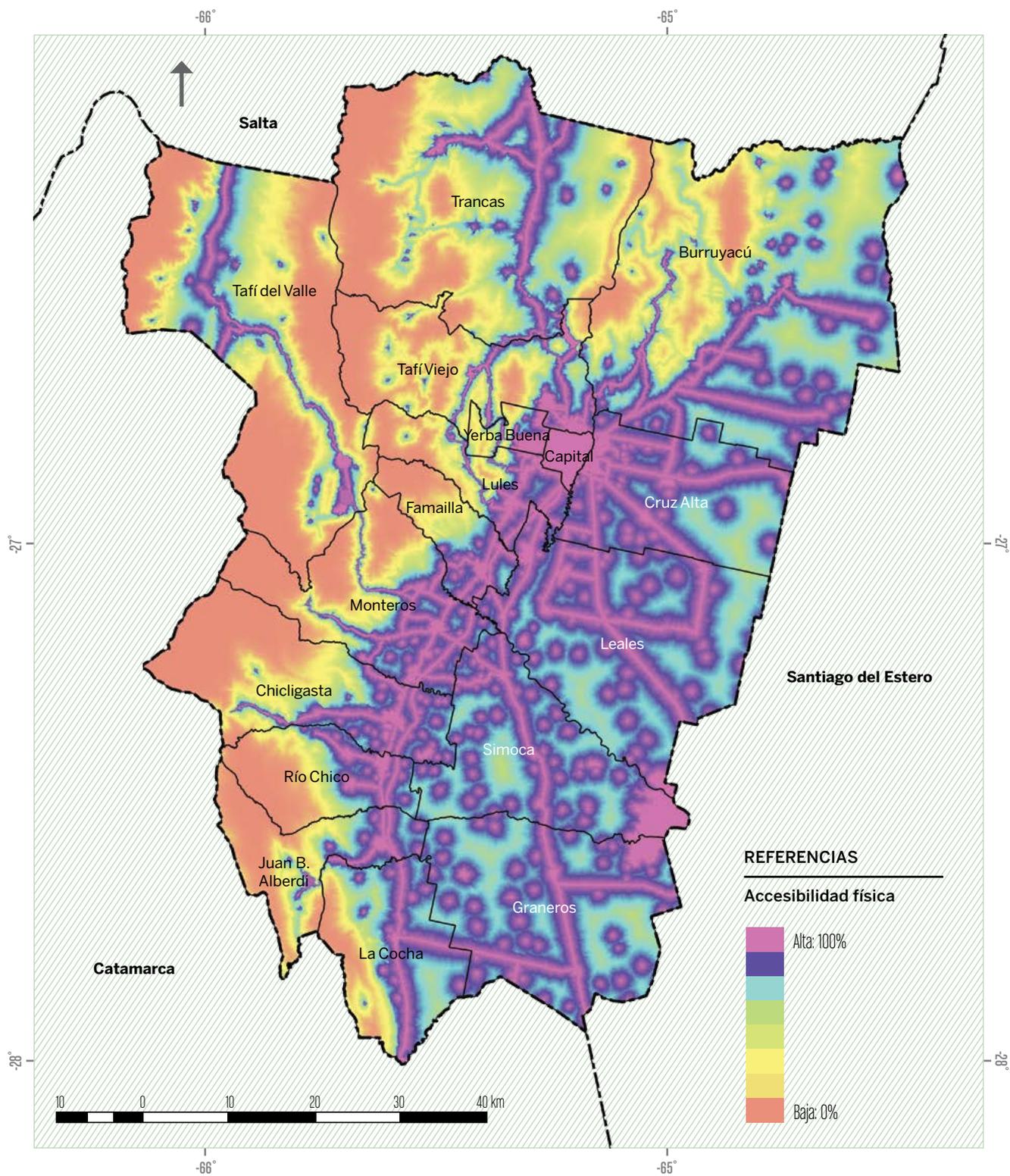
#### Fuente

Adaptado en base a Banco Mundial (1995).

Red vial		
Tipo	Clase	Coefficiente
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

**Mapa 7.** Accesibilidad física.

**Fuente:** Elaborado por Barasch, Yamila, *et al.*, *ibíd.*



variable en el espacio (red vial, ferrocarriles, ejidos urbanos y parajes rurales).

En el Mapa 7, se observa que la llanura central y oriental de la Provincia, presenta niveles medios y altos de accesibilidad (donde se encuentran los principales centros urbanos y la mayor densidad de rutas pavimentadas). 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.

San Miguel de Tucumán y su área de influencia presenta una accesibilidad del 100 %, que se extiende en paralelo al eje orográfico de orientación norestesudoeste conformado por las sierras pampeanas noroccidentales y las sierras subandinas. 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 el Valle de Trancas y en la porción tucumana de los Valles Calchaquíes, 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 está sujeta su explotación y su gestión comercial. Estas restricciones están impuestas sobre las áreas protegidas para la conservación de la naturaleza, tal como fue considerado en el WISDOM Argentina

---

**Para hacer un aprovechamiento del bosque nativo en un área definida como Amarillo (OTBN), debe contarse con un plan de manejo forestal aprobado por la autoridad local de aplicación**

---

(FAO, 2009). Adicionalmente, en el desarrollo del WISDOM provincial se incluyó el OTBN. En este sentido, el mapa de "accesibilidad legal" correspondiente a la disponibilidad de los recursos biomásicos se constituyó integrando las distintas categorías de las áreas protegidas y del OTBN, con sus respectivas ponderaciones.

#### 5.2.II.a 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, ya que presentaba un buen detalle geométrico, y se complementó con la capa brindada por la ex SAyDS. Considerando el tipo de área protegida, se asignaron los valores de la Tabla 9.

A la capa de áreas protegidas, se agregó la capa de riberas que, de acuerdo a la Ley de Recursos Naturales N.º 6 292, en el territorio de la Provincia está prohibido el desmonte en márgenes de cursos de agua temporales o permanentes, como en las márgenes de cárcavas, en un ancho de 35 metros de cada lado. Dicha capa se generó a partir de los cursos de agua del SIG205 (IGN), aplicando una restricción total al recurso (ponderación igual a 0).

#### 5.2.II.b Ordenamiento territorial de bosque nativo

La Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos N.º 26 331/07, establece la necesidad de realizar el Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos (OTBN). En este ordenamiento, se definen tres categorías de conservación de la biodiversidad (Anexo I).

En este sentido, a las categorías del OTBN de la Provincia se les asignó las ponderaciones de accesibilidad presentadas en la Tabla 10. La información sobre esta capa provincial fue otorgada por la Dirección de Flora, Fauna y Suelo, de la Subsecretaría de Asuntos Agrarios y Alimentos (Ministerio de Desarrollo Productivo provincial).

La Categoría Rojo, que circunscribe sectores de muy alto valor de conservación que no pueden transformarse, ha sido restringida totalmente en el análisis espacial. En cuanto a la Categoría Amarillo, debido a que admite un aprovechamiento sosteni-

ble del recurso, se le asignó una disponibilidad del 50 % del IMA. Mientras que, a la Categoría Verde se le asignó una disponibilidad del 100 % de accesibilidad legal, ya que comprende sectores de bajo valor de conservación y pueden transformarse parcial o totalmente dentro de los criterios de la Ley.

Vale señalar que, para hacer un aprovechamiento del bosque nativo en un área definida como Amarillo, debe contarse con un plan de manejo forestal aprobado por la autoridad local de aplicación. También, de acuerdo con la Ley, para hacer uso del bosque nativo en zona Verde, se deberá cumplir con el

procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

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 Tucumán, de acuerdo con las restricciones normativas.

En el Mapa 8, se observa que el sector de las sierras subandinas y las sierras pampeanas noroccidentales, ocupadas por la selva de las Yungas y el bosque Chaqueño Serrano, está incluido en la Categoría Rojo del ordenamiento territorial, por lo que no puede ser aprovechado legalmente. Las áreas

### Cuadro 9

Valores asignados a cada tipo de área natural protegida.

Tipo	Nombre	Ponderación
Parque Universitario	Reserva y Sierra San Javier	0,2
Parque Provincial	Cumbres Calchaquíes	0,0
	Ibatin	
	La Florida	
	Los Ñuñorcos	
Parque Nacional	Los Alisos	0,0
Reserva Natural Provincial	Aguas Chiquitas	0,0
	La Angostura	
	Los Sosa	
	Santa Ana	

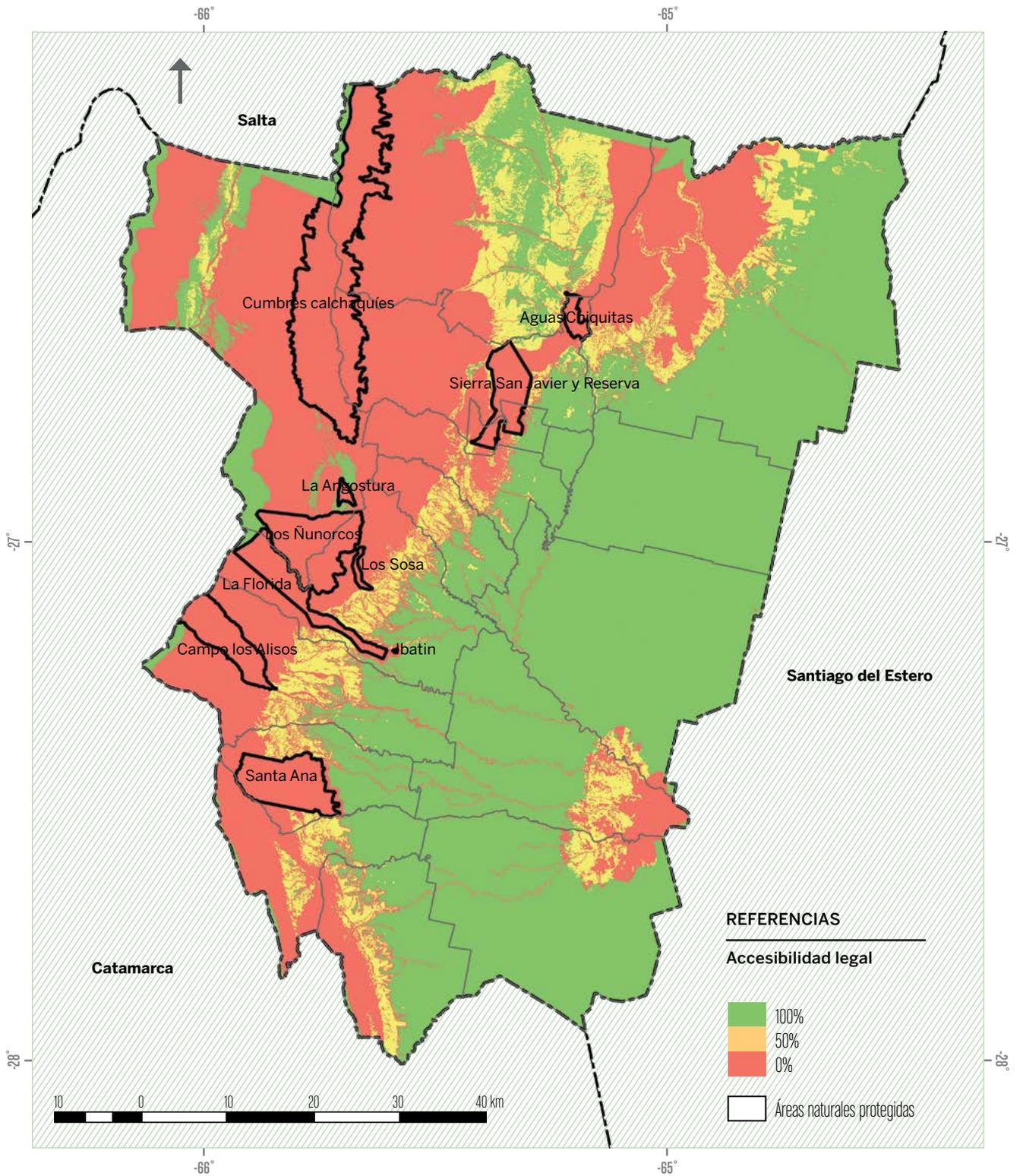
### Cuadro 10

Coefficientes según OTBN.

Categoría	Coefficiente
Rojo	0
Amarillo	0,5
Verde	1

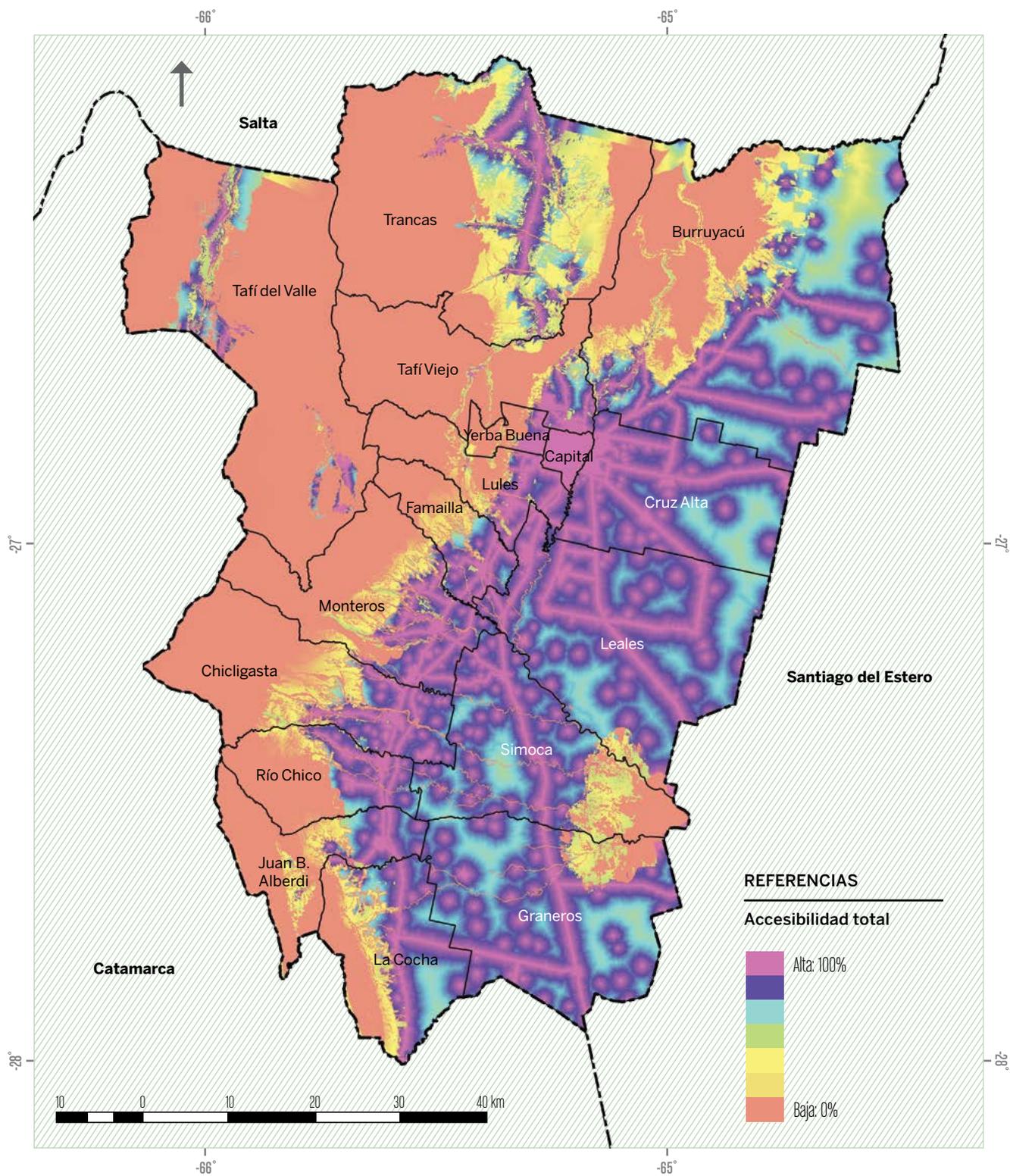
Mapa 8. Accesibilidad legal.

Fuente: Elaborado por Barasch, Yamila, et al., *ibíd.*



**Mapa 9.** Accesibilidad total.

**Fuente:** Elaborado por Barasch, Yamila, *et al.*, *ibíd.*



naturales protegidas se ubican en esta región y presentan una restricción total respecto al aprovechamiento de biomasa con fines energéticos.

Otra de las áreas con accesibilidad restringida es el humedal que rodea al Embalse Río Hondo, ubicado en el sureste provincial, categorizado por distintos niveles de restricción (Categorías Rojo y Amarillo), de acuerdo a su importancia en la conservación de la biodiversidad. Asimismo, se pueden observar restricciones totales sobre las márgenes de los cursos de agua, de manera que no pueden ser sujeto de explotación.

Los faldeos de los sistemas orográficos mencionados cuentan con posibilidades de aprovechamiento sostenible, siempre y cuando hayan sido aprobados sus respectivos planes de manejo. Similares condiciones se presentan en los faldeos del Valle de Santa María y en el Valle Tapia-Trancas.

### 5.2.III. Accesibilidad total

A partir de la conjunción de las restricciones físicas y legales, se multiplicaron los coeficientes, a los efectos de construir el mapa de accesibilidad total en el que estuvieran incluidas 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 con restricción total fueron consideradas de accesibilidad nula.

La accesibilidad física estimada (Mapa 7) resulta restringida al integrarla con la accesibilidad legal (Mapa 8). En las llanuras oriental y central, no se exhiben mayores restricciones de accesibilidad total a los recursos biomásicos para su aprovechamiento energético (Mapa 9). 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 excepción del área correspondiente a la llanura cenagosa del Embalse Río Hondo, que presenta restricciones legales en virtud de su protección.

La mayor parte del área montañosa de la Provincia presenta áreas incluidas en la categoría máxima de restricción del OTBN, áreas naturales protegidas, una limitada red de infraestructura vial y una baja densidad de centros poblados. Por tales motivos, en

esta región, los niveles de accesibilidad legal y física se encuentran en valores cercanos a cero. Sin embargo, en el Valle de Trancas, al norte de la Provincia, y en los Valles Calchaquíes, al noroeste, se detectan sectores de alta accesibilidad de implantación lineal, en virtud de la presencia de infraestructura vial pavimentada y centros poblados. Estos valores de accesibilidad disminuyen hacia los flancos montañosos que rodean los valles mencionados. Asimismo, dadas las restricciones legales derivadas de las áreas protegidas, en algunos casos se amplía la superficie de accesibilidad nula, como sucede en las reservas provinciales Los Sosa y Santa Ana y el Parque Provincial La Florida. El resto de las áreas bajo protección está incluido en el conjunto restringido a la explotación forestal determinada por el OTBN.

### Síntesis de oferta directa accesible

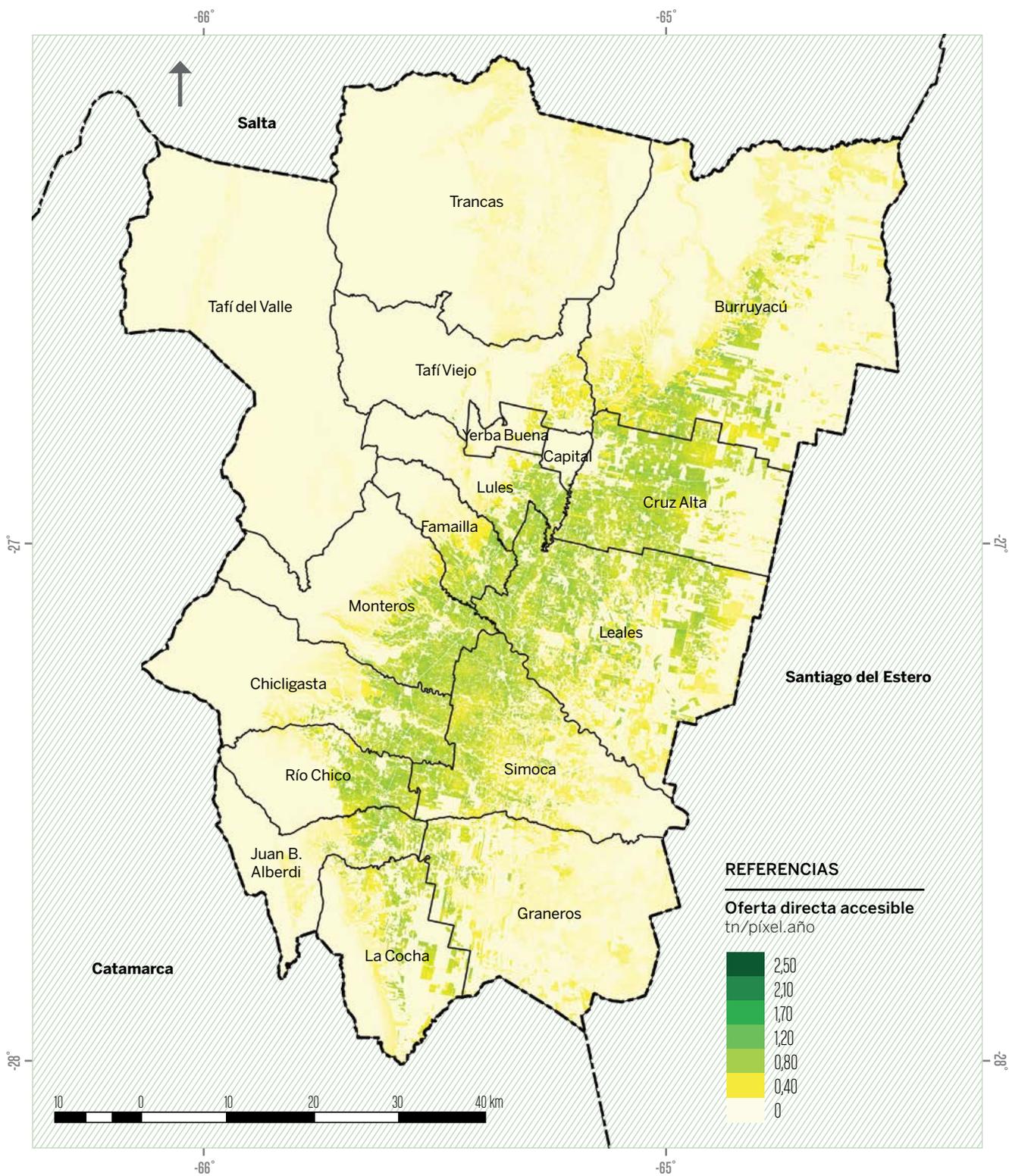
La oferta directa total estimada se recalculó en función de la accesibilidad total. El resultado se muestra en el Mapa 10, donde se observa una reducción de la disponibilidad de biomasa con fines energéticos en los cultivos analizados y las formaciones nativas, al ser puesta en relación con las condiciones de accesibilidad.

La llanura central de la Provincia posee buenas condiciones de conectividad, cercanía a centros urbanos y escasa pendiente, por lo que la producción de cultivos que allí se realiza se traduce en elevados niveles de oferta accesible de recursos de biomasa. En tanto, en el oeste provincial, las restricciones físicas y legales generan zonas de baja accesibilidad. Estas zonas están más alejadas de los centros urbanos y tienen una orografía compleja, al mismo tiempo que una parte importante de ese territorio pertenece a la categoría Rojo del OTBN. Por su parte, en el este provincial, se registran valores bajos debido a que predominan cultivos extensivos (soja, maíz, trigo) que no fueron considerados como proveedores de biomasa con fines energéticos.

Los cultivos de caña de azúcar, cítricos, forestaciones y tabaco son los que más biomasa aportarían (1 273 393 tn/año), siendo la caña de azúcar el cultivo que mayor producción de residuos aprovechables genera (75 % de la oferta directa) (Tabla 11). La estimación de biomasa disponible para bosque

**Mapa 10.** Oferta directa accesible.

**Fuente:** Elaborado por Barasch, Yamila, *et al.*, *ibíd.*



**Cuadro 11**

Oferta directa accesible por fuente y departamento.

Departamento	Oferta Directa (tn/año)										Totales
	Cultivos					Formaciones Nativas					
	Caña de Azúcar	Cítricos	Forestaciones	Tabaco Virginia	Bosque Nativo	Arbustales y pastizales	Bosque Nativo	Arbustales y pastizales	Bosque Nativo	Arbustales y pastizales	
Burruyacú	130827,5	30370,2	1157,7	0,0	59347,7	6088,7					227791,8
Cruz Alta	209180,5	4539,8	36,4	0,0	1764,1	568,3					216089,2
Chicligasta	77880,1	5730,5	221,7	0,0	9816,1	861,1					94509,5
Famallá	41561,6	8583,3	1298,6	0,0	1741,3	2022,3					55207,0
Graneros	30651,9	0,0	101,4	0,0	41369,4	7219,2					79341,9
Juan B. Alberdi	35743,2	2252,8	75,1	0,0	7075,5	806,4					45953,1
La Cocha	49720,0	3126,3	31,2	0,0	12569,0	1633,1					67079,6
Leales	257716,2	0,0	70,5	0,0	44053,1	7969,6					309809,4
Lules	38681,8	5371,4	818,8	0,0	3622,9	1417,1					49912,1
Monteros	92491,1	6895,3	200,8	0,0	10901,8	3739,6					114228,6
Río Chico	59487,9	2445,6	27,4	0,0	2741,3	602,9					65305,0
Capital	996,6	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0					1011,6
Simoca	154930,1	0,0	11,1	0,0	31749,4	6011,0					192701,5
Tafí del Valle	0,0	0,0	0,0	0,0	60,5	1967,3					2027,8
Tafí Viejo	3507,8	11844,5	591,3	0,0	4341,5	1456,3					21741,3
Trancas	0,0	0,0	0,0	274,4	30869,6	2124,0					33268,0
Yerba Buena	897,0	2961,8	66,8	0,0	1138,7	365,1					5429,4
<b>Subtotales</b>	<b>1184273,2</b>	<b>84136,4</b>	<b>4709,0</b>	<b>274,4</b>	<b>263161,8</b>	<b>44852,0</b>					<b>1581407,0</b>
<b>Aporte Relativo</b>	<b>74,9%</b>	<b>5,3%</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,02%</b>	<b>16,6%</b>	<b>2,8%</b>					<b>100,0%</b>

nativo, arbustales y pastizales se vio restringida por la accesibilidad legal y física, por lo que la disponibilidad accesible representa el 19,5 % del total.

Entre los departamentos que exhiben los mayores valores de oferta directa accesible están Leales, Burruyacú y Simoca, los cuales disponen del mismo tipo de oferta biomásica: bosque nativo y caña de azúcar (Tabla 11, Mapa 10).

### 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 Tucumán, la oferta indirecta está determinada por subproductos como el bagazo, que se genera en los ingenios a partir de la transformación de la caña de azúcar; los residuos de la foresto-industria, como costaneros, despuntes, virutas, aserrín, corteza y astillas; y los resultantes de las tareas de secado y acopio del tabaco. 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.

#### 5.3.1 Ingenios

En la Provincia de Tucumán, operan 15 ingenios cuya producción de azúcar representa el 65 % del total nacional. Los tallos verdes, al ser molidos en el trapiche, se separan en un jugo azucarado y un residuo fibroso denominado bagazo, que representa el 30 % de la caña molida y contiene un 50 % de humedad (INTA, 2013; Roca Alarcón *et al*, 2006; FAO, 2009).

Del total de los ingenios tucumanos, cinco desmedulan el bagazo para vender la fibra a la industria del papel. En esos casos, sólo el 2 % del bagazo generado es destinado al desmedulado (SEMA, comunicación personal, abril 2015).

Para incorporar este residuo biomásico en el análisis espacial, la RIDES suministró la capa geoespacial con la ubicación de los 15 ingenios tu-

**En la Provincia de Tucumán, la oferta indirecta de biomasa está determinada por subproductos como el bagazo, que se genera en los ingenios a partir de la transformación de la caña de azúcar; los residuos de la foresto-industria, como costaneros, despuntes, virutas, aserrín, corteza y astillas; y los resultantes de las tareas de secado y acopio del tabaco.**

cumanos y el CAA proveyó el total de caña molida correspondiente a la zafra 2014. De esta manera, se determinó que, en la Provincia de Tucumán, se generan 3 776 589 tn/año de bagazo. De esta cantidad, el departamento de Cruz Alta aporta un tercio, aproximadamente, y los departamentos de Monteros, Chicligasta y Leales, concentran cerca de un 40 % del residuo.

#### 5.3.2 Secaderos de tabaco

En Tucumán, el tabaco Burley es la variedad cultivada con mayor extensión. Como fue explicado en el módulo de oferta directa, la técnica de cosecha de este tabaco no deja residuos en campo. El residuo se genera en los secaderos, donde se cortan las hojas de cada planta y el tallo queda como remanente.

Durante el secado de esta variedad, también se producen desperdicios que pueden ser aprovechados para la generación de energía. El secado se realiza en galpones, llamados secaderos, sin paredes pero con cortinas, que permiten la circulación del aire. Las hojas recolectadas son atadas con un hilo plástico y colgadas en los galpones para el proceso de curado (Corradini, 2005).

La información sobre la ubicación de los secaderos de tabaco fue brindada por la RIDES. Al no disponer del volumen de materia prima ingresada en cada establecimiento, se optó por estimar el volumen total de residuo generado en toda la Provincia, por esta variedad de tabaco y dividirlo por la cantidad total de secaderos.

De acuerdo a la información geoespacial brindada por la EEAOC, la superficie de tabaco Burley sembrada en la campaña 2008/2009 fue de 3 400 ha. Como cada hectárea de tabaco aporta alrededor de 1,08 tn de residuo por año (Martínez Pulido, comunicación personal, abril 2015), se estimó que en la Provincia se generan, por año, 3 703 tn de residuos. Considerando que hay un total de 805 galpones que secan tabaco, se calculó que cada uno oferta 4,6 tn de residuos por año.

### 5.3.3 Acopio de tabaco

Luego de ser cosechado y secado, el tabaco es enfardado y enviado a centros de acopio, en donde se realizan tareas<sup>15</sup> de clasificación, acondicionado y descarte, las cuales generan residuos biomásicos aprovechables con fines energéticos. Esta oferta representa aproximadamente el 5 % de la materia prima ingresada a los centros de acopio (Plaza *et al.*, 1999). Los valores acopiados fueron consultados en la sección Tabaco del ex Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, para la campaña 2012/2013 (ex MAGyP, 2014). Los departamentos en condiciones de aportar residuo de tabaco para uso energético son La Cocha y Juan B. Alberdi, con 557 y 162 tn/año, respectivamente. En el análisis espacial, estos valores de oferta fueron ingresados a nivel departamental.

### 5.3.4 Bodegas

Los residuos generados en el proceso de vinificación que se tienen en cuenta en este estudio son los residuos sólidos orgánicos, como orujos, borras y escobajos, resultantes del prensado de la uva, el despallado de los racimos y el precipitado sólido del vino.

15. Estas tareas incluyen el despallado, corte de puntas, enfardado y descarte por defectos, entre otros.

El Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV) fue el que informó sobre la ubicación y cantidad de producto procesado, proveniente de las tres bodegas localizadas en el territorio provincial. De acuerdo a esta misma fuente, la biomasa residual potencialmente disponible asciende al 7,85 % del volumen de uva procesado en cada bodega, totalizando una contribución de 29 tn/año, concentrada en el departamento de Tafí del Valle.

### Síntesis de la oferta indirecta

En Tucumán, la oferta indirecta se concentra en los ingenios que generan bagazo a partir de caña de azúcar y representa más del 95 % del recurso potencial disponible evaluado. Los residuos de los secaderos y sitios de acopio del tabaco Burley, localizados principalmente en el sur de la provincia, aportarían al sistema 4 462 tn/año de biomasa, mientras que las bodegas ubicadas en el departamento de Tafí del Valle, aportarían 29 tn/año (Tabla 12).

En el Gráfico 4, se pueden observar los seis departamentos de la provincia que muestran mayor concentración de oferta indirecta. El departamento de Cruz Alta reúne el 30 % del total de oferta indirecta estimado para la Provincia, correspondiente a la producción de bagazo de los cuatro ingenios que allí se localizan (Concepción, La Florida, Cruz Alta y San Juan). Del mismo modo, los ingenios aportan la mayor oferta indirecta de biomasa en los departamentos de Monteros (con los ingenios La Providencia, Ñuñorco y Santa Rosa), Chicligasta (ingenios Trinidad y Corona), Leales (su homónimo y Bella Vista), Río Chico (Santa Bárbara y Aguilares) y Famaillá (Fronterita). Mientras que, en Juan B. Alberdi, los secaderos y acopiadores de tabaco producen un volumen de biomasa significativo que se suma al del Ingenio Marapa.

### 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

**Cuadro 12**

Oferta indirecta por fuente y departamento.

Departamento	Oferta Indirecta (tn/año)			
	Ingenios	Secaderos de tabaco	Acopiadores	Bodegas
Burruyacú	0,0	0,0	0,0	0,0
Cruz Alta	1 154 277,9	0,0	0,0	0,0
Chicligasta	590 122,8	0,0	0,0	0,0
Famailá	272 379,4	0,0	0,0	0,0
Graneros	0,0	653,2	0,0	0,0
Juan B. Alberdi	142 151,7	1 094,5	161,8	0,0
La Cocha	0,0	1 941,2	597,0	0,0
Leales	473 518,5	0,0	0,0	0,0
Lules	0,0	0,0	0,0	0,0
Monteros	840 687,3	0,0	0,0	0,0
Río Chico	303 451,8	13,8	0,0	0,0
Capital	0,0	0,0	0,0	0,0
Simoca	0,0	0,0	0,0	0,0
Tafí del Valle	0,0	0,0	0,0	28,9
Tafí Viejo	0,0	0,0	0,0	0,0
Trancas	0,0	0,0	0,0	0,0
Yerba Buena	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Subtotales</b>	<b>3 776 589,3</b>	<b>3 703,2</b>	<b>758,8</b>	<b>28,9</b>
<b>Totales</b>	<b>3 781 080,2</b>			

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 el agua e iluminar.

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

Con respecto al sector industrial, los recursos biomásicos han tenido diversas finalidades de acuerdo a la actividad productiva desarrollada. Particularmente, en la Provincia de Tucumán, se han utilizado tanto en la industria azucarera, mediante la utilización del bagazo, RAC y *chips*, como en la industria ladrillera, donde el principal recurso en el proceso de cocción del ladrillo es la leña. Asimismo,

la industria forestal utiliza los residuos de la misma industria para el secado de la madera.

Con respecto 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.

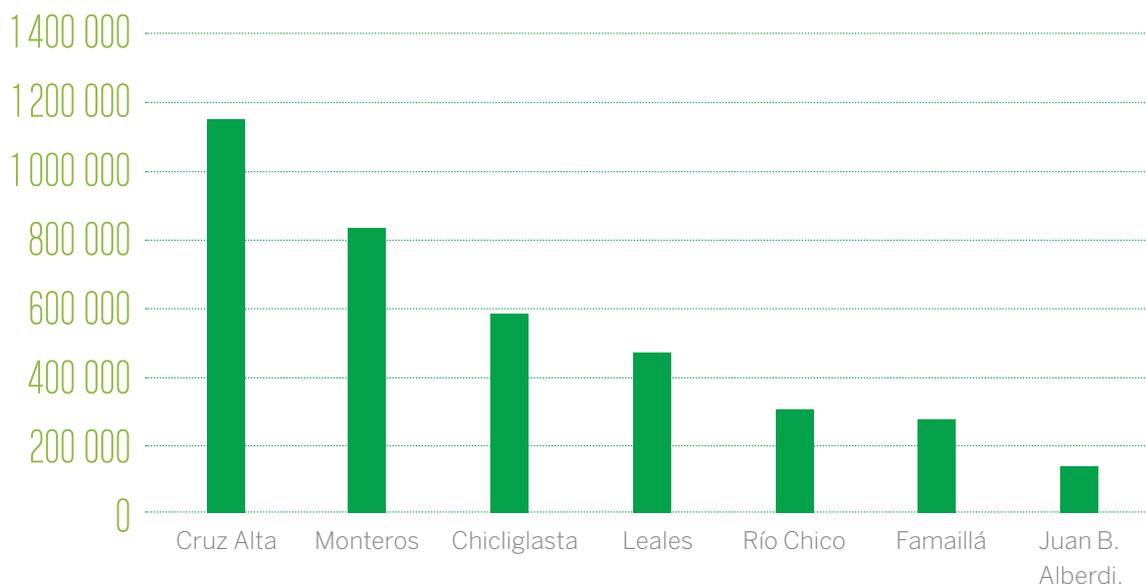
#### 5.4.1 Demanda residencial

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.

En el análisis del consumo residencial, a cada radio censal de tipo urbano y centro poblado del BAHRA, se le asignó el dato de la cantidad de habitantes que viven en hogares que emplean leña o carbón vegetal como combustible principal para cocinar (CNPHYV 2010). En función de estos datos, se ob-

#### Gráfico 4

Oferta indirecta total. Departamentos seleccionados (tn/año).



tuvo que 13 785 hogares (aproximadamente, un 4 % del total provincial) 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 pretende compensar el total de hogares que, si bien utiliza otros combustibles para cocinar, consume combustibles leñosos para calefaccionarse.

Como resultado de estas estimaciones, se registró una demanda de 33 059 tn/año de leña y carbón vegetal.

### 5.4.2 Demanda industrial

#### Ingenios

Esta actividad industrial requiere de un elevado consumo de energía durante el procesamiento de la caña de azúcar, que se satisface a partir de fuentes convencionales, como la energía eléctrica de red, y mediante la utilización de bagazo y *chips* con fines térmicos y eléctricos.

En la actualidad, la mayor parte del bagazo generado en los ingenios es empleado en sus calderas para la generación o cogeneración de energía eléctrica o térmica. Al año 2014, este sector, aportó 1,2 millones de tep al sistema eléctrico (INTA, 2013).

Para calcular la demanda de biomasa de esta industria, se tuvieron en cuenta los datos del total de bagazo disponible por ingenio para la zafra 2014, provistos por el CAA. Según la estimación realizada, la cifra asciende a 3 776 589 tn/año de bagazo.

Es importante mencionar que, la demanda de esta industria es compensada en el análisis espacial con la misma oferta de bagazo resultante de la producción de azúcar de cada establecimiento.

#### Ladrilleras

La producción de ladrillos en la Provincia de Tucumán se localiza particularmente en los departamentos de Cruz Alta, Tafí Viejo, Chicligasta y Burreyacú. Las formas de producción del ladrillo pueden realizarse mediante métodos artesanales, basados en el trabajo manual predominante en la

región nororiental y oriental, o por procedimientos mecanizados prevaleciente en el sur de la provincia. En ambos casos, la etapa de cocción del ladrillo se realiza en hornos cuyo insumo principal es la leña.

Para esta industria, se contó con los datos brindados por la Provincia, según el Primer Censo Nacional de Ladrilleras (SEGEMAR, 2011), donde se registraron 404 ladrilleras y adoberas, con su correspondiente producción de ladrillos para el año 2011.

El consumo anual de leña se calculó considerando los siguientes datos del WISDOM Argentina (FAO, 2009): un ladrillo pesa aproximadamente 1,55 kg y por cada kilogramo de ladrillo se consume 0,39 kg de leña, con lo cual, cada ladrillo consume 0,0006045 tn de leña. Esta estimación arrojó una demanda del sector de 34 689 tn/año de leña.

### 5.4.3 Demanda escuelas rurales

Existen escuelas rurales que consumen leña, durante el ciclo lectivo, para la elaboración de alimentos. Desde el Programa Mapa Educativo Nacional, del Ministerio de Educación de la Nación, se ejecutó un Relevamiento de Escuelas Rurales (RER) donde se 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)<sup>16</sup>. 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. El resultado de esta multiplicación se pasó a toneladas y así se registró un consumo total de 2 222 tn/año.

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

**Cuadro 13**

Demanda por tipo y departamento.

Departamento	Demanda (tn/año)			
	Ingenios	Ladrilleras	Residencial	Escuelas Rurales
Burruyacú	0,0	3 282,4	2 798,2	204,3
Cruz Alta	1 154 277,9	801,0	2 482,5	348,7
Chicligasta	590 122,8	5 225,9	1 832,6	104,3
Faimallá	272 379,4	13 992,4	618,0	86,6
Graneros	0,0	604,5	2 541,7	136,8
Juan B. Alberdi	142 151,7	54,4	1 520,3	29,4
La Cocha	0,0	151,1	1 317,7	111,9
Leales	473 518,5	585,8	2 781,8	291,2
Lules	0,0	592,4	950,3	42,0
Monteros	840 687,3	1 127,4	2 103,0	214,6
Río Chico	303 451,8	3 674,4	1 048,2	152,8
Capital	0,0	1 511,3	3 376,1	0,0
Simoca	0,0	326,4	4 383,8	243,6
Tafí del Valle	0,0	138,9	1 824,8	69,9
Tafí Viejo	0,0	2 384,8	1 587,2	50,9
Trancas	0,0	235,8	1 648,5	115,1
Yerba Buena	0,0	0,0	243,9	20,0
<b>Subtotales</b>	<b>3 776 589,3</b>	<b>34 688,7</b>	<b>33 058,5</b>	<b>2 222,1</b>
<b>Totales</b>	<b>3 846 558,6</b>			

### Síntesis de demanda de biomasa

En la Tabla 13, se muestran los resultados de la demanda de biomasa por departamento. El 98 % del total del consumo se produce en los 15 ingenios existentes en la provincia. Estos establecimientos consumen todo el volumen de biomasa ofertado, por lo que la biomasa generada por esta industria no estaría disponible. En el departamento de Cruz Alta se localizan cuatro ingenios, Concepción, La Florida, Cruz Alta y San Juan, que en conjunto consumen alrededor del 30 % del total de biomasa disponible (bagazo). Asimismo, en Monteros se ubican los ingenios La Providencia, Ñuñorco y Santa Rosa, que consumen un 22 % del bagazo generado, y, en el departamento de Chicligasta, los ingenios Trinidad y Corona, que demandan el 16 %.

Las ladrilleras y adoberas, demandan aproximadamente el 1 % de la biomasa total provincial. En el departamento de Cruz Alta, se concentra el 40 % de la demanda total estimada para el sector, correspondiente a 122 establecimientos. En Chicligasta, la demanda es del 16 %, en 53 predios; en Burruyacú, del 9 %, en 45 establecimientos; y en Tafí Viejo, del 7 %, en 57 de éstos emprendimientos.

La demanda residencial se centraliza en los departamentos de Simoca, Capital, Burruyacú, Leales, Graneros y Cruz Alta, con un 56 % del total del sector.

Por último, las escuelas rurales consumen 2 222 toneladas, siendo el sector analizado que menos demanda genera.

La demanda de biomasa con fines energéticas se concentra en áreas urbanas y periurbanas del sistema metropolitano de San Miguel de Tucumán y posee un patrón espacial que se corresponde con los principales ejes urbanos provinciales, dispuestos alrededor de la RN 38 (Mapa 11). Allí se localizan los ingenios, las ladrilleras y la demanda residencial.

### 5.5 Módulo de integración

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.

## El balance entre la oferta potencial y el consumo actual estimado de biomasa permite obtener un mapa de disponibilidad de recursos biomásicos que facilita la identificación de áreas deficitarias y zonas de superávit.

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

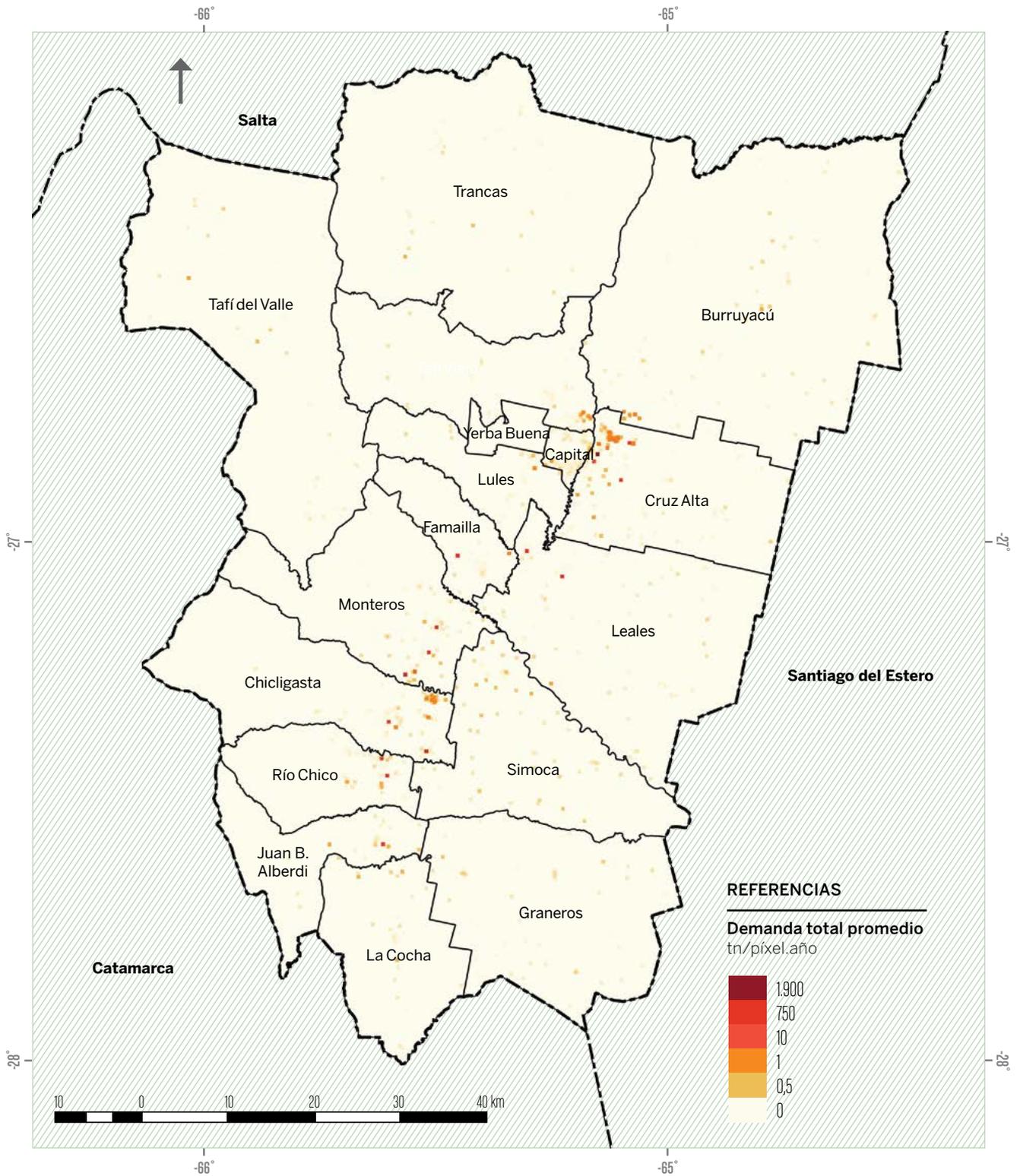
Otra forma de representar el balance, para visualizar espacialmente esta relación, es realizar un balance promedio focalizado, donde se promedian los valores de los píxeles comprendidos en ventanas de 20 píxeles de lado, o sea, una ventana de 800 m de lado (64 ha).

En el Mapa 12, se muestra el resultado de la estimación del balance focalizado. Allí, se observa que el mayor potencial energético, según el balance entre oferta y demanda energética de biomasa, se encuentra en el área de la llanura central, por los aportes principalmente de oferta directa derivada de los residuos de las plantaciones de caña de azúcar. Dicha fuente de oferta directa es la de mayor potencial en la provincia y se destaca en los departamentos de Leales, Burruyacú, Cruz Alta y Simoca.

El balance bioenergético del departamento de Leales es el de mayor superávit de la Provincia (Tabla 14). Allí, al igual que en el departamento de Simoca, el balance se conforma esencialmente por los aportes de oferta directa de la producción de caña de azúcar y, en menor medida, del IMA de bosques nativos, arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas. En Burruyacú, el balance positivo se complementa, además, con la contribución de los cítricos; y, en Lules, si bien se conjugan los

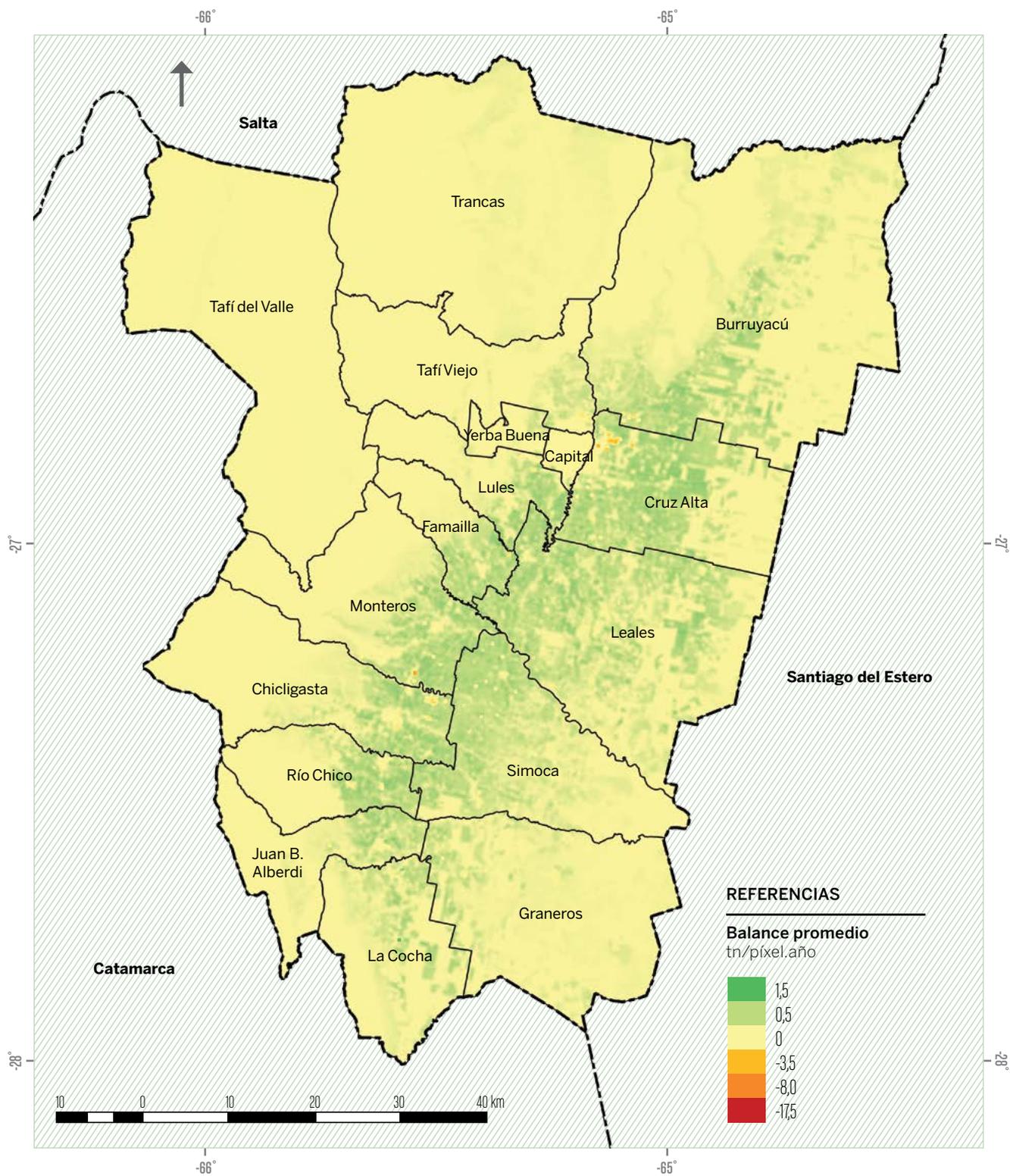
Mapa 11. Demanda total promediada en ventanas de 800 m de lado.

Fuente: Elaborado por Barasch, Yamila, et al., *ibíd.*



**Mapa 12.** Balance promediado en ventanas de 800 m de lado.

**Fuente:** Elaborado por Barasch, Yamila, *et al.*, *ibíd.*



**Cuadro 14**

Resultados oferta, demanda y balance por departamento (tn/año).

Departamento	Oferta directa	Oferta indirecta	Demanda	Balance
<b>Burruyacú</b>	<b>227 791,8</b>	<b>0,0</b>	<b>6 285,0</b>	<b>221 506,8</b>
Cruz Alta	216 089,2	1154 277,9	1157 910,0	212 457,1
Chicligasta	94 509,5	590 122,8	597 285,5	87 346,8
Famaillá	55 207,0	272 379,4	287 076,3	40 510,1
Graneros	79 341,9	653,2	3 283,0	76 712,1
Juan B. Alberdi	45 953,1	143 408,5	143 755,8	45 605,8
La Cocha	67 079,6	2 538,2	1 580,8	68 036,9
<b>Leales</b>	<b>309 809,4</b>	<b>473 518,5</b>	<b>477 177,2</b>	<b>306 150,6</b>
Lules	49 912,1	0,0	1 584,6	48 327,5
Monteros	114 228,6	840 687,3	844 132,3	110 783,6
Río Chico	65 305,0	303 465,6	308 327,2	60 443,4
<b>Capital</b>	<b>1 011,6</b>	<b>0,0</b>	<b>4 887,3</b>	<b>-3 876,0</b>
<b>Simoca</b>	<b>192 701,5</b>	<b>0,0</b>	<b>4 953,8</b>	<b>187 747,7</b>
Tafí del Valle	2 027,8	28,9	2 033,5	23,1
Tafí Viejo	21 741,3	0,0	4 022,8	17 718,5
Trancas	33 268,0	0,0	1 999,3	31 268,7
Yerba Buena	5 429,4	0,0	263,9	5 165,4
<b>Totales</b>	<b>1 581 407,0</b>	<b>3 781 080,2</b>	<b>3 846 558,6</b>	<b>1 515 928,0</b>

El balance bioenergético del departamento de Leales es el de mayor superávit de la Provincia. Allí, al igual que en el departamento de Simoca, el balance se conforma esencialmente por los aportes de oferta directa de la producción de caña de azúcar y, en menor medida, del IMA de bosques nativos, arbustales, pastizales y otras formaciones leñosas. En Burruyacú, el balance positivo se complementa, además, con la contribución de los cítricos.

aportes de las tres fuentes mencionadas, la principal contribución es la de bosques nativos. Asimismo, los aportes de oferta directa de bosques nativos tienen especial incidencia en Graneros y Trancas.

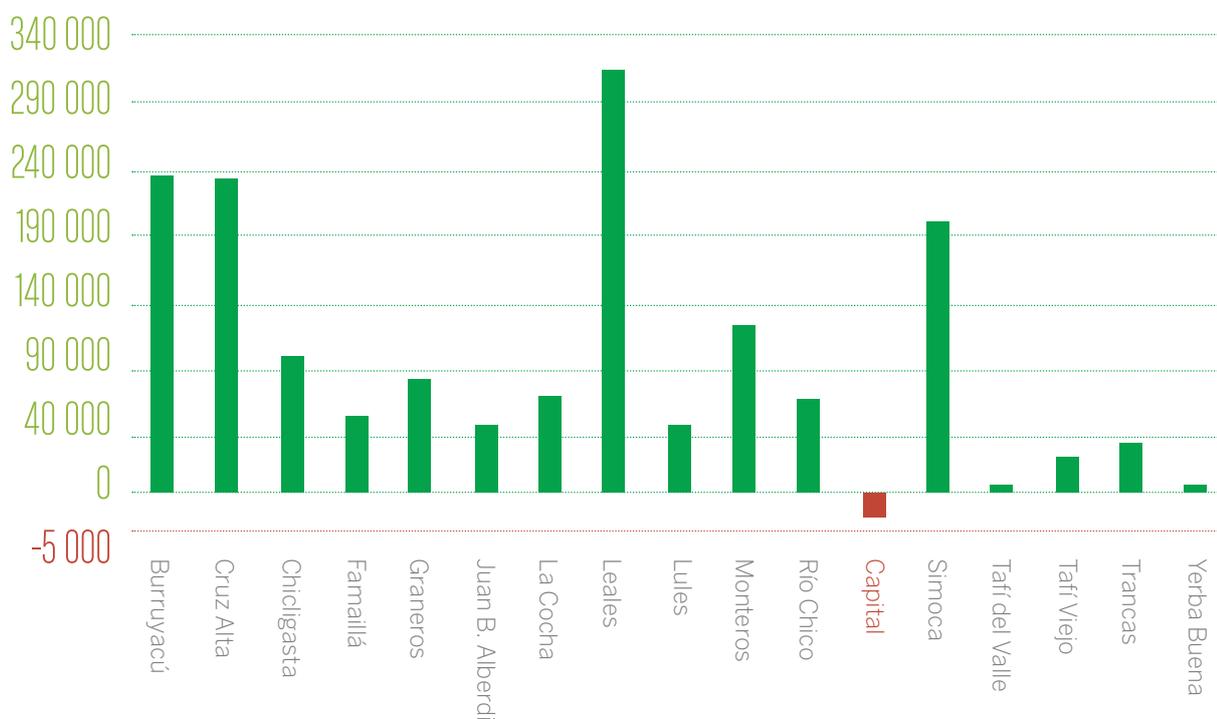
En Tafí del Valle el balance es ligeramente positivo como consecuencia del aporte de oferta indirecta de las bodegas y de otros usos (formaciones arbustivas y herbáceas), logrando cubrir la demanda del sector residencial, ladrilleras y escuelas rurales.

El departamento Capital es el único que presenta un balance deficitario, en donde la demanda del sector residencial y, en menor medida del ladrillero, superan ampliamente los aportes de oferta directa de la producción de caña de azúcar.

Gran parte del oeste de la Provincia presenta valores cercanos o inferiores a cero (Gráfico 5), en virtud de que gran parte del IMA de sus formaciones nativas se encuentra protegida por el OTBN y, adicionalmente, la accesibilidad física es muy limitada. Como se mencionó anteriormente, el mayor potencial de oferta se encuentra en la llanura central debido al aporte derivado de la producción de caña de azúcar y los ingenios son los principales consumidores del bagazo que generan. En el Mapa 13, puede verse que los mayores niveles de demanda también se encuentran en las localidades y centros urbanos localizados en la llanura central, es decir, los más altos consumos de biomasa de la Provincia se localiza próximo a las áreas de mayor potencial de oferta.

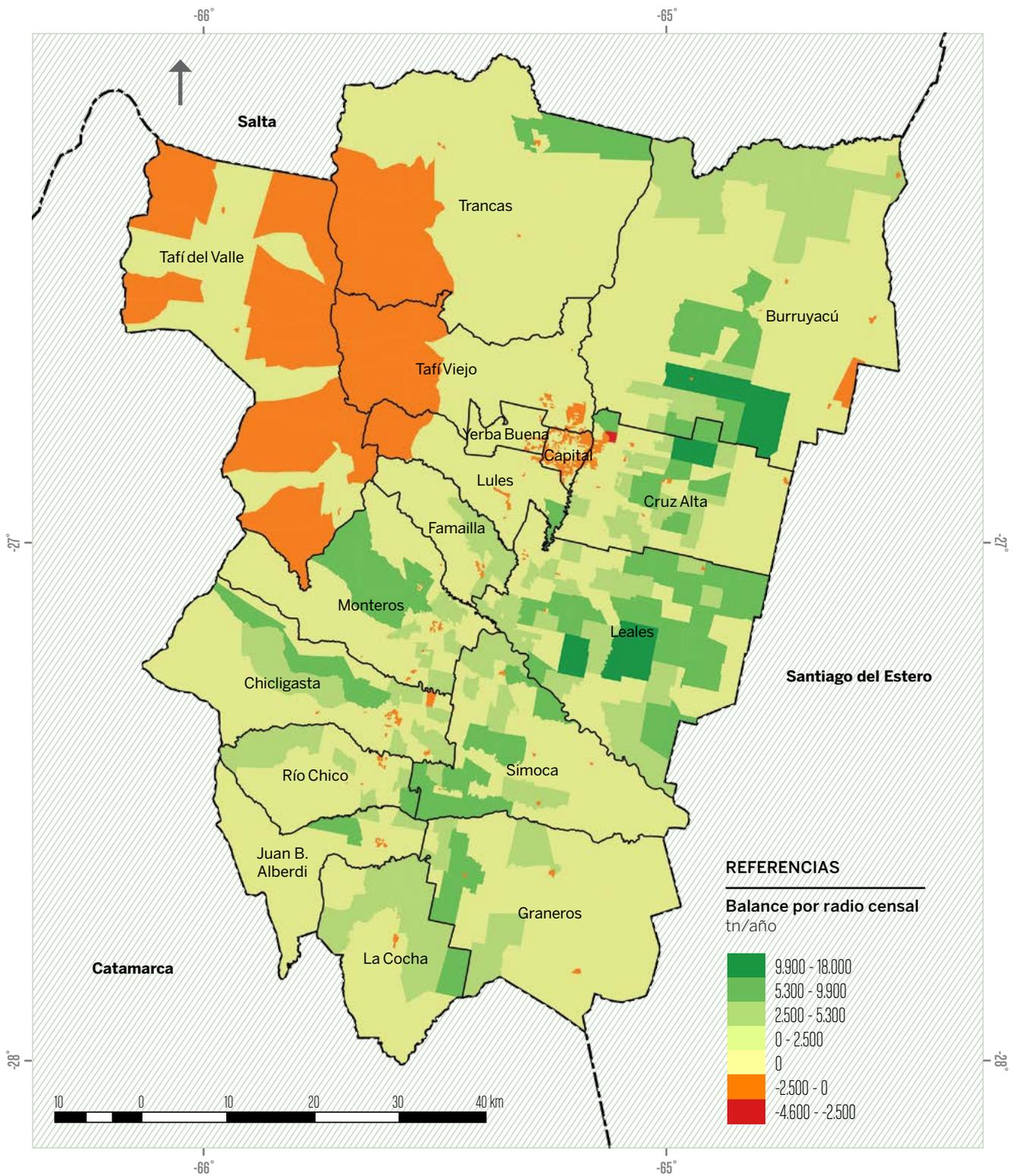
### Gráfico 5

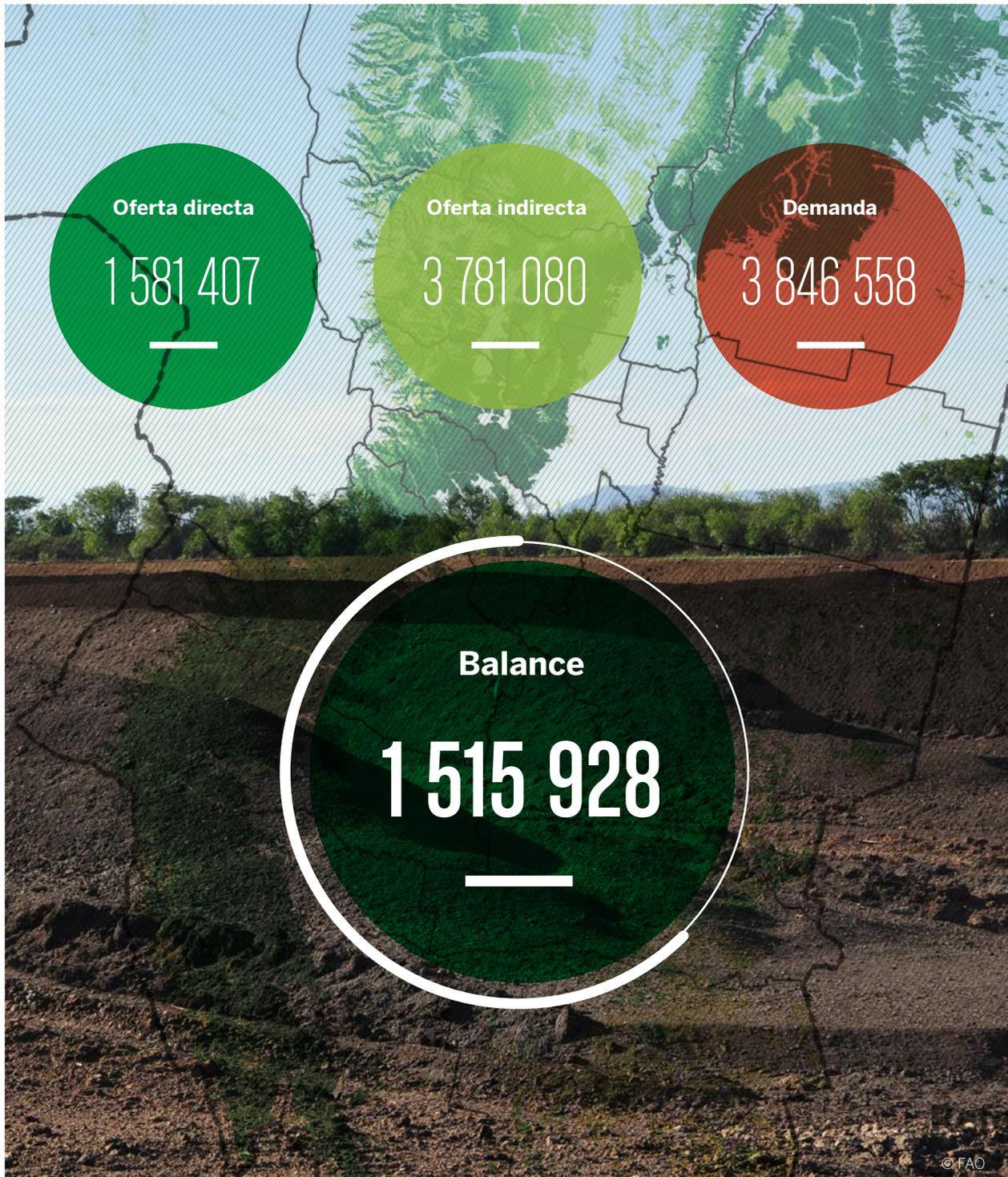
Balance por departamento (tn/año).



**Mapa 13.** Balance por radio censal.

**Fuente:** Elaborado por Barasch, Yamila, *et al.*, *ibíd.*





---

# 6. MÓDULO DE OFERTA DE BIOMASA HÚMEDA

- 
- 6.1 *Feedlots* bovinos
  - 6.2 Establecimientos porcinos
  - 6.3 Establecimiento tamberos
  - 6.4 Ingenios

---

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 ( $\text{CH}_4$ ) producido. La digestión anaeróbica es un proceso biológico que puede ser utilizado para la recuperación de la energía y los nutrientes contenidos en la materia orgánica. En él interviene un grupo de microorganismos, que transforma la materia orgánica en una mezcla de gases, fundamentalmente  $\text{CH}_4$  y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), 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  $\text{CH}_4$ , el cual varía entre un 50 y 75 %. El digestato obtenido se puede utilizar 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, denomina-

dos 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 una 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  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  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 ( $\text{O}_2$ ) disuelto, afectando al resto del ecosistema acuático. Asimismo, por la composición química que suelen tener este tipo de sustratos (alto contenido de sales minerales y de nitrógeno), al degradarse la materia

orgánica se forman compuestos volátiles como CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. 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<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>).
- Reducción de la contaminación de cuerpos de agua y de la proliferación de vectores de enfermedades. Mejora 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.
- Contribuye 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 la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Si se tienen en cuenta los sectores productivos más relevantes de la Provincia de Tucumán, las ma-

terias primas que se podrían considerar para la producción de biogás son: efluentes de las actividades de cría y explotación de ganado y efluentes de las industrias láctea, azucarera y cítrica, entre otras.

Cabe destacar que, para el presente análisis, solamente se han tenido en cuenta los residuos ganaderos bovinos (*feedlots* y *tambos*) y porcinos y la vinaza (efluente residual más importante de la industria azucarera), por ser las únicas actividades con información disponible de fuentes oficiales. Asimismo, para el caso de las producciones ganaderas, se aplicó una restricción de carácter estructural para el análisis espacial, dada por el tipo de producción, ya que el mismo 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 el abastecimiento continuo del sustrato en los biodigestores.

Para el caso de las producciones ganaderas, las estimaciones se llevaron a cabo a partir de información del SENASA, actualizada a octubre de 2015. Esta información contemplaba la localización de cada establecimiento y el número de cabezas, lo que permitió realizar los cálculos de la oferta discriminando tipo de actividad, en bovinos (*feedlot* y *tambo*) y porcinos. Para estimar los residuos generados por cabeza y por tipo de producción, se utilizó el criterio aplicado por Flores *et al.* (2009).

Para el caso de la vinaza, el análisis se realizó en base a valores de producción de caña molida por ingenio (CAA) y utilizando coeficientes para estimar el valor en términos de energía.

### 6.1 *Feedlots* bovinos

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

### 6.2 Establecimientos porcinos

En el caso de los establecimientos porcinos, se calculó un residuo potencial de 3,4 kg de estiércol fresco/animal x día, que al multiplicarlo por la cantidad de días que posee un año resulta en 124 kg estiércol fresco/animal x año.

### 6.3 Establecimiento 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 la Tabla 15, se pueden observar los valores obtenidos para cada tipo de establecimiento. Se adoptó como poder calorífico del biogás 5 500 kcal/m<sup>3</sup> y para el factor de conversión tonelada equivalente de petróleo (tep) se utilizó 10<sup>7</sup> kcal por cada tep.

### 6.4 Ingenios

Los ingenios generan, durante la producción de azúcar, alrededor de 45 kg de melaza por cada tonelada de caña procesada, que pueden producir 12l de alcohol y 0,13 m<sup>3</sup> de un efluente residual conocido como vinaza. Este efluente líquido contiene grandes cantidades de materia orgánica procedentes del proceso de extracción de los jugos y de la fermentación (Bernal-González, 2012, y López *et al.*, 2010). La concentración de materia orgánica, medida como demanda química de oxígeno (DQO), alcanza valores entre 120 y 150 g.l<sup>-1</sup> (casi quinientas veces la cantidad presente en aguas residuales domésticas).

Además, tiene un pH menor a 5, lo que la convierte en una corriente ácida, que va corroyendo los materiales de recipientes y tuberías acumulando metales en disolución. Si un residuo de estas características es vertido al ambiente, puede generar graves problemas ambientales (Bernal-González, 2012).

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

A partir de los valores de producción de caña molida por ingenio, se estimó el volumen de vinaza y, luego, se calculó su valor correspondiente en términos de energía.

Para ello, se determinó el potencial de energía a partir de la vinaza, asumiendo que de 10 000 tn de caña molida se obtienen 1 300 m<sup>3</sup> de vinaza, con una DQO de 120 kg/m<sup>3</sup>. En la página siguiente se estima el potencial energético anual de la vinaza, a partir de considerar el total de caña molida de la Provincia de Tucumán que, durante la zafra de 2014, fue de 12 675 458 tn.

En la Tabla 16, se muestran los valores en tep/año, por departamento, según cada actividad productiva. También, se observa que el mayor poten-

## Cuadro 15

Estimación de potencial de generación de biogás por tipo de animal.

### Fuente

Adaptado por Mariano Butti -INTA-, en base a Flores *et al.* (2009) y Hilbert (2008).

	Feedlot	Porcino	Tambo
Biogás (m <sup>3</sup> /kg de estiércol fresco)	0,0315	0,0495	0,0315
Biogás (m <sup>3</sup> /animal x año)	274,30	61,45	34,49
Energía (kcal/animal x año)	1508627	337962	189709
Energía (tep/animal x año)	0,1509	0,0338	0,0190

cial pasible de aprovechamiento energético lo tiene la actividad azucarera; el segundo lugar, lo ocupa la producción bovina en confinamiento (*feedlot*); el tercer lugar, la porcina; y, por último, la actividad tampera.

El potencial de biogás a partir de vinaza se concentra en el centro de la Provincia, más específicamente, en los departamentos de Cruz Alta, Monteros, Chicligasta, Leales, Río Chico, Famaillá y Juan B. Alberdi.

Para el caso de los *feedlots* bovinos, los departamentos que presentan una mayor oferta potencial de energía son Leales, Burruyacú, Trancas y Graneros, en el norte, este y sur del territorio tucumano.

En cuanto a los establecimientos porcinos, la mayor oferta potencial se encuentra en los departamentos de Trancas y Burruyacú. En tanto, el resto se localiza de manera relativamente homogénea en los departamentos ubicados al norte, centro y este

de la Provincia. Esta actividad se encuentra más dispersa en comparación con los *feedlots* bovinos.

Por último, la actividad tampera, en cambio, se encuentra sumamente concentrada en el departamento de Trancas, en el norte de Tucumán, con un potencial bioenergético relativamente menor que los establecimientos porcinos y bovinos en confinamiento.

Si se consideran los cuatro tipos de fuentes potenciales de generación de biogás, los departamentos de Cruz Alta, Monteros, Chicligasta, Leales, Río Chico, Famaillá y Juan B. Alberdi son los que disponen de un mayor potencial para la generación de biogás. Luego, le siguen los departamentos de Trancas, Burruyacú y Graneros, pero con una menor participación en términos energéticos. En resumen, se puede observar que la oferta de biomasa húmeda se encuentra mayormente concentrada en los primeros seis departamentos citados (Mapa 14).



$$\text{Volumen de vinaza} = \frac{12\,675\,458 \frac{\text{tn}}{\text{año}} \times 1300 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{10\,000 \frac{\text{tn}}{\text{día}}} = 1647\,810 \frac{\text{m}^3 \text{ de vinaza}}{\text{año}}$$

- Se considera que la vinaza puede contener un valor promedio de DQO de 120 kg/m<sup>3</sup>, entonces, la carga en DQO por año sería:

$$\text{DQO al año} = 1647\,810 = \frac{\text{m}^3 \text{ de vinaza}}{\text{año}} \times 120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 197\,737\,145 \frac{\text{kg DQO}}{\text{año}}$$

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

$$\text{DQO convertible} = 197\,737\,145 \frac{\text{kg DQO}}{\text{año}} \times 0,7 = 138\,416\,002 \frac{\text{kg DQO}}{\text{año}}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Potencial de metano} &= 138\,416\,002 \frac{\text{kg DQO}}{\text{año}} \times 0,5 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{kg DQO}} \times 0,65 \frac{\text{m}^3 \text{ metano}}{\text{m}^3 \text{ biogás}} \\ &= 44\,985\,200 \frac{\text{m}^3 \text{ de metano}}{\text{año}} \end{aligned}$$

- De esta manera, y sabiendo que el poder calorífico del metano es aproximadamente de 9 000 Kcal y que una tonelada de petróleo equivalente (tep) posee 10 000 000 Kcal, podemos estimar que el potencial energético anual de la vinaza, transformada en biogás anaeróbicamente, en la Provincia de Tucumán, es de 40 486,68 tep.

$$\text{Potencial energético} = \frac{44\,985\,200 \frac{\text{m}^3 \text{ metano}}{\text{año}} \times 9\,000 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{ metano}}}{10\,000\,000 \frac{\text{kcal}}{\text{tep}}} = 40\,486,7 \frac{\text{tep}}{\text{año}}$$

**Cuadro 16**

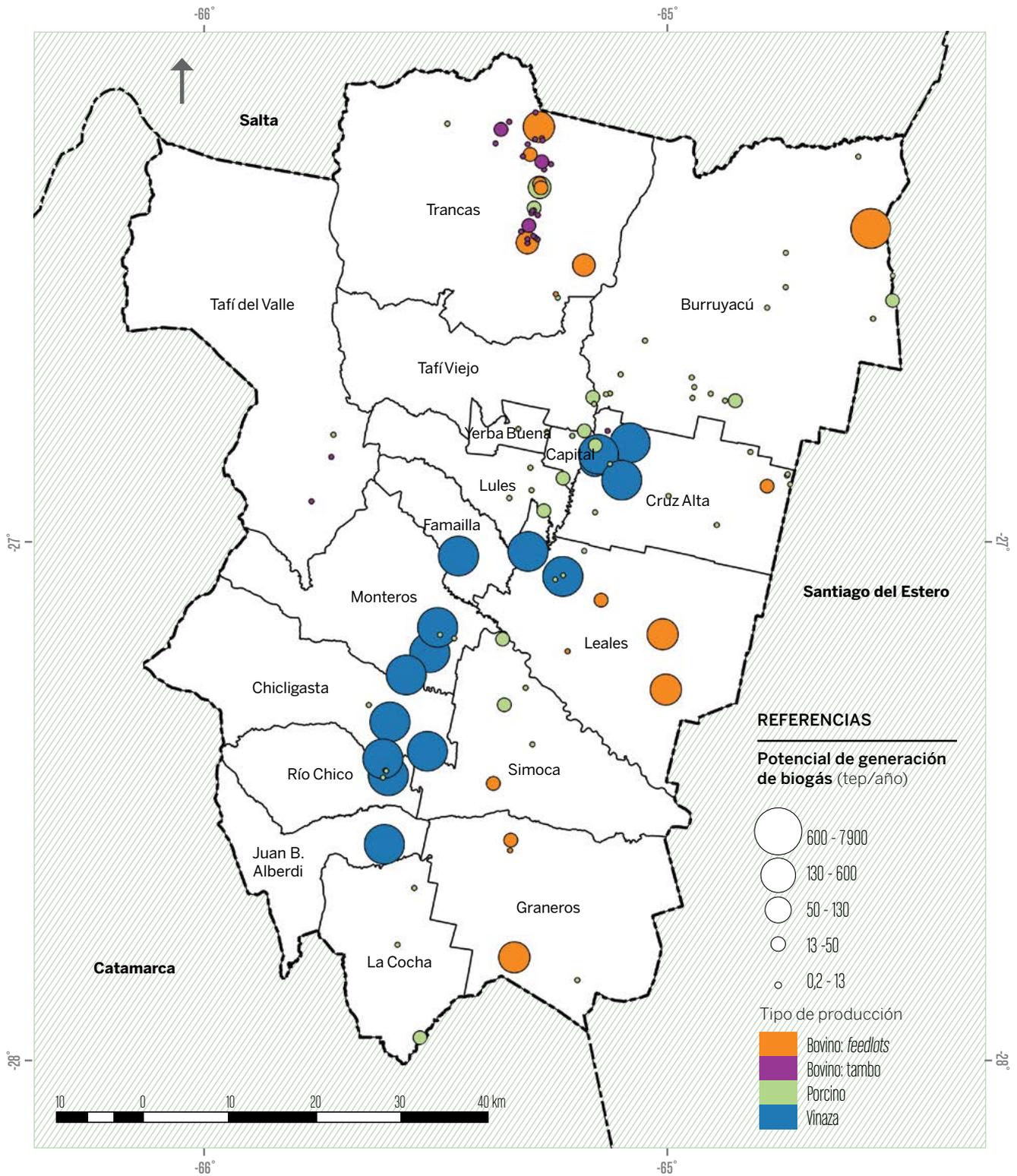
Oferta potencial de biogás por fuente y departamento.

S/D: sin datos.

Departamento	Biogás (tep/año)				Totales por departamento (tep/año)
	Tambos	Porcinos	Feedlots	Vinaza	
Burruyacú	S/D	151,9	745,6	S/D	897,5
Cruz Alta	0,27	82,2	25	12 289,6	12 397,1
Chicligasta	S/D	4,7	S/D	6 355,8	6 360,5
Faimallá	S/D	S/D	S/D	2 947,8	2 947,8
Graneros	S/D	2,6	604,9	S/D	607,5
Juan B. Alberdi	S/D	S/D	S/D	1 513,5	1 513,5
La Cocha	S/D	47,5	S/D	S/D	47,5
Leales	S/D	12,7	900,8	5 087,8	6 001,3
Lules	S/D	44,6	S/D	S/D	44,6
Monteros	S/D	2,9	S/D	9 061,4	9 064,3
Río Chico	S/D	2,9	S/D	3 230,9	3 233,8
Capital	S/D	55,6	S/D	S/D	55,6
Simoca	S/D	51,4	26,8	S/D	78,2
Tafí del Valle	4,9	1,9	S/D	S/D	6,8
Tafí Viejo	S/D	22,4	S/D	S/D	22,4
Trancas	147,1	186,3	649,6	S/D	983,0
Yerba Buena	S/D	5,2	S/D	S/D	5,2
<b>Total</b>	<b>152,3</b>	<b>674,8</b>	<b>2 952,8</b>	<b>40 486,7</b>	<b>44 266,6</b>

**Mapa 14.** Potencial de generación bioenergético por tipo de producción.

**Fuente:** Elaborado por Barasch, Yamila, et al., *ibíd.*



# 7.

## Conclusiones



Los resultados del presente análisis dan cuenta del gran potencial bioenergético que presenta la Provincia de Tucumán. La variedad de fuentes biomásicas y el volumen de las mismas, la colocan en una situación privilegiada en relación a la planificación y promoción de proyectos bioenergéticos.

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 (biogás, electricidad, calor) 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 la cosecha y del manejo de los cultivos, con un mayor nivel de detalle (mayor resolución espacial) y nueva información otorgada por la Provincia. Adicionalmente, se estimó el potencial de energía a partir de la oferta de biomasa húmeda proveniente del efluente de los ingenios (vinaza) y de los establecimientos bovinos (tambos y *feedlots*) y porcinos.

Las actividades llevadas a cabo por el Proyecto para la Promoción de la Energía Derivada de Biomasa (PROBIOMASA) y la Unidad Provincial Ejecutora de Tucumán permitieron arribar en forma consensuada a esta versión final del análisis espacial del balance energético derivado de biomasa, aplicando la metodología WISDOM. En este sentido, se conformó un grupo técnico consultivo interinstitucional e interdisciplinario, promoviendo sinergias entre los organismos provinciales. Se capacitó a este grupo en la aplicación de la metodología WISDOM y, de esta manera, se logró institucionalizar el análisis espacial en la Provincia a fin de que sean los expertos locales los que actualicen y profundicen el mismo. Siguiendo esta línea de trabajo, se desarrolló un manual técnico específico para Tucumán, denominado "Curso introductorio acerca del *software Dinamica EGO* e implementación de la metodología WISDOM". Este manual se utilizó en el dictado del Curso-Taller, llevado a cabo en San Miguel de Tucumán, durante abril de 2015.

Considerando los recursos biomásicos existentes, aproximadamente el 70 % de la oferta directa accesible se distribuye a lo largo de la llanura central de la Provincia, en los departamentos de Leales, Cruz Alta, Burruyacú, Simoca y Monteros. Esta oferta se deriva, esencialmente, del cultivo

---

## **La variedad de fuentes biomásicas y el volumen de las mismas, colocan a la Provincia de Tucumán en una situación privilegiada en relación a la planificación y promoción de proyectos bioenergéticos.**

---

de caña de azúcar y, en menor medida, del manejo del cultivo citrícola. En tanto que, las formaciones nativas presentan un gran potencial biomásico aprovechable con fines energéticos, siendo la segunda fuente de biomasa en importancia.

Una particularidad de la cadena productiva azucarera, en su etapa industrial, es que, al mismo tiempo que es una gran generadora de biomasa, es también una gran consumidora de sus propios residuos o subproductos para la cogeneración de energía.

Con respecto a la demanda, la llanura central constituye un área prioritaria de atención ya que, como se mencionó a lo largo del análisis, es donde se encuentra el máximo potencial de acuerdo al balance de oferta y demanda energética de biomasa. En relación a las condiciones deficitarias, se destaca el Aglomerado del Gran San Miguel de Tucumán, en particular el departamento Capital, en donde la demanda energética de biomasa supera a la oferta ofrecida. Similares condiciones, aunque en menor medida, se registran en otros núcleos urbanos, en donde la oferta de biomasa es transportada para satisfacer los requerimientos de la demanda. El departamento Tafí del Valle cuenta con un balance bioenergético cercano a cero, por lo que se recomienda evaluar la utilización de otras fuentes de energía, especialmente renovables de disponibilidad local, tales como la solar y la eólica.

Asimismo, en este estudio se avanzó en la evaluación del potencial de biogás derivado del aprovechamiento de las deyecciones de la ganadería vacuna (tambos y *feedlots*), porcina y de los efluentes de la industria azucarera como es la vinaza. Dicho potencial incidiría sosteniblemente en las prácticas productivas de estos establecimientos, ya que se podría favorecer el desplazamiento de energía derivada de fuentes fósiles por una de fuentes renovable y, al mismo tiempo, a través de una gestión adecuada de los residuos, se podría evitar el 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 Tucumán. Ello ha sido posible gracias a la estrecha colaboración de los miembros de la Unidad Provincial Ejecutora de la Provincia y el marco de intercambio generado en este ámbito.

---

## 8.

# Recomendaciones



© FAO



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 agroenergía, 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 Tucumán, para darle un marco institucional a la actualización del WISDOM de la Provincia, enriqueciendo el análisis espacial a través de la incorporación de fuentes no 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 al 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, 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.

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

---

- **Oferta directa:**

- Replantar los sistemas de cosecha, determinar la humedad del residuo, su transporte y las formas de densificación.

- Bosque nativo: incorporar al modelo una tabla de productividad de bosques de mayor detalle. Tener en cuenta datos de IMA de parcelas permanentes, como las instaladas por la Fundación ProYungas, en la Provincia de Tucumán, complementando dicha información con las 5 parcelas permanentes de remediación forestal del IER (Instituto de Ecología Rural). Se recomienda la ampliación del número de parcelas permanentes distribuidas en todas las provincias fitogeográficas. Incorporar la estimación del volumen de la fracción ramas menores a 10 cm de diámetro, en la realización del Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos. Fomentar el uso de biomasa proveniente de especies exóticas.

- Arbustales y pastizales: mejorar la distribución de estas formaciones y realizar mediciones a fin de estimar la productividad. Incorporar estos ítems en el Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos.

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

- Caña de azúcar: realizar análisis de campo a fin de ajustar los valores de RAC que se pueden obtener según productividad, considerando la conservación del suelo.
- Cítricos: determinar el uso final de los residuos de poda y reemplazo que realiza cada establecimiento.
- Forestaciones: actualizar el estado de las forestaciones y determinar el volumen de residuo generado. En su defecto, relevar para cada rodal especie, densidad o diámetro cuadrático medio (o edad de la plantación). Asimismo, desarrollar ecuaciones alométricas para aquellas especies de las que no se tiene información.
- Tabaco: emplear una capa geoespacial de mayor resolución, que represente la distribución del tabaco, y asignar un valor de residuo diferenciado según distintos niveles productivos.
- 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.

• **Módulo de oferta indirecta:**

- Ingenios: actualizar la información disponible del volumen de bagazo producido por cada ingenio y su disposición final.
- Secaderos y acopiadoras de tabaco: mejorar las estimaciones de volumen de residuos con fines energéticos y conocer su disposición final.
- Bodegas: identificar el destino final del residuo.
- 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.

• **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.
- Red vial: se sugiere mejorar la calidad geométrica de la traza y discutir la ponderación asignada.  
BAHRA: revisar la precisión de la ubicación de los asentamientos, especialmente aquellas localidades que no son urbanas.
- Ejidos urbanos: digitalizar los aglomerados urbanos de toda la Provincia.
- Ejidos rurales: digitalizar los ejidos rurales para incorporarlos en este análisis.

• **Accesibilidad legal:**

- Áreas protegidas: investigar sobre los usos y manejos que se llevan a cabo 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, como, por ejemplo, las AICAS (Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves). Se sugiere, también, mejorar la calidad geométrica de la capa de las riberas de los ríos.
- 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 en los distintos sectores analizados.
  - Ingenios: confirmar la utilización y volumen del bagazo consumido en las calderas de los mismos. Determinar el tipo y volumen de biomasa adicional consumida.
  - Ladrilleras: mantener actualizado el listado. Calcular el consumo de biomasa con fines energéticos de cada establecimiento, en su defecto, constatar la correlación entre unidad producida y consumo de leña requerido.
  - Escuelas rurales: actualizar el listado de las escuelas que consumen biomasa con fines energéticos y cuantificar el volumen consumido. Ampliar el relevamiento, considerando, también, el consumo para calefacción y para calentar agua con fines sanitarios.
  - Residencial: dado que no existen datos sistemáticos sobre el consumo residencial de leña y carbón vegetal en la Provincia, se optó por estimarlo. Por ello, resulta imprescindible verificar las estimaciones realizadas. Releva las comunidades rurales que consumen biomasa con fines energéticos y cuantificar el volumen consumido. Ampliar el relevamiento, incluyendo el consumo para calefacción y para calentar agua con fines sanitarios.
  - Parrillas, panaderías y hotelería: releva todos los comercios que utilizan biomasa con fines energéticos y cuantificar el volumen de leña y carbón vegetal consumidos.
- **Módulo de oferta de 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 los datos de residuos de la actividad avícola, y la mejora de la información de la actividad azucarera (vinaza), en cuanto a concentración, DQO y volúmenes generados en cada establecimiento. Otro efluente importante de releva es el de la industria cítrica. Se necesita conocer ubicación, volumen de efluentes y porcentaje de compuestos orgánicos.



## Bibliografía

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

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

Bernal-González, M. 2012. *Ahorro de energía: Uso de reactores anaerobios termofílicos para la obtención de metano a partir de vinazas de ingenios azucareros-alcoholeros. Efecto de la temperatura en el desempeño de las biocomunidades anaerobias*. Monterrey, México. Tecnología, Ciencia, Educación, vol. 27, núm. 2, julio-diciembre, 2012, pp. 80-88

Cabrera, Á. 1971. *Fitogeografía de la República Argentina*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, (1-2): 1-42.

Corradini, E. 2005. *Caracterización del sector productor tabacalero en la República Argentina*. Universidad Católica Argentina. Buenos Aires.

DAMI. 2014. *Programa de Desarrollo de Áreas Metropolitanas del Interior*. Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán, Argentina.

Dirección de Promoción. 2009. *Informe visita a la planta de biogás de CITRUSVIL SA*. Área de Energías Renovables, Secretaría de Energía, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Buenos Aires.

EEAOC. 2013a. Relevamiento satelital de los principales cultivos de la Provincia de Tucumán. *Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres*, (83). Las Talitas, Tucumán.

EEAOC. 2013b. Reporte Agroindustrial: estadísticas y márgenes de cultivos tucumanos. Producción y comercialización del limón en Tucumán en el año 2012. *Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres*, (82). Las Talitas, Tucumán.

EEAOC. 2011. Reporte Agroindustrial. Estadísticas y márgenes de cultivos tucumanos. *Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres*, (52). Las Talitas, Tucumán.

FAO. 2010a. *What woodfuels can do to mitigate climate change?* Roma.

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

FAO. 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.

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

FAO. 2003. *Elaboración de un marco para las buenas prácticas agrícolas*. Roma.

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. Mimeo.

Fundación ProYungas. 2014. *Evaluación ambiental estratégica y programa de monitoreo de la biodiversidad en la región NOA*. UCAR, MAGyP, Buenos Aires.

Hansen, M., Thau, D., Stehman, S., Goetz, S., Loveland, T., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Potapov, V., Moore, R., Hancher, H., Turubanova, S., Tyukavina, A., Justice, C. y Townshend, J. 2013. Hi-

- gh-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.
- IEA. 2009. *Bioenergy-a sustainable and reliable energy source: a review of status and prospects*. París.
- INDEC. 2010. *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. Ministerio de Economía. Buenos Aires.
- INDEC. 2013. *Ficha de la Provincia de Tucumán*. Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo. Ministerio de Economía, Buenos Aires.
- INTA. 2013. *La caña de azúcar como cultivo energético*. INTA, Buenos Aires.
- ISAP. 2015. *Informe Sintético de Actividad de las Provincias. Primer Trimestre*. Federico Muñoz & asociados, Buenos Aires.
- López, Iván; Passeggi, Mauricio; Odriozola, Magela; Borges, Luis; Borzacconi, L. 2010. *Tratamiento anaerobio de vinaza de destilería de caña de azúcar*. Bioproa – Instituto de Ingeniería Química – FI – UdeLaR.
- Lorenzo-Acosta, Y.; Valdéz Delgado, A.; Domenech López, F.; Rojas Sariol L.; Eng Sánchez, F. 2014. Cálculos técnicos en el diseño de una planta de biogás. Caso de estudio "Tratamiento de vinazas de destilerías en reactores UASB. ICIDCA sobre derivados de la caña de azúcar. Vol 48(2). 28-34pp.
- Luna, E. 2010. Estudio Exploratorio del Uso de la Leña en Escuelas Rurales de la Provincia de Santiago del Estero. «Trabajo final de graduación». Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- Manrique S. y Franco, J. 2012. Potencial energético de biomasa residual de tabaco y ají en el Municipio de Coronel Moldes, Salta, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (16): 06.09 - 06.16. ASADES, Ciudad de Salta.
- Manrique, S., Franco, J., Núñez, V. y 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.
- Ministerio de Desarrollo Productivo. 2015. *Tucumán Polo de Inversión Productivo*. Gobierno de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Ministerio de Desarrollo Productivo, Gobierno de Tucumán. 2015. <http://producciontucuman.gob.ar/producciones-primarias-y-agroindustriales>
- Mornadini, M. y Quaia E. 2013. Alternativas para el aprovechamiento de la vinaza como subproducto de la actividad sucroalcoholera. *Avance Agroindustrial* 34 (2) DOSSIER.
- Pérez, D. 2001. *Los citrus en el noroeste argentino. Su cadena productiva*. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, Consejo Federal de Inversiones. Las Talitas, Tucumán.
- Plaza, G., Tejerina W. y Pacheco O. 1999. Gestión de Residuos en la planta de preindustrialización de la hoja de tabaco en Rosario de Lerma, Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (3): 113-116. ASADES, Ciudad de Salta.
- Reyes Montiel, J., Pérez Bermúdez, R. y Betancourt Mena, J. 2013. *Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental*. INTA, Buenos Aires.
- Roca Alarcón, G., Glauco Sanchez, C., E., Olivares Gómez y Barbosa Cortez, L. 2006. Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: características físicas. *Proceedings of the 6. Encuentro de Energía no Meio Rural*, 1-10.
- SAYDS. 2004. *Mapa Forestal de Tucumán*. Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal, Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires.
- SEGEMAR. 2011. *Primer Censo Nacional de Ladrilleras. Provincia de Tucumán. Informe Final*. Servicio Geológico Minero Argentino, San Miguel de Tucumán.
- Sultana, A. y Kumar A. 2012. Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors. *Biomass and Bioenergy*, (39): 344-355.
- 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.
- Valeiro, A. y Sopena, R. 2009. *Quema en caña de azúcar*. INTA, EEA Famaillá, Tucumán.

---

# 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 los 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 esta Ley, se establecen tres categorías a saber:

- **Categoría I (Rojo):** Sectores de muy alto valor de conservación que no deben transformarse. Incluye áreas que por sus ubicaciones relativas a reservas, su valor de conectividad, la presencia de valores biológicos sobresalientes o la protección de cuencas que ejercen, ameritan su persistencia como bosque a perpetuidad, aunque estos sectores puedan ser hábitat de comunidades indígenas y ser objeto de investigación científica. No pueden estar sujetas a aprovechamiento forestal, pero se podrán realizar actividades de protección, mantenimiento, recolección y otras que no alteren los atributos intrínsecos, incluyendo la apreciación turística respetuosa, las cuales deberán desarrollarse a través de Planes de Conservación. También podrá 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.

En referencia al marco legal Provincial, se debe mencionar la Ley N.º 8304/10 de Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos (OTBN), en aplicación de la Ley Nacional N.º 26 331/07.

# 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 siguientes tipos de coberturas de la tierra:

### Cuadro 17

Coberturas y definiciones FAO.

### Fuente

FAO (2010b).

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 in situ. Puede consistir en formaciones forestales cerradas, donde los 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 in situ; 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 in situ (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 Tucumán

---

Nº1

COLECCIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS

---

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

Buenos Aires, Argentina.  
[www.fao.org](http://www.fao.org)

ISBN 978-92-5-309511-7



9 789253 095117

I6457ES/1/11.16