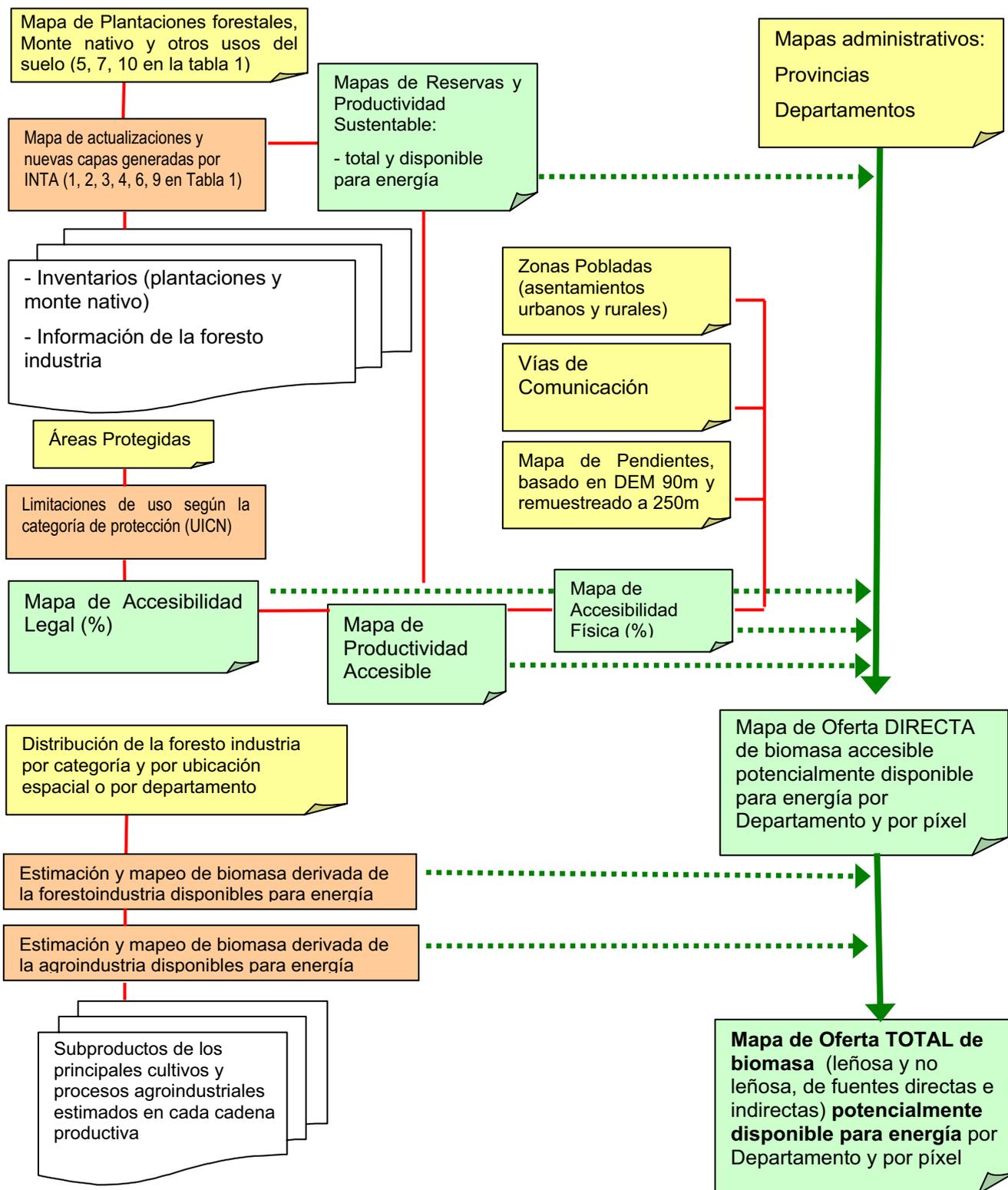


## 4.2. Módulo Oferta

El diagrama de la Figura 5 provee una descripción simplificada de las principales capas temáticas y las etapas de procesamiento del Módulo Oferta. En las siguientes secciones se describen con más detalle, brindando también los nombres de los mapas intermedios y finales y las funciones de análisis SIG utilizadas.

**Figura 5: Módulo Oferta. Diagrama de las principales etapas analíticas de WISDOM Argentina.**



### **4.2.1. Oferta Directa de biomasa sustentable accesible y potencialmente disponible para usos energéticos.**

Las fuentes de oferta directa de biomasa se refieren a las clases de cobertura y uso del suelo (por ejemplo, bosques nativos, plantaciones forestales y otros usos) y a las reservas de biomasa, su productividad y subproductos (ver la clasificación de las fuentes de biomasa en el ANEXO 2: Clasificación de los recursos biomásicos).

#### **Estimación de la productividad sustentable disponible para usos energéticos.**

Una vez que fueron definidas todas las clases del mapa de usos del suelo (*Lc\_250\_4.grd*), fueron asignados los valores de reservas y productividad mínimo, medio y máximo a cada clase, utilizando referencias bibliográficas disponibles e inferencias. El procedimiento de asignación, referencia y conversión fue realizado en una hoja de cálculo de MS Excel, de la cual puede verse un resumen en los Anexos 4 y 5, que muestran los valores de las reservas e incrementos medios anuales, y la productividad potencialmente disponible para usos energéticos, respectivamente.

En el contexto del análisis realizado, el incremento “disponible” representa la fracción del Incremento Medio Anual (IMA) que puede ser considerada como potencialmente disponible con propósitos de generación de energía. Esto fue hecho mediante la deducción del incremento medio anual sustentable de la fracción de biomasa correspondiente a los usos industriales de las plantaciones y a los volúmenes extraídos de los montes nativos para todas las aplicaciones identificadas durante el estudio.

Los principales procesos de estimación, y las fuentes de datos utilizadas, fueron los siguientes:

#### **Volumen de Biomasa.**

Funciones de expansión de volumen a biomasa e información sobre densidad de la madera

La conversión de los datos de volumen de los inventarios forestales para contabilizar la biomasa sobre el suelo implicó el uso de los siguientes factores de conversión:

- Factor de expansión del volumen (FEV)
- Densidad de la biomasa leñosa (base seca; secada al aire) (DBL bs; DBL sa)
- Factor de expansión de la biomasa (FEB)

Se tomó como principal referencia para los factores antedichos el trabajo de la Dra. Sandra Brown, los cuales pueden consultarse en el informe 134 publicado por FAO (FAO, 1997b). Las ecuaciones empleadas para la definición del factor de expansión de la biomasa para bosques latifoliados fueron aplicadas solo para las formaciones boscosas densas, ya que fueron originalmente desarrolladas sobre medidas tomadas en este tipo de formaciones y no pueden ser consideradas como válidas para formaciones abiertas o poco densas, ni para árboles fuera del bosque (Brown, comunicación personal). En las formaciones de menor densidad, en las que la relación entre el volumen del fuste y el volumen total de la biomasa leñosa puede ser considerada como estable, se aplicó un valor fijo de FEB igual a 3 (Brown, Comunicación personal con R. Drigo, Brown and Lugo, 1984). En la Tabla 13 del Anexo se pueden ver las referencias específicas sobre factores de expansión de volumen y biomasa.

#### **Estimación de la componente leñosa del total de biomasa disponible para la producción de energía o carbón vegetal**

La biomasa utilizable para propósitos energéticos que se consideró en el análisis se refiere a la biomasa “dendroenergética”, la cual representa una fracción del total de biomasa sobre el suelo estimada mediante las ecuaciones y factores de expansión mencionados en el punto anterior. Por lo tanto, el total de biomasa sobre el suelo fue reducido mediante un Factor de Fracción Dendroenergética (FFD) (Woodfuel Fraction Factor - WFF), que indica la porción del total de biomasa sobre el suelo compuesta por las ramas, el fuste y la corteza, pero excluyendo las hojas y las ramitas. El FFD fue determinado a partir de referencias que miden la biomasa de varios componentes arbóreos. Finalmente se adoptaron dos factores, uno para formaciones densas (0.88) y otro para formaciones abiertas (0.83), y, sobre esta base, se relacionaron las clases del mapa de usos y coberturas del suelo. En la Tabla 13, que se consigna en Anexo, se indican las referencias específicas.

Por otra parte, además de tener muy poco rendimiento energético, las hojas y pequeñas ramas son esenciales en el sotobosque para la conservación de los nutrientes y la estructura del suelo.

### Plantaciones Forestales

La estimación de los volúmenes de plantaciones forestales se basó en la información obtenida a través del Inventario de Plantaciones Forestales del año 2001. En la Tabla 3 se indican los valores de referencia utilizados como incrementos anuales mínimo, medio y máximo. Los valores de los rangos mínimos y máximos fueron estimados mediante los valores de dispersión de los valores IMA para los grupos de especie y las provincias presentadas en el Informe del Inventario Forestal de la Dirección de Forestación de la SAGPyA.

En el caso de las plantaciones forestales las cantidades disponibles (en las zonas de cultivo) se limitan a las ramas y despuntes y a los raleos (los rangos estimados se detallan en el Anexo 5).

**Tabla 3: Valores de Incremento Medio Anual (IMA) para los principales grupos de especies y provincias, derivadas del Inventario de Plantaciones Forestales 2001. [m<sup>3</sup>/ha·año]**

| Provincia o Región | Grupo de Especies               | IMA del volumen del fuste con DAP ≥10cm [m <sup>3</sup> /ha/año] |       |        | Referencia                       | Años por turno |
|--------------------|---------------------------------|--|-------|--------|----------------------------------|----------------|
|                    |                                 | Mínimo   | Medio | Máximo |                                  |                |
| Misiones           | Araucaria                       | 5  | 12,5  | 20     | INV 2001                         | 20             |
| Misiones           | Otras coníferas                 | 10   | 17,5  | 25     | INV 2001 (Pino)                  | 20             |
| Corrientes         | Otras coníferas                 | 8  | 20    | 32     | INV 2001 (Pino)                  | 20             |
| Entre Ríos         | Otras coníferas                 | 10   | 15    | 20     | INV 2001 (Pino)                  | 20             |
| Buenos Aires       | Otras coníferas                 | 4  | 12    | 20     | INV 2001 (coníferas)             | 20             |
| Patagonia          | Otras coníferas                 | 3  | 7,5   | 12     | INV 2001 (otras coníferas)       | 30             |
| NOA                | Otras coníferas                 | 5  | 13,5  | 22     | INV 2001 (Pino)                  | 20             |
| Centro             | Otras coníferas                 | 4  | 12    | 20     | INV 2001 (Pino)                  | 23             |
| Patagonia          | Pseudotsuga menziesii           | 3  | 7.5   | 12     | INV 2001 (otras coníferas)       | 30             |
| Misiones           | Eucaliptos                      | 20   | 34    | 48     | INV 2001                         | 11             |
| Corrientes         | Eucaliptos                      | 10   | 25    | 40     | INV 2001                         | 11             |
| Entre Ríos         | Eucaliptos                      | 8  | 23    | 38     | INV 2001                         | 12             |
| Buenos Aires       | Eucaliptos                      | 10   | 20    | 30     | INV 2001                         | 12             |
| NOA                | Eucaliptos                      | 6  | 18    | 30     | INV 2001                         | 13.5           |
| Centro             | Eucaliptos                      | 10   | 17,5  | 25     | INV 2001                         | 12             |
| Entre Ríos         | Populus spp. y Salix spp.       | 8  | 15    | 22     | INV 2001                         | 10             |
| Buenos Aires       | Populus spp. y Salix spp.       | 4  | 14,5  | 25     | INV 2001                         | 10             |
| Patagonia          | Populus spp. y Salix spp.       | 12   | 13,5  | 15     | INV 2001 (salicáceas)            | 10             |
| Centro             | Populus spp. y Salix spp.       | 8  | 15    | 22     | INV 2001 (salicáceas) Entre Ríos | 10             |
| Misiones           | Otras latifoliadas              | 20   | 22,5  | 25     | DF Pop Sal Delta                 | 10             |
| Corrientes         | Otras latifoliadas              | 8  | 15    | 22     | INV 2001 (salicáceas) Entre Ríos | 10             |
| Buenos Aires       | Otras latifoliadas              | 8  | 15    | 22     | INV 2001 (salicáceas)            | 10             |
| Patagonia          | Otras latifoliadas              | 12   | 13,5  | 15     | INV 2001 (salicáceas)            | 10             |
| NOA                | Otras latifoliadas              | 8  | 15    | 22     | INV 2001 (salicáceas) Entre Ríos | 10             |
| Patagonia          | Pinus ponderosa y jeffreyi      | 2  | 6     | 10     | INV 2001 (Pino)                  | 30             |
| Misiones           | Pinus taeda, elliotii y caribea | 10   | 17,5  | 25     | INV 2001                         | 20             |
| Corrientes         | Pinus taeda, elliotii y caribea | 8  | 20    | 32     | INV 2001 (Pino)                  | 20             |
| Entre Ríos         | Pinus taeda, elliotii y caribea | 10   | 15    | 20     | INV 2001 (Pino)                  | 20             |
| NOA                | Pinus taeda, elliotii y caribea | 5  | 13,5  | 22     | INV 2001 (Pino)                  | 20             |
| Centro             | Pinus taeda, elliotii y caribea | 4  | 12    | 20     | INV 2001 (Pino)                  | 23             |

La estimación de los volúmenes disponibles no industriales, en las zonas de cultivo, se basaron en la diferencia entre la biomasa dendroenergética y la biomasa del fuste. Esta diferencia puede sobreestimar la biomasa disponible en las especies latifoliadas y debe verificarse con datos de campo.

Los valores de biomasa producida a partir de raleos en plantaciones forestales son aún muy tentativos, por lo que mientras no se tengan datos más confiables para su estimación, la biomasa dendroenergética proveniente de raleos se estima de manera conservadora, tomando como base anual el 10% del incremento anual (mínimo, medio o máximo). La estimación fue hecha considerando que los raleos son hechos 1 o 2 veces, dependiendo de las especies y los períodos de rotación, removiendo en cada operación alrededor del 20% del volumen en pie (1 de cada 3 árboles), lo que representa entre el 12 y el 22% al fin de la rotación.

Es necesario realizar más trabajo de investigación para determinar —con una confiabilidad adecuada— cual es la disponibilidad de biomasa de las plantaciones forestales disponible para usos energéticos. Se debe prestar especial atención a la estimación de biomasa disponible en los cultivos forestales y, como se explica en el párrafo anterior, a los volúmenes de biomasa proveniente de los raleos.

### **Bosques Nativos**

La estimación del volumen de bosques nativos fue elaborada en base a los resultados del “Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos”, realizado durante el período 1998-2005 por la Dirección de Bosques de la S AyDS. La información sobre los volúmenes de los principales tipos de bosques fueron tomadas directamente de los datos publicados referidos a “tierras forestales”, mientras que para formaciones de menor densidad consideradas en el inventario como “otras tierras forestales” estos se infirieron sobre la base de sus correspondientes formaciones densas y los datos sobre densidad arbórea disponibles en el propio inventario.

La productividad potencial de estas formaciones fue estimada como aquella alcanzable mediante técnicas y prácticas de gestión forestal sustentable. La estimación cuantitativa de dicha productividad es únicamente indicativa, ya que los valores reales del crecimiento bajo los regímenes específicos de manejo no pudieron ser identificados. Como se muestra en el Anexo 4, la productividad mínima, media y máxima en bosques nativos, fueron estimadas como un porcentaje de los valores de reservas o stock, asumiendo un valor del 2, 3 y 4% respectivamente, para formaciones densas; y valores del 3, 5 y 7% para el Parque (Wabö, 2005) y para otras formaciones abiertas.

En los bosques nativos, la estimación de la productividad sustentable potencialmente disponible para energía fue hecha deduciendo a partir del IMA los volúmenes extraídos en cada departamento de acuerdo a lo declarado en las estadísticas oficiales.

### **Otras fuentes directas de biomasa**

Otras fuentes de biomasa potencialmente disponibles para usos energéticos consideradas incluyen los residuos de cosecha de algunos cultivos anuales y los reemplazos de algunas plantaciones agrícolas.

Los residuos de las cosechas anuales se basaron en las estadísticas de cultivo de la SAGPyA y en estudios sobre los ciclos de cultivo. De todos modos, en la gran mayoría de los casos, estos residuos no están disponibles para usos energéticos ya que en el país se practica el sistema de siembra directa, en el cual los residuos se mantienen sobre el suelo para conservar su fertilidad y estructura.

Las otras fuentes directas que aportan considerables cantidades de biomasa utilizable para energía se pueden agrupar en dos grandes grupos (aunque en el futuro se pueden agregar otras fuentes):

- Aquellas para las cuales se cuenta con mapas de las áreas reales de cultivos (plantaciones de olivo, caña de azúcar y arroz); y
- Aquellas para las cuales se cuenta con estadísticas de la SAGPyA pero para las que no se tienen identificadas espacialmente las áreas cultivadas (viñedos, plantaciones de cítricos y otros frutales de huerto).

**Plantaciones de Olivo.** El cálculo de residuos disponibles para energía en el sitio de cultivo del olivo (2,5 t/ha/año) se basó en el flujograma de la Figura 6. y referencias asociadas a la poda de los olivares. No se calculó el stock para esta clase.

Figura 6. Flujograma de la actividad olivícola.

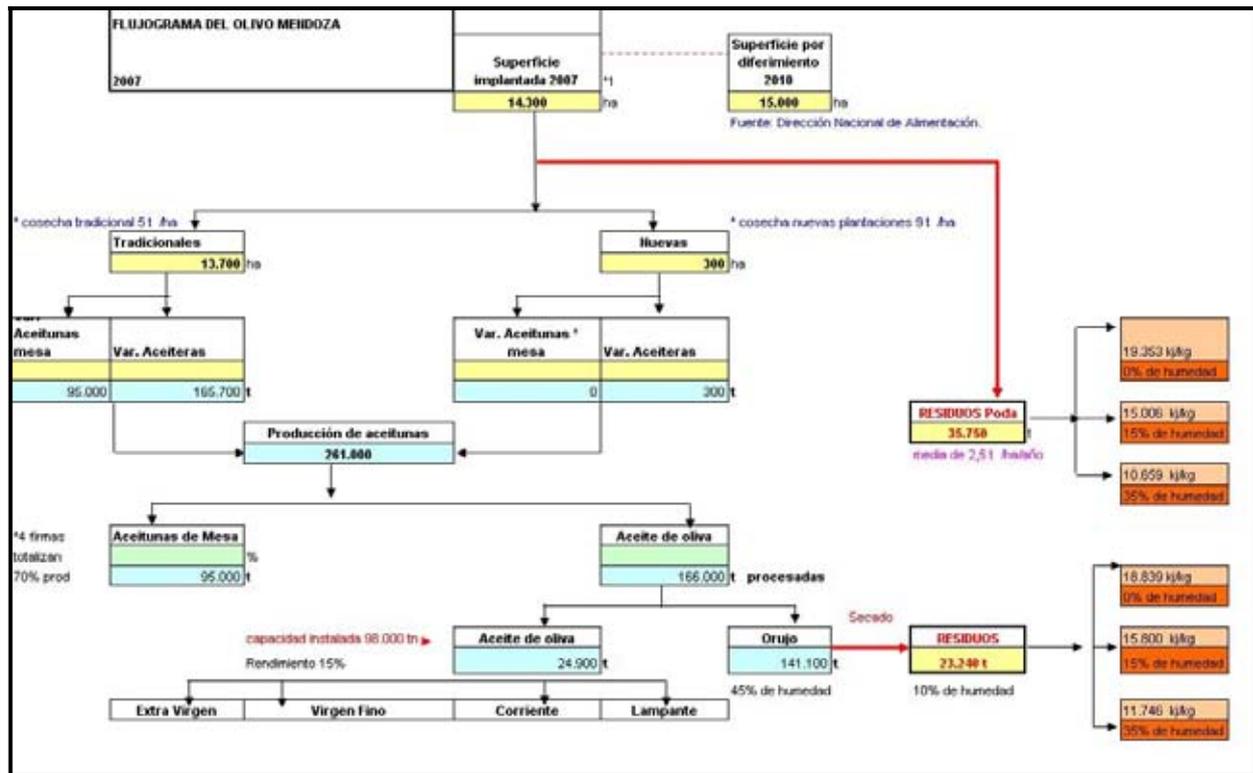


Figura 7. Flujograma de la actividad algodonera.

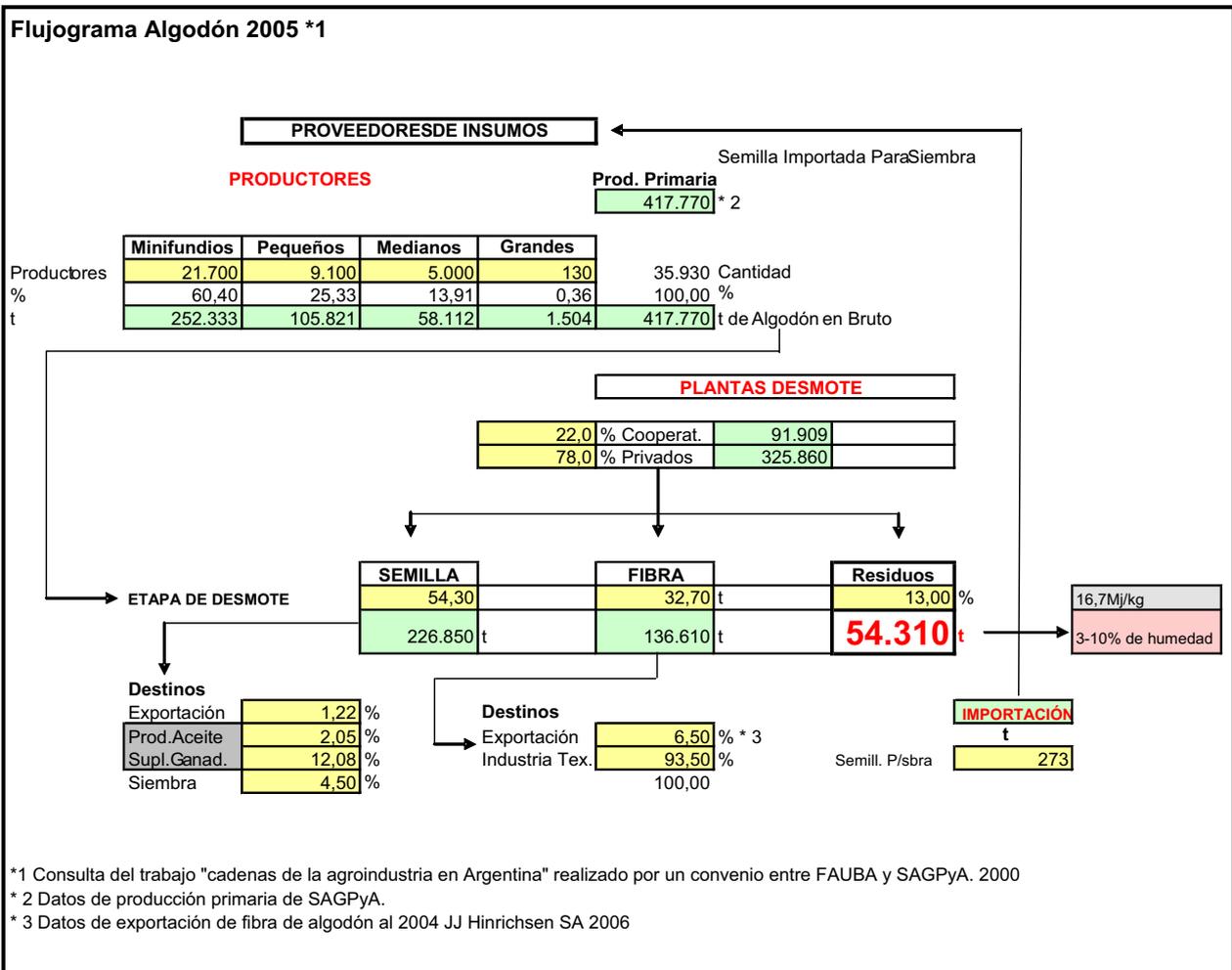


Figura 8. Oferta de Residuos de la Foresto y Agroindustria en todo el país.

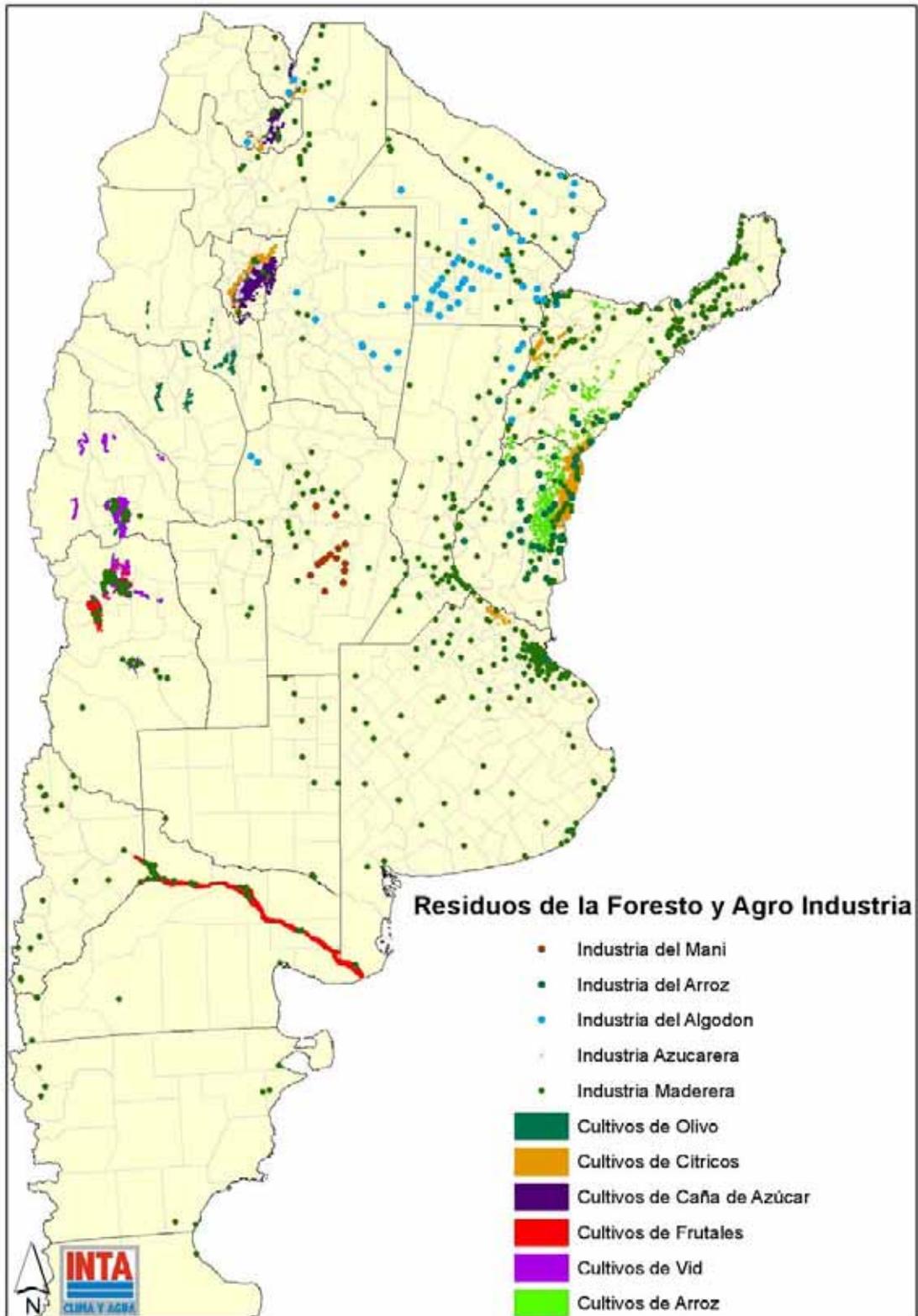


Figura 9. Flujograma de la actividad arrocera.

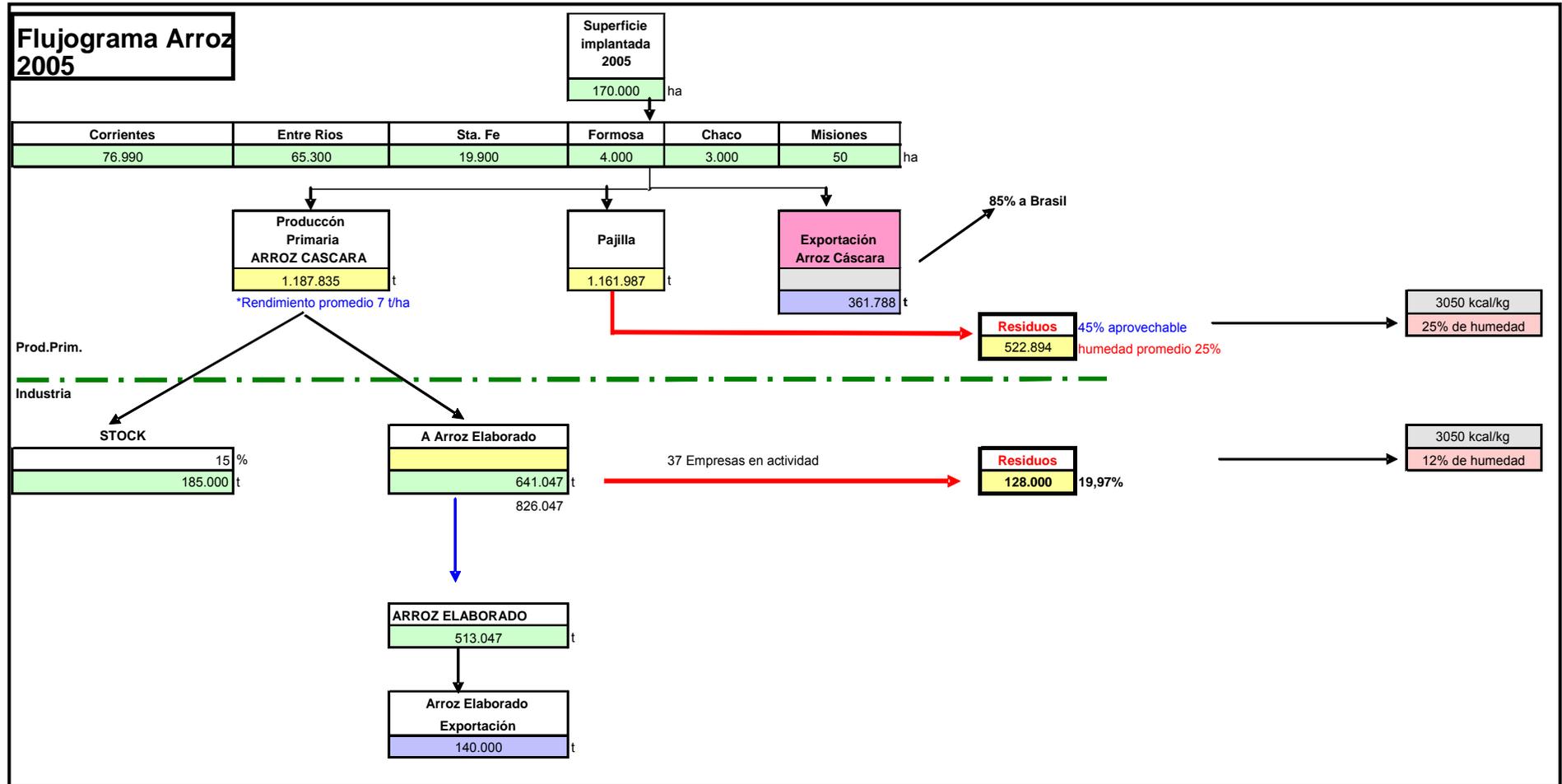
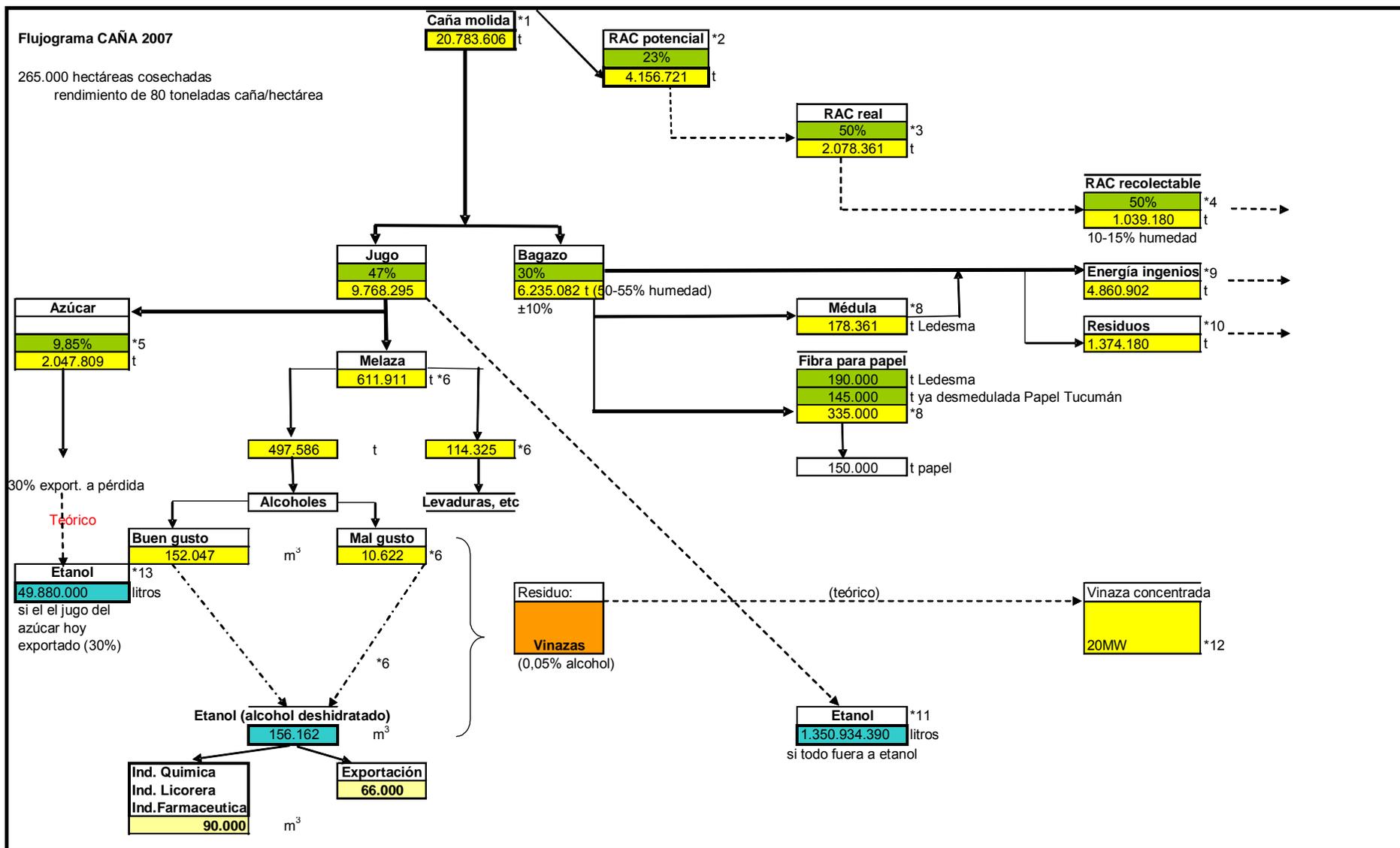


Figura 10. Flujograma de la actividad azucarera.



**Notas a la Figura 10:**

- \*1. Se usaron los datos de caña molida del Centro Azucarero Argentino para 2007. Se consideran los más ajustados a la realidad. Puede haber caña no cosechada, pero tampoco se utilizaría para energía.
- \*2. EEAOC, 2007. Mediciones sobre las variedades más difundidas en Tucumán.
- \*3. RAC real, considerando pérdida de humedad (de 40-50% a 10% aprox.). Se deja secar a campo.
- \*4. RAC recolectable: considerando necesidades agronómicas del suelo (de acuerdo a recomendación técnica) y eficiencia de maquinaria recolectora/densificadora.
- \*5. Centro Azucarero Argentino, rendimiento fabril promedio Argentina, 2007
- \*6. Cámara de Alcoholes, Producc. acumulada Jun-Dic 2007, para alcoholes y otros usos (levaduras, etc.)
- \*7. 1 kg RAC= 1,35 kg bagazo = 0,208 Nm<sup>3</sup> gas natural; Feijoo et al., Jornadas SATCA 2008
- \*8. Empresa Ledesma S.A. en 2007, comunicación personal con el Ing. Agr. Alejandro Valeiro, del INTA Famaillá. Ledesma desmedula el bagazo y la médula se quema en las calderas. Papel del Tucumán compra el bagazo desmedulado.
- \*9. Ledesma usa 100% de su bagazo para energía propia (comunicación personal con el Ing. Agr. Alejandro Valeiro, del INTA Famaillá). Para el resto de los ingenios se calculó a razón de 250 kg quemados/t de caña molida (Perera, 2008 y Ledesma S.A. com. pers.). Estas cifras deberían especificarse en cada ingenio en el futuro.
- \*10. Depende del valor anterior. Ledesma no tiene residuos, es posible que otros ingenios tampoco.
- \*11. A razón de 65 l. Internacionalmente puede llegar a 90 l.
- \*12. Perera, 2008.
- \*13. A razón de 8 l t/caña molida. Internacionalmente la tasa es de 10 l.

**Plantaciones de Caña de Azúcar.** El cálculo de los residuos disponibles para usos energéticos en el sitio de cultivo de la caña de azúcar se basó en el flujograma del cultivo (Figura 10) y se apoyó en información del Centro Azucarero Argentino, que indica que la cantidad total de residuos (con el 10-15% de humedad) fue de 1.039.180 t, cultivadas en una superficie "oficial" de 306.630 ha en el año 2007. De aquí resultan 3,4 t/ha.año. No se calculó el stock para esta clase.

**Residuos del cultivo de arroz.** Los residuos disponibles en los sitios de cultivo fueron estimados sobre las áreas arroceras de las provincias de Entre Ríos y Corrientes, las que suman un total de 140.000 ha identificadas, sobre un total de 170.000 ha reportadas por la SAGPyA para todo el país. (Ver flujograma en la Figura 9) De acuerdo con el ciclo del cultivo del arroz (flujo\_arroz.xls), la pajilla de arroz que queda disponible como residuo representa alrededor de 2,32 t/ha (peso seco).

**Residuos de Viñedos y árboles frutales.** La estimación de los residuos de poda y remplazo de viñedos se basó en la información provista por la Fundación IDR de la provincia de Mendoza, y se confirmó con estudios llevados a cabo en España por AVEBIOM en zonas agroecológicas comparables. El valor aplicado fue de 2,7 t de biomasa seca/hectárea/año. Para cítricos y otros frutales, la única referencia encontrada se refiere a condiciones en Italia (APAT, 2003) y se ha aplicado hasta tanto existan en Argentina otras referencias específicas. Los valores aplicados fueron de 3 t de biomasa seca/hectárea/año para los cítricos y 5,4 t de biomasa seca/hectárea/año para otros árboles frutales.

### **Mapeo de la productividad sustentable disponible para usos energéticos**

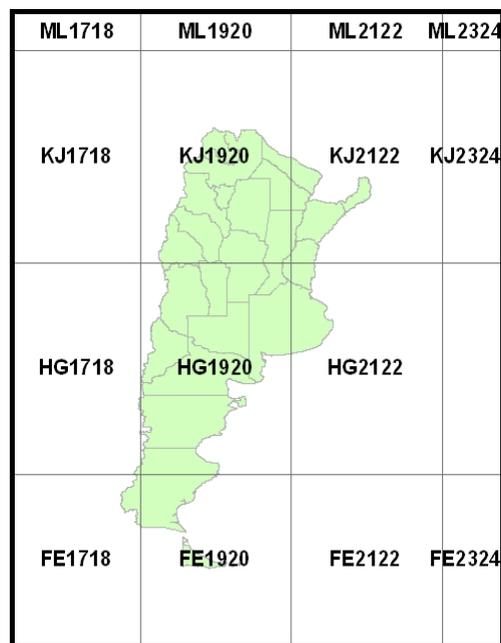
Una vez que los valores de las reservas (stock), productividad sustentable y potencialmente disponible para energía, mínima, media y máxima fueron definidas para cada clase, comienza el proceso de análisis espacial.

En función de considerar la variabilidad espacial dentro de cada clase de uso de cobertura del suelo y uso de la tierra, los valores de stock y productividad no han sido simplemente asignados a la clase correspondiente, sino que los mismos han debido ser ponderados en función de la densidad de la vegetación, que varía aún dentro de una misma clase. Esto se pudo realizar utilizando un producto MODIS, denominado *Vegetation Continuous Field Tree Cover (TC) Percent Map* (Hansen et al., 2003) que refleja el porcentaje de cobertura arbórea para cada pixel. Mediante este proceso, cada valor individual de los pixeles dentro de cada clase, fue ajustado de acuerdo a la capa adicional TC la cual provee características espaciales discretas. El valor de la clase en sí se mantuvo estable, pero cada pixel en su interior reflejó las condiciones de densidad local provenientes de los valores de porcentaje del TC.

Para poder realizar esta tarea fue necesario seguir los siguientes pasos:

- Descargar los datos de "Tree Cover Percent" del sitio Web: [ftp://ftp.glcf.umiacs.umd.edu/modis/VCF/Collection\\_4\\_version\\_3/](ftp://ftp.glcf.umiacs.umd.edu/modis/VCF/Collection_4_version_3/) Escenas MODIS: KJ1920; KJ2122; HG1920; HG2122; FE 1718; FE1920 (ver las escenas en el mapa de la **Figura 11**)
- Verificación de la utilidad del producto MODIS TC, contra imágenes de satélite (Landsat ETM+). Basados en esta revisión se seleccionó la versión TC2000 ya que sus resultados presentan mayor veracidad con lo observado en las imágenes.
- Fusión de todas las escenas y re-muestreo del mosaico resultante a 250 m de resolución por píxel, para obtener el mapa de porcentaje de cobertura arbórea (**tc2k.grd**).
- Cálculo del valor medio del TC para cada clase de uso o cobertura del suelo (ZONALSTATISTICS: zone=Lc\_250\_4; value=tc2k) y definición de un coeficiente para cada clase, que será usado sobre el porcentaje de cobertura arbórea para derivar los valores mínimo, medio y máximo de stock e incremento anual (IMA) para cada celda.

**Figura 11: Mapa del MODIS VCF Tree Cover Percent (Porcentaje de Cobertura Arbórea)**



Ejemplo del cálculo del valor de cada celda: Stock medio para la clase<sub>x</sub> = 100; valor medio de cobertura arbórea para la clase<sub>x</sub> = 70; coeficiente para la clase<sub>x</sub> = 100/70 = 1.428; Porcentaje de cobertura arbórea de la celda<sub>i</sub> para la clase<sub>x</sub> = 50; stock para la celda<sub>i</sub> de la clase<sub>x</sub> = 50\*1.428 = 71.4; Porcentaje de cobertura arbórea para la celda<sub>j</sub> de la clase<sub>x</sub> = 85; stock para la celda<sub>j</sub> de la clase<sub>x</sub> = 85\*1.428 = 121.4.

### Creación del mapa de coeficientes.

Creación de las capas de valores discretos de stock y IMA mínimo, medio y máximo, a partir de multiplicar los mapas de coeficientes con el mapa de porcentaje de cobertura arbórea generado en el paso c. (**tc2k.grd**).

El mapeo de la fracción del IMA potencialmente disponible para usos energéticos fue realizado mediante la aplicación de los factores de reducción relativos a las plantaciones forestales y a los bosques nativos, de la siguiente manera:

Creación del mapa de "factores de plantación" mediante el cálculo, para cada clase de plantación forestal, de la biomasa disponible como la fracción del IMA (disponible/IMA) y la reclasificación del mapa de Usos y Coberturas del Suelo con estos valores. El mapa resultante (**av\_plmai\_pc.grd**) fue a su vez multiplicado por los mapas de IMA (mínimo, medio y máximo) de tal manera se convierten los valores de IMA de plantaciones forestales a datos sobre biomasa disponible (**maikgav1\_med[min;max].grd**).

Creación del mapa de "factores de monte nativo" mediante el cálculo, para cada departamento de la fracción correspondiente a la diferencia entre las extracciones industriales de madera y el potencial IMA sustentable y la reclasificación del mapa de departamentos con estos valores. El mapa resultante fue luego multiplicado por los mapas obtenidos en el paso anterior (**maikgav1\_med[min;max].grd**) para crear el mapa final de IMA disponible (**maikgav\_med[min;max].grd**).

La Figura 12, en la página siguiente, muestra las principales capas intermedias creadas en este proceso.

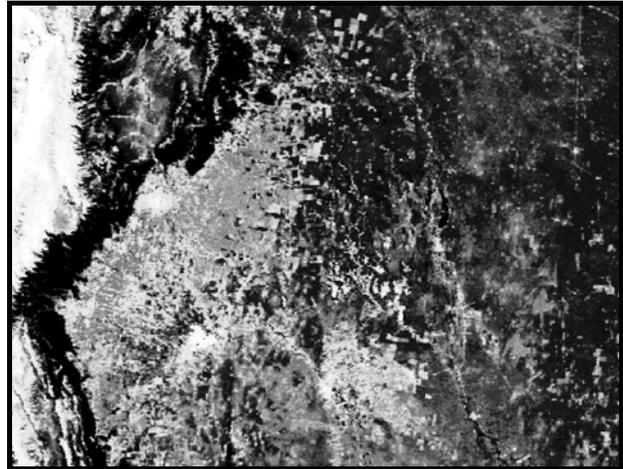
**Figura 12: Ejemplo de los mapas de entrada y los mapas resultantes de existencias e incremento medio anual.**

**a)** Mapa de *Bosque Nativo*, con los estratos *Tierras Forestales* y *Otras Tierras Forestales*; **b)** Mapa de Porcentaje de Cobertura Arbórea basado en *MODIS VCF*; **c)** Mapa de Existencia (media) de biomasa dendroenergética; **d)** Mapa de Incremento (medio) Anual de biomasa dendroenergética

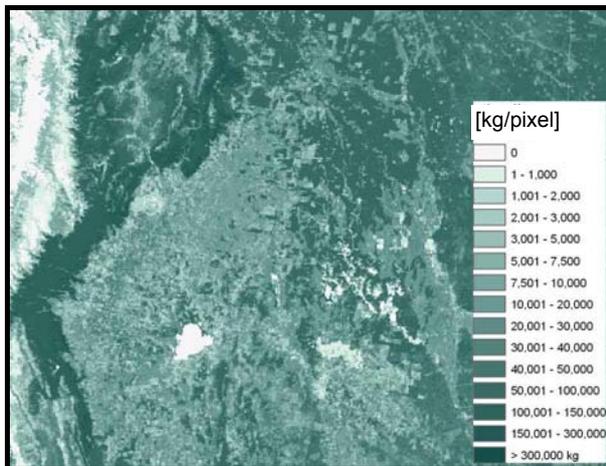
a) Mapa de *Bosque Nativo*



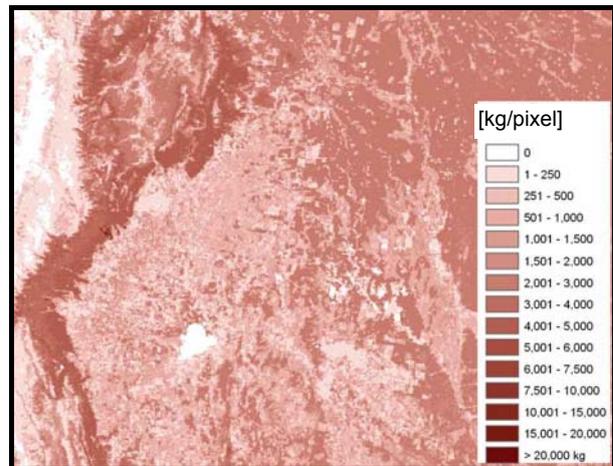
b) Mapa de Porcentaje de Cobertura Arbórea



c) Mapa de Existencia de biomasa [kg/pixel]



d) Mapa de IMA de biomasa [kg/pixel]



En este punto, los recursos disponibles fueron analizados en función de la accesibilidad física y legal, para estimar y mapear los recursos que están potencialmente disponibles y accesibles.