

METODOLOGÍA APLICADA EN EL ANÁLISIS DE RECURSOS DE BIOMASA LEÑOSA Y DE RESIDUOS PARA USO COMBUSTIBLE

Víctor Barrena Arroyo, Jaime Gianella, Henry García, Noelia Flores, Ethel Rubín, Juan Carlos Ocaña, Roxana Guillén

5.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas energéticos basados en la biomasa, se diferencian de otros sistemas energéticos por el recurso primario utilizado (Patiño *et al.*, 2008). En el caso de la biomasa, su gran heterogeneidad en su origen, composición, recolección y tratamiento y en su distribución geográfica, le otorga un carácter complejo en comparación a otros recursos energéticos primarios.

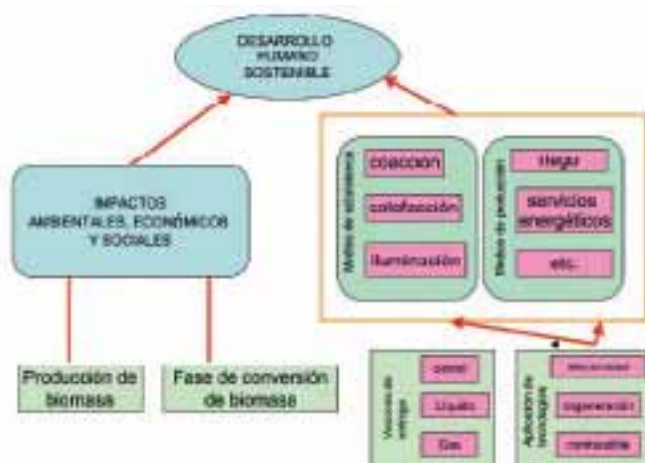
Para el estudio de un sistema complejo como el que se analiza en el presente estudio, el elemento fundamental es la sostenibilidad económica, ambiental y social, por lo que es necesario tener presentes los siguientes conceptos:

- Uso sostenible.
- Sostenibilidad medioambiental.
- Sostenibilidad social.
- Dimensión espacial.
- Dimensión temporal.

En la Figura 5.1 se muestran los vínculos entre la bioenergía y el desarrollo sostenible.

Figura 5.1

Vínculos entre la bioenergía y el desarrollo sostenible (modificado de Masera *et al.*, 2004)



Por esta razón, los estudios bioenergéticos son complejos y específicos para un sitio específico.

La heterogeneidad tanto de la materia prima para el abastecimiento de dendrocombustibles (bosques naturales, matorral, podas de cultivos arbóreos, residuos agrícolas, entre otros) como en los sectores de demanda de biomasa, demuestra la necesidad de encarar un estudio pormenorizado acerca de los patrones de consumo y sus fuentes de abastecimiento. Lamentablemente, en muchas ocasiones las estadísticas relevadas no contemplan todas las fuentes de abastecimiento, ni la totalidad de los distintos consumos de biomasa con fines energéticos.

5.2 HERRAMIENTAS Y METODOLOGIA

El desarrollo tecnológico basado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representa una herramienta de gran ayuda para abordar el contexto geográfico y el amplio rango de los aspectos pertinentes al tema de la producción de energía a partir de biomasa, en especial en lo que concierne a la demanda de energía y al suministro de biomasa. La mayor ventaja de la utilización de los SIG es otorgar un marco geo-referenciado y cuantificado de las diferencias territoriales y de los factores que pueden influir en la oferta de biomasa y en la aparición de problemas sociales y ambientales (Patiño *et al.*, 2008).

La integración de la información en un SIG permite llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis de los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático; de esta manera brinda soluciones a problemas espaciales complejos (Gómez *et al.*, 2006).

El programa utilizado es ARC GIS (ver 9.2), uno de los programas de SIG más populares en la actualidad lo que asegura que sea usada la metodología WISDOM.

La metodología aplicada para el análisis de biomasa a partir de residuos fue el Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles (*Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping - WISDOM*) desarrollada por el Programa de Dendroenergía de la FAO. La metodología WISDOM originalmente estaba enfocada solamente a la evaluación de la biomasa leñosa, aunque recientemente esta visión se ha ampliado para comprender también otros tipos de biomasa no leñosa, tales como la de origen agrícola y agroindustrial. De hecho, la metodología permite la incorporación de otras capas de información geo-referenciada relativas a la oferta y al consumo de otras fuentes de biomasa. En esta aplicación de WISDOM para Perú han sido considerados tanto la biomasa no leñosa de origen agrícola, como los residuos de poda y cosecha y los subproductos de las agroindustrias.

WISDOM consiste en el mapeo de la Oferta y la Demanda de Biomasa con fines energéticos y, a posteriori, el desarrollo de un módulo de integración de ambas. El módulo de integración ofrece como resultado el balance entre la biomasa disponible y accesible y la demanda total de la misma.

La aplicación de la metodología de análisis WISDOM implica cinco pasos principales (FAO, 2003):

1. Definición de la unidad administrativa/espacial mínima de análisis.
2. Desarrollo del módulo de demanda.
3. Desarrollo del módulo de oferta.
4. Desarrollo del módulo de integración.
5. Selección de las áreas prioritarias o puntos fundamentales de biomasa bajo diferentes escenarios.

Además, pueden delimitarse áreas de aprovisionamiento de recursos biomásicos para la explotación del recurso con fines energéticos; para ello se siguen los siguientes pasos:

6. La oferta potencial “comercial” disponible para el mercado⁸.
7. Definición de áreas de oferta sostenible (biocuenca), basadas en la producción potencialmente comercial de biomasa.

En la Figura 5.2 se observa un resumen de los módulos y de las principales capas temáticas de WISDOM Perú.

Es importante aplicar WISDOM en el Perú pues la producción de leña y carbón registrada oficialmente predomina sobre cualquier otro producto maderable como lo muestra el Cuadro 5.1. Leña y carbón representan el 88,02 por ciento, en peso, del total de la producción maderable en el Perú que comprende madera aserrada, triplay, parquet, postes, durmientes y láminas contrachapadas.

Cuadro 5.1

Resumen de producción de productos maderables 2007

Producto	Volumen (m ³)	F conv-kg	TN	%
Laminada y chapas decorativas	3 642,18	700	2 549 526	0,04
Triplay	68 664,4	650	44 631,86	0,74
Parquet	18 624,89	750	13 968,6675	0,23
Postes	1 733,31	725	1 256,64975	0,02
Durmientes	1 278,6	780	997,308	0,02
Madera aserrada	936 666,8	700	655 666,76	10,92
Carbón*	68 907,7	500	34 453,85	0,57
Leña**	7 243 180	725	5 251 305,5	87,45
Total	8 342 697,88		6 004 830,12	100,00
Un m ³ de Carbón = 500 kg				

(**) Producción estimada en base a la población rural del país
Fuente: INRENA (2008)

⁸ Para definir la productividad comercial se utilizó un umbral que garantice como mínimo una producción de 12Tm/ha con una rotación de 25 años. A partir de esto, solo las áreas que presentan una productividad anual sustentable (disponible y accesible) superior a 0,48 Tm/ha (3 Tm/pixel) son consideradas como potencialmente comerciales.

5.3 MATERIALES

Este tipo de análisis tiene un carácter intrínsecamente geográfico y se adapta a las características específicas del territorio. Una de las limitantes más importantes en este tipo de análisis es la calidad de la información. Existe una estrecha relación entre los datos relevados, la confiabilidad de las fuentes de información utilizadas y el resultado de este primer balance. A continuación se realiza una descripción de las fuentes utilizadas y las limitaciones de las mismas.

5.3.1 BASE CARTOGRÁFICA ADMINISTRATIVA DE ANÁLISIS

La base cartográfica político-administrativa seleccionada para el análisis es la división provincial, ya que por el momento no es posible obtener todos los datos que incorporen un análisis de forma homogénea a nivel distrital.

A nivel de provincia es posible obtener distintas variables socioeconómicas y productivas relacionadas con la oferta y el consumo de biomasa.

El mapa administrativo del Perú utilizado fue elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) en 2005. El Perú está dividido administrativamente en 25 regiones administrativas (antes departamentos), 194 provincias y 1 828 distritos.

5.3.2 INFORMACIÓN UTILIZADA

1. Los datos obtenidos para el módulo de oferta, fueron:

- La información sobre bosques naturales a nivel nacional fue obtenida del Mapa Forestal del INRENA para el año 2000.
- La superficie de plantaciones forestales a nivel departamental fue obtenida de las estadísticas forestales para el año 2007 producidas por INRENA (2008); no existe un mapa de plantaciones forestales en el Perú.
- La información de base sobre las existencias volumétricas fue obtenida de los Mapas Forestales del Perú de 1975 y de 1995.
- El incremento medio anual (IMA), tanto de bosques naturales como de plantaciones forestales, fueron obtenidos de diversas fuentes bibliográficas.
- Superficie agrícola implantada con los diferentes cultivos, superficie cosechada, rendimientos, producción y residuos agroindustriales. Los datos fueron facilitados por el MINAG. Las características de los mismos y la metodología de análisis se detallan en los Apéndices 5E al 5H.
- La extracción de madera para usos industriales (productos maderables) de base de datos del ex INRENA.
- La oferta de residuos provenientes de la industria del aserrado de madera, se obtuvo a nivel distrital y fue proporcionado por el MINAG. Dado que los datos se encuentran a un nivel más detallado, permitió una localización más concreta de la oferta de este tipo de residuos y delinear los flujos de traslado de los productos madereros.

- Mapa de Uso del Suelo para Sudamérica del Proyecto Global *Land Cover Map* del año 2000 (GLC2000), de píxeles de 1 km de lado, elaborado por el *Joint Research Center of the European Commission* (Eva *et al.*, 2003).
- El producto global MODIS: *Vegetation Continuous Field Tree Cover Percent Map* obtenido del sitio web: tp://ftp.glcf.umiacs.umd.edu/modis/VCF/Collection_4 (versión 2005), escenas: KJ 1718, KJ 1920, ML 1718, ML 1920.
- El modelo digital de terreno global de 90 m de tamaño de píxel (STRM) <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
- El Mapa de Carreteras elaborado en el 2009 por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- El Mapa de Ferrocarriles elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- El Mapa de Ríos principales y secundarios.
- El Mapa de las Áreas naturales protegidas del Perú elaborado por INRENA en 2009.

2. Los datos obtenidos para el módulo de demanda fueron:

- Estructura del consumo energético en los hogares como combustible más utilizado para la cocción de alimentos, calentamiento de agua y calefacción, entre los cuales se encuentra relevado el consumo de leña y carbón vegetal. Estos datos se encuentran a disposición en el censo poblacional del 2007.
- Balance de Energía Útil en el sector residencial, obtenidos por el Ministerio de Energía y Minas para el año 2000

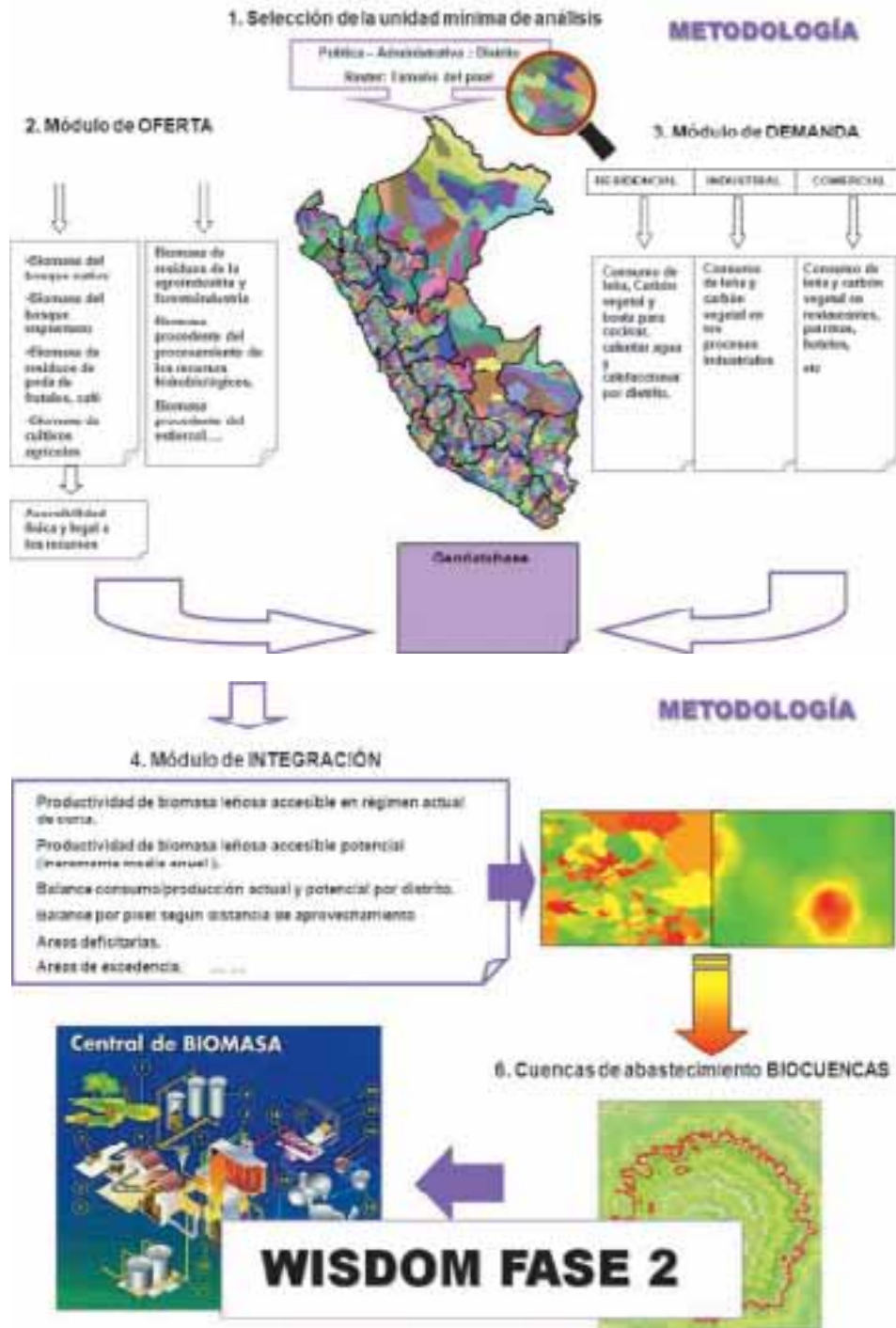
En el Apéndice 5A se presenta, de manera resumida, información sobre las capas principales, variables y fuentes de datos utilizadas en los módulos de WISDOM Perú.

5.4 MÉTODOS

5.4.1 DEFINICIÓN DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA/ESPACIAL MÍNIMA DE ANÁLISIS.

Una vez revisada la información con el grupo de trabajo de WISDOM Perú y sumado a la disponibilidad de los tiempos establecidos para el relevamiento de la información faltante; se acordó trabajar a nivel de Provincia y con un tamaño de píxel de 250 m x 250 m, con una superficie de 6,25 ha.

Figura 5.2
WISDOM Perú. Pasos del análisis y capas temáticas



5.4.2 DESARROLLO DEL MÓDULO DE OFERTA

5.4.2.1 OFERTA DIRECTA

El análisis y la representación espacial de las fuentes de oferta directa de biomasa disponibles para energía, consta de tres fases:

1. Estimación y distribución geográfica de las existencias de biomasa leñosa de los bosques naturales y de las plantaciones forestales.
2. Estimación y distribución geográfica de la productividad sustentable y cálculo de la cantidad anual disponible para usos energéticos.
3. Estimación de la biomasa accesible, física y legalmente, sobre la productividad sustentable y disponible de los bosques naturales y de las plantaciones forestales.

Estas fases se representan en la Figura 5.3

a) **Primera Fase: estimación y distribución geográfica de las reservas de biomasa leñosa derivada de bosques naturales y plantaciones forestales.**

La primera fase representa un requisito previo importante, ya que los valores de la biomasa disponible y accesible para fines energéticos son calculados a partir de los valores de las existencias (stock) y productividad de biomasa de las clases del Mapa de Cobertura del Suelo y Uso de la Tierra.

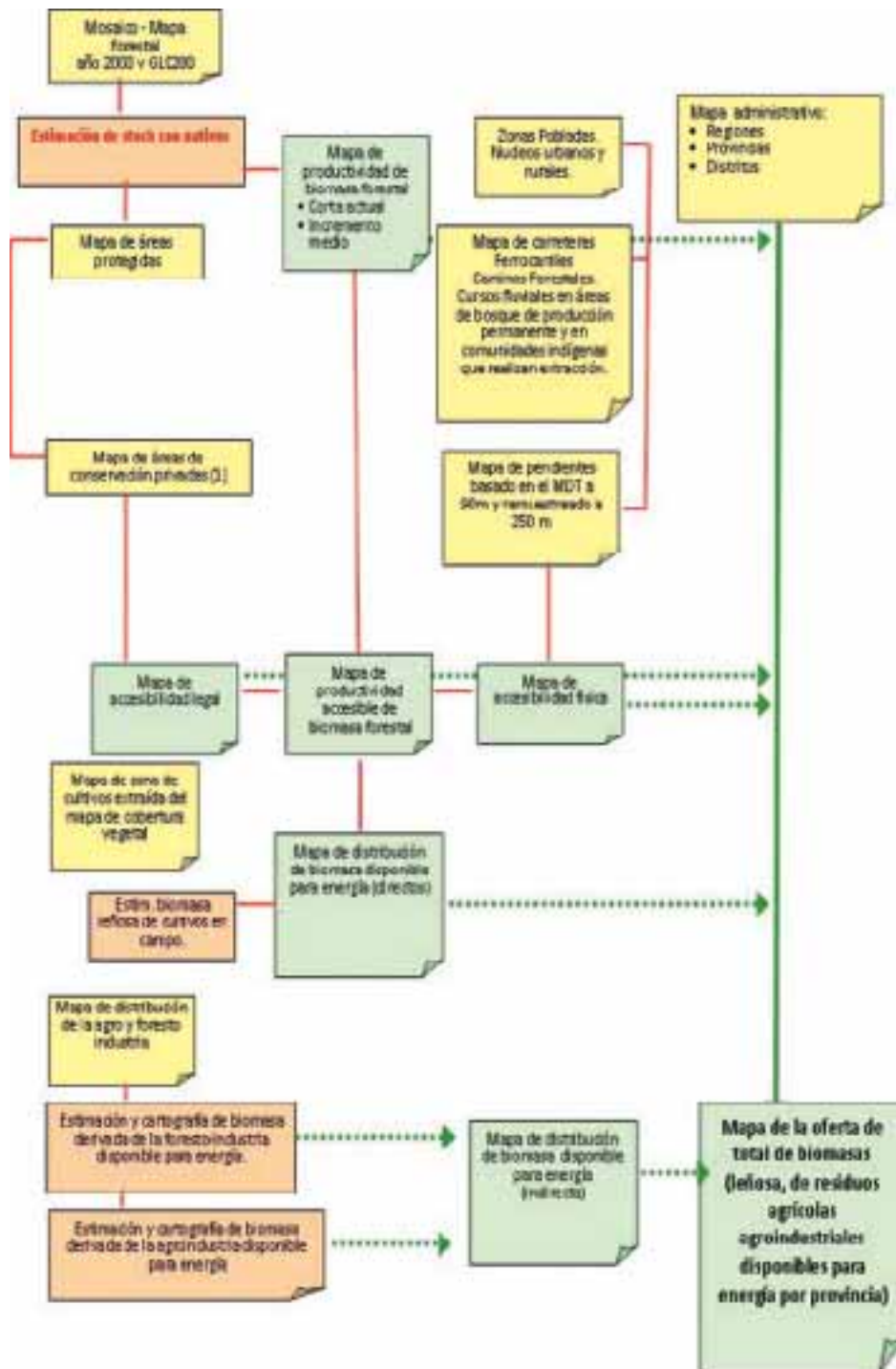
Mapa de Cobertura del Suelo y Uso de la Tierra

La cobertura del suelo y uso de la tierra representa una capa cartográfica esencial para el análisis WISDOM, ya que es a partir de las distintas clases que conforman este mapa que se desarrolla el Módulo de Oferta.

Para la construcción de esta capa fundamental se utilizó el Mapa Forestal del año 2000 elaborado por INRENA (2005). Sobre este mapa se asignan los valores de las existencias y productividad (IMA) mínima, media y máxima a cada clase. Las existencias volumétricas fueron obtenidas e inferidas de los mapas forestales de los años 1975 y 1995.

Figura 5.3

Diagrama de flujos de las principales capas de información y fases analíticas del módulo de oferta



Estos datos asignados expresan el contenido volumétrico (m^3/ha) de estas clases. Para expresarlos en valores de biomasa, en t/ha , los valores expresados en m^3 fueron multiplicados por el Factor de Expansión de la Biomasa (FEB) según WISDOM Argentina (FAO, 2009) y por la densidad básica promedio encontrada en la literatura. En el Cuadro 5.2 se muestran la función y los valores tomados para obtener el FEB.

Cuadro 5.2

Factor de Expansión de Volumen

Factor de expansión de la Biomasa (FEB)	Bosques densos de frondosas (VFSC10 >60)	EXP(3,213-0,506*LN(BV))	Para BV<190 (BV = VFSC 10*DBL sh)	Brown S., 1997 Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer Forestry Paper 134. Ecuación 3.1.4, Pág. 8
	Formaciones abiertas (VSFC 10<60)	3,0	Para BV>190	Brown, comunicación personal con R. Drigo; Brown, S. and A. E. Lugo. 1984 Biomass tropical forest: a new estimate based on volumens. Science 223:1290-1293

Fuente: FAO (2009)

El Mapa Forestal fue revisado con ayuda de imágenes LANDSAT ETM+ y con el producto MODIS, el *Vegetation Continuous Field Tree Cover Percent Map (Tree Cover)* con el objetivo de verificar si las formaciones vegetales, principalmente de la Costa y de la Sierra, eran uniformes en cada clase del mapa y que correspondiesen con las existencias.

Algunas de las clases del Mapa Forestal de la Costa y de la Sierra no presentaban correspondencia y por eso fueron sustituidas por las clases del Mapa de Uso del Suelo para Sudamérica del Proyecto *Global Land Cover Map* del año 2000 (GLC2000); correspondían a estas áreas geográficas para lo cual se superpusieron ambos mapas.

El GLC2000 fue remuestreado a píxeles de 250 m para que su resolución sea la misma de todos los mapas a utilizar.

En el Apéndice 5B se muestra un ejemplo de la falta de concordancia mencionada y de las clases que fueron sustituidas.

Los valores de existencias e IMA de las clases nuevas provenientes del GLC2000 fueron los valores utilizados en WISDOM Argentina (FAO, 2009) en estas clases y así evitar mayores errores.

De esta manera se obtienen los valores de las existencias y productividad en biomasa. El mapa resultante fue considerado como el Mapa de Cobertura del Suelo y Uso de la Tierra.

En el Apéndice 5C se muestra este Mapa y las clases que lo componen.

En la Figura 5.4 se observa un detalle del Mapa de Cobertura del Suelo y Uso de la Tierra

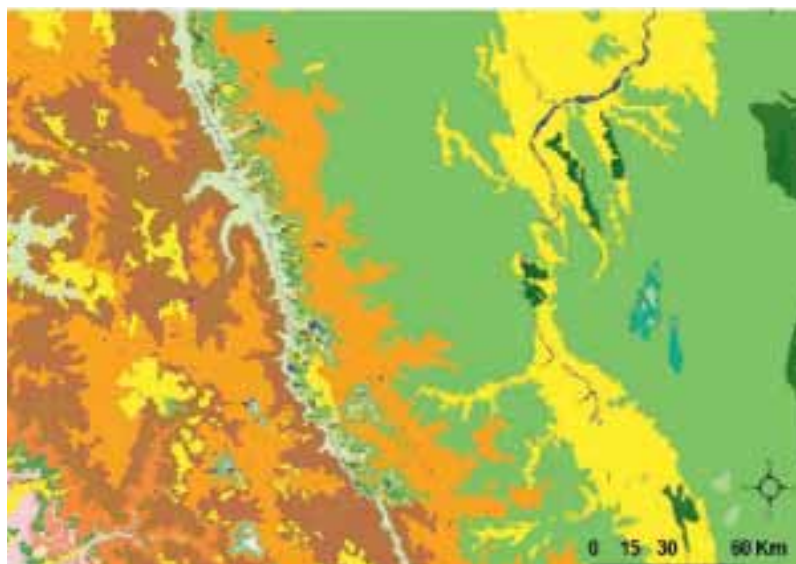
que corresponde a un área entre las regiones de Cajamarca, La Libertad y San Martín. La leyenda se muestra en el Apéndice 5C.

En el Apéndice 5D se presentan los valores de la existencias de cada una de las clases. Todos los cálculos se realizaron en toneladas base seca.

En lo que se refiere a las plantaciones forestales, no existen los mapas pertinentes en el Perú; solo existe la superficie plantada por Región. El total acumulado para el país en 2007 fue de 824 310 ha (INRENA, 2008). Tampoco hay información sobre las existencias volumétricas de estas plantaciones.

Figura 5.4

Detalle del Mapa Cobertura del Suelo y Uso de la Tierra



b) Segunda Fase: estimación y distribución geográfica de la productividad sustentable y cálculo de la cantidad anual disponible para usos energéticos.

Para esta segunda fase se requiere contar con los Incrementos Medio Anuales (IMA) tanto de los bosques naturales como de las plantaciones forestales. En el caso de los bosques naturales estos valores de productividad fueron obtenidos de la bibliografía disponible. Estos valores se encuentran en el Apéndice 5D.

El IMA de las plantaciones también se obtuvo de las referencias bibliográficas teniendo en cuenta que la FAO indica que en el Perú el 75 por ciento de las especies plantadas corresponde a eucaliptos, el 6 por ciento a pinos y el 19 por ciento restante corresponde a otras especies.

En esta fase empieza el análisis espacial haciendo uso de las facilidades que brindan los SIG.

- Las existencias y la productividad de cada clase de cobertura del suelo y uso de la tierra tienen que tener en cuenta la variabilidad de la densidad de la vegetación, que como se ha visto, varía dentro de una misma clase.

Para realizar esta ponderación o ajuste se recurrió al *Vegetation Continuous Field Tree Cover Percent Map (Tree Cover)*, de tal manera que cada pixel refleje las variaciones de densidad o cobertura existente en cada clase.

El producto *Tree Cover Percent* fué elaborado para los años 2000 al 2005. Revisados todos los productos se decidió utilizar el año 2005, debido a que los años anteriores no reflejan la deforestación, aunque el producto elaborado para el año 2000, es el que mejor refleja la variabilidad porcentual de la cobertura arbórea.

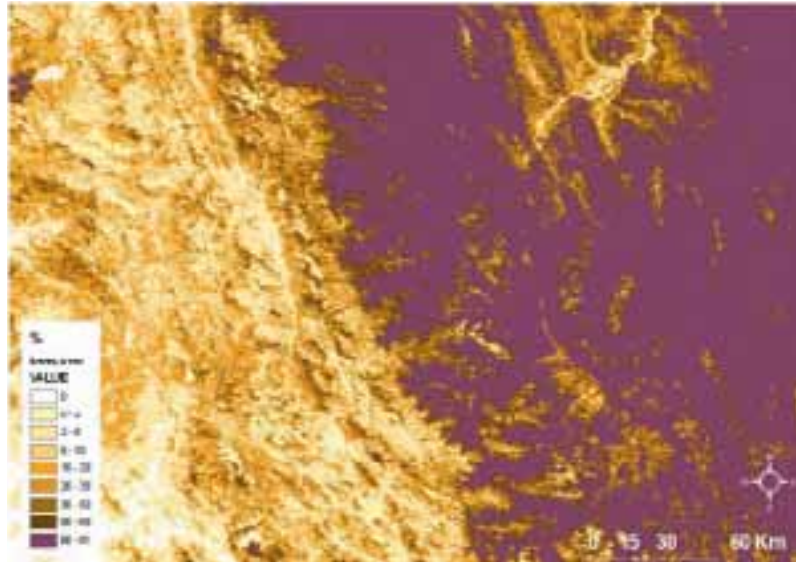
Luego se hizo un mosaico de todas las escenas e inmediatamente después, se recortó este mosaico para circunscribirlo al territorio peruano para lo cual se le aplicó una “máscara” con los límites del Perú. Posteriormente, como todos los mapas, se remuestreó a 250 metros de resolución por píxel, para obtener el mapa de porcentaje de cobertura arbórea. En la Figura 5.5 se muestra un detalle del *Tree Cover* para una zona entre las regiones de Cajamarca, La Libertad y San Martín

Con esta cobertura se calculó el valor promedio del *Tree Cover (TCm)* para cada una de las clases del Mapa de Cobertura del Suelo y del Uso de la Tierra; esta operación se realizó usando la función *zonalstatistics* del módulo *Spatial Analyst* de ArcGis.

Los valores promedio de cobertura (por ciento) para cada clase del Mapa de cobertura del suelo y uso de la tierra se presentan en el Apéndice 5D.

- Luego de determinar los valores promedio de cobertura, se procedió a calcular los valores de coeficientes de reducción que permitirán determinar tanto la biomasa disponible como la productividad disponible para usos energéticos. Este cálculo se realizó en una hoja de cálculo Excel.

Figura 5.5

Detalle del mapa de Porcentaje de Cobertura Arbórea

Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

$$CS_x = \frac{S_x}{TCM_x}$$

Donde

CS_x = Coeficiente de las existencias (stock) para la clase x

S_x = Existencias promedio (stock promedio) de la clase x

TCM_x = Valor promedio de la cobertura arbórea de la clase x

$$CI_x = \frac{I_x}{TCM_x}$$

Donde

CI_x = Coeficiente de productividad (IMA) para la clase x.

I_x = IMA (min, med, max) para la clase x..

TCM_x = Valor promedio de la cobertura arbórea de la clase x.

- Luego se procedió a calcular los multiplicadores de la cobertura arbórea tanto para las existencias de biomasa así como para la productividad de cada clase del Mapa de Cobertura del Suelo y Uso de la Tierra. Para ello, se dividió el valor de existencias y de IMA de cada clase entre el valor de cobertura promedio (TCm) de cada clase. Estos cálculos fueron hechos en una hoja de cálculo Excel. Los multiplicadores calculados fueron luego llevados a kilogramos. Estos valores fueron asignados a cada clase y expresados en mapas.

- Estas capas de multiplicadores fueron multiplicadas por el mapa del *Tree Cover* y por 6,25 ha que es la superficie de cada pixel. De esta manera se obtienen mapas conformados por valores discretos en los que queda reflejada la distribución de las existencias y de la productividad mínima, media y máxima de biomasa leñosa dentro de cada una de las clases de bosque natural.

Un ejemplo del mapa de existencias promedio (stock medio) se presenta en la Figura 5.6.

En la Figura 5.7 se muestra un ejemplo de la productividad promedio del bosque natural.

- Para calcular la productividad de las plantaciones forestales se toman en cuenta las proporciones de plantaciones por especie y se utilizaron los siguientes IMA: eucaliptos 23 m³/ha/año, pinos 16 m³/ha/año y otras especies 10 m³/ha/año, de acuerdo a Berni (2009). Estos cálculos se realizan en una hoja de cálculo de Excel tomando en cuenta la superficie de las plantaciones forestales por departamento. Llevando esta información al SIG se obtuvieron los mapas de existencias y productividad de la biomasa de plantaciones forestales por Región.

Figura 5.6

Detalle del mapa de Stock (medio) de la biomasa del bosque natural

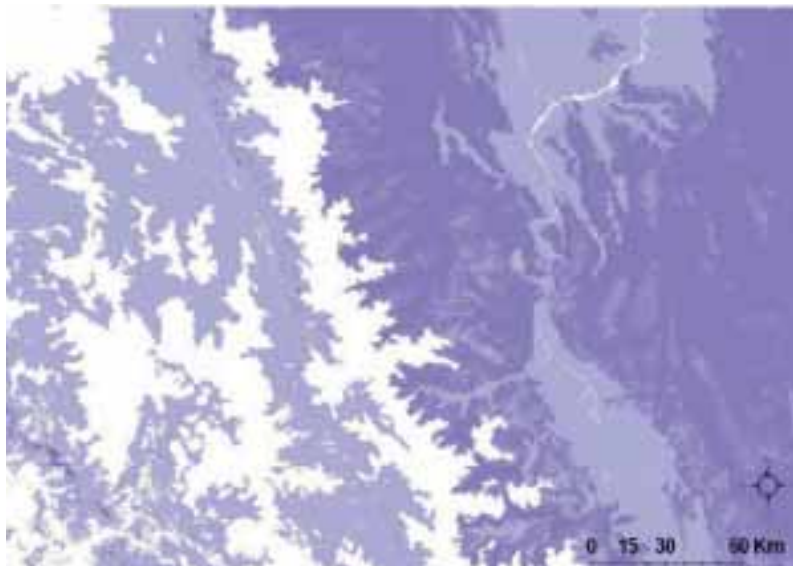
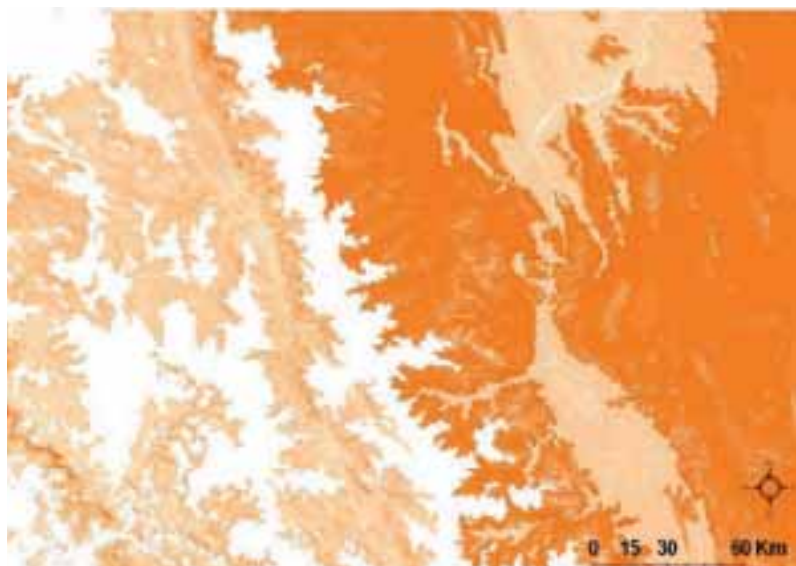


Figura 5.7

Detalle del mapa de Incremento Medio Anual de la biomasa del bosque natural

- A partir de la productividad (IMA) de los bosques naturales que se obtiene por clase de cobertura de suelo y uso de la tierra se calcula por medio de función *zonalstatistics* del módulo *Spatial Analyst* de ArcGis los valores de IMA de bosques naturales por Región. Luego se suman las capas de los IMA de bosques naturales y de plantaciones forestales, el resultado es la capa de productividad de biomasa total por región.
- Para determinar el incremento de biomasa “disponible” para dendroenergía, se dedujo del IMA la fracción correspondiente a la extracción de madera estimada a partir de la producción de madera para usos industriales. Para ello primero se calculó, en una hoja Excel, la fracción de extracción por Región a partir de la información por departamento de la producción de productos maderables (INRENA, 2008) expresada en kilogramos. El total de país para 2007 se muestra en el Cuadro 5.1.

El factor de extracción es la fracción correspondiente a la diferencia entre las extracciones industriales de madera y el potencial IMA sustentable, para cada región.

El mapa resultante fue multiplicado por los mapas de IMA para crear el mapa de productividad total por región. Un detalle de este mapa se presenta en la Figura 5.8

- Finalmente, se calculó la cantidad de biomasa disponible para usos energéticos. Para ello, los mapas de la productividad total por departamento fueron multiplicados por el Factor de Fracción Dendroenergética (FFD) que representa la biomasa existente

sobre el suelo correspondiente al fuste, corteza y ramas, pero no toma en cuenta ni las ramitas ni las hojas; se consideró un FFD de 0,88 de acuerdo a FAO (2009). La Figura 5.9 muestra un detalle de este Mapa.

Figura 5.8

Detalle del mapa de la Productividad (Incremento Medio Anual) de la biomasa disponible del bosque natural y de las plantaciones forestales

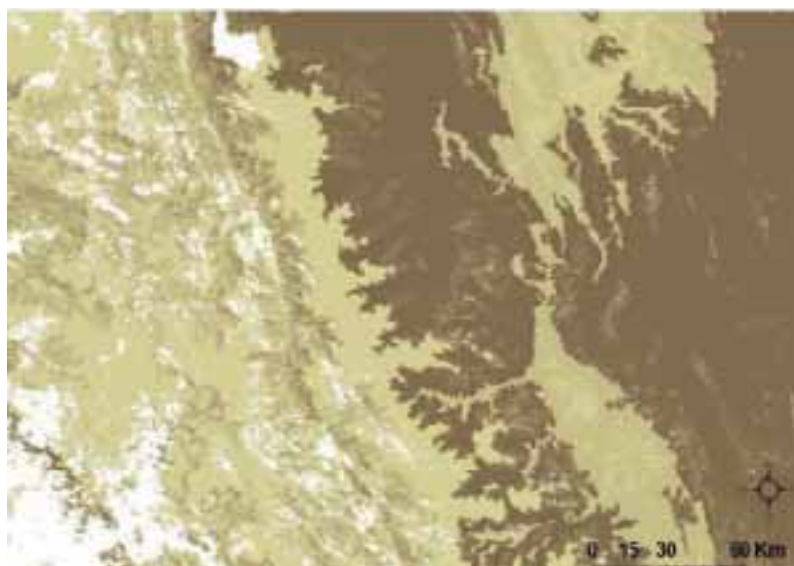
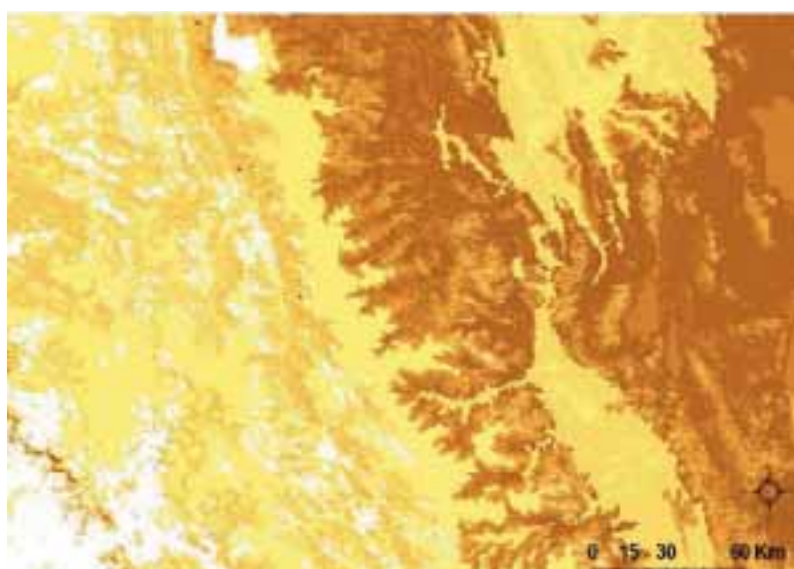


Figura 5.9

Detalle del mapa de la Productividad (Incremento Medio Anual) de la biomasa dendroenergética.



c) Tercera fase: estimación de la biomasa accesible, física y legalmente, sobre la productividad sostenible y disponible de los bosques naturales y de las plantaciones forestales

En la tercera fase, se define que parte de la biomasa disponible para fines energéticos calculada en la fase anterior, es accesible.

Accesibilidad Física

Es un parámetro espacial que define la accesibilidad de un determinado recurso biomásico en relación a la distancia del lugar más cercano y de fácil acceso y a un factor de costo basado en características del terreno. Para determinar la biomasa disponible que es físicamente accesible, se siguieron los siguientes pasos:

- Remuestrear el Modelo Digital de Terreno (DTM) del tamaño original del pixel (90 m por 90 m) a un pixel de 250 m, acorde con la resolución del trabajo.
- A partir del DTM remuestreado, se generó un mapa de pendientes.
- Para analizar la accesibilidad física es necesario contar con las redes de caminos, cursos fluviales utilizables para el transporte de madera, ferrocarriles, entre otros. Estas capas fueron fusionadas conjuntamente con el mapa de lugares poblados (ciudades, pueblos y parajes) en una capa en formato *raster*.
- Determinación del costo acumulativo más bajo para cada celda mediante la función *Cost Distance* del módulo *Spatial Analyst* de ArcGis; para ello se utilizó como base los mapas generados en los dos pasos previos.
- Conversión de los valores continuos de accesibilidad a un adecuado número de clases que representen el rango de accesibilidad (como porcentaje del recurso relativo). Se generó un mapa de 20 clases con intervalos de cinco por ciento de accesibilidad
- El mapa de clases de accesibilidad fue utilizado como coeficiente de los mapas de IMA disponible para fines energéticos para obtener el mapa de IMA disponible y físicamente accesible para fines energéticos.

Accesibilidad Legal

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.

De manera particular, estas restricciones están impuestas sobre las áreas naturales protegidas para la conservación de la naturaleza. El mapa de accesibilidad legal se genera sobre la base de información disponible acerca de las áreas protegidas, de la siguiente manera:

- Se compiló la información cartográfica de áreas protegidas y se generó una sola capa vectorial que luego fue convertida en *raster* a 250 m de tamaño de pixel
- Se categorizó a las áreas protegidas de acuerdo a la posibilidad de extracción de recursos. En los Parques Nacionales, los Santuarios Nacionales y los Santuarios Históricos, por definición, no debe realizarse ninguna extracción, mientras que en las otras categorías podría haber eventualmente algún tipo de actividad humana. Sobre el mapa de áreas protegidas se genera el mapa de accesibilidad legal, que refleja el grado de accesibilidad legal, en porcentaje, cero por ciento para los Parques Nacionales, los Santuarios Nacionales y los Santuarios Históricos y 20 por ciento para las otras categorías.

En la Figura 5.10 se muestra un detalle del mapa de accesibilidad física y legal. Se observa en la parte central el parque nacional del Río Abiseo y hacia la derecha el parque nacional Cordillera Azul.

Cálculo de los recursos dendroenergéticos disponibles y accesibles

Finalmente, para obtener los mapas de la biomasa (incrementos medios anuales) disponible y accesible (mínimo, medio y máximo), se multiplicaron los mapas obtenidos en la segunda fase, es decir, en primer lugar, los mapas de biomasa disponible para fines energéticos por el mapa de accesibilidad. El mapa resultante fue multiplicado posteriormente por el de accesibilidad legal.

Un detalle del mapa de biomasa dendroenergética disponible y accesible se muestra en la Figura 5.11.

Figura 5.10

Detalle del mapa de accesibilidad física y legal.

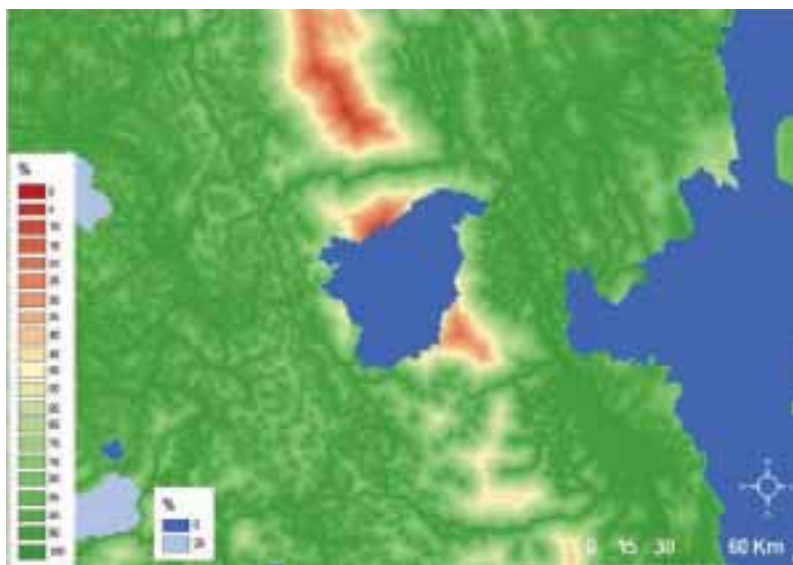
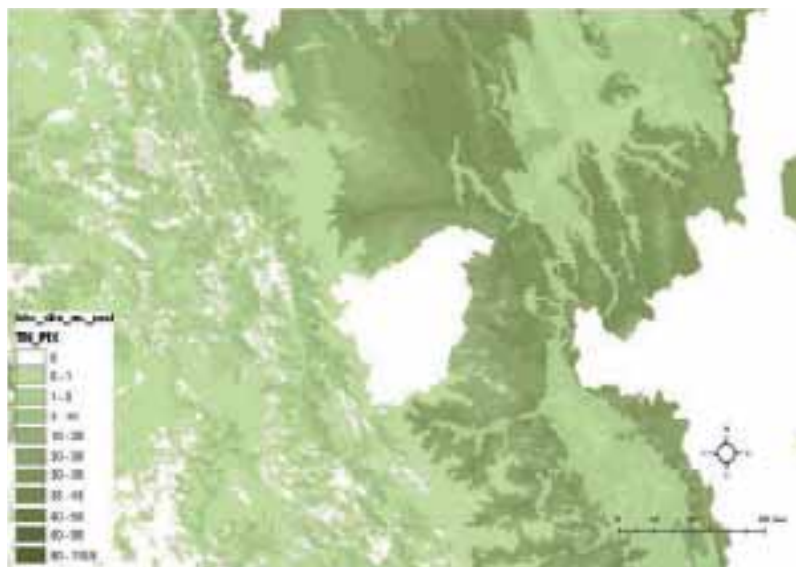


Figura 5.11

Detalle del mapa de la biomasa dendroenergética disponible y accesible

Cabe resaltar que el área representada en la Figura 5.11, es la misma de las Figuras 5.4 a 5.10.

d) Otras fuentes directas de biomasa

Se consideran fuentes directas de biomasa las derivadas de los cultivos agrícolas y los residuos en el campo que no están siendo utilizados con otros fines.

Se define como residuo agrícola a los componentes de la biomasa aérea de los cultivos seleccionados, que quedan en el campo luego de la cosecha o son producto de podas, los cuales no se utilizan para complementar la oferta del producto cosechado. Se les reconoce como subproducto sin mayor valor comercial y en su mayoría se eliminan en el campo mediante incineración al aire libre.

El cálculo del volumen de residuos agrícolas se efectuó en base al valor anual promedio de la producción/cosecha que registraron los cultivos seleccionados para el período 2005 – 2008. Se considera que parte de estos residuos se deja en el campo por razones de conservación de suelos.

Los residuos de los cultivos considerados como oferta de biomasa directa en esta primera aplicación de WISDOM en el Perú, son: maíz amarillo duro, arroz, caña de azúcar, algodón, espárrago, olivo; en el caso del olivo se considera las podas.

Los residuos agrícolas de estos cultivos han sido seleccionados en base a la importancia de la

superficie dedicada a los cultivos que los generan y a la importancia de los mismos en términos de valor económico de su producción y de cadena productiva.

También fueron considerados para analizar su incorporación en esta aplicación de WISDOM, los residuos pecuarios que comprenden las excretas y su transformación en estiércol (por fermentación natural), que genera el universo de especies de aves y ganado criados en el territorio nacional con fines comerciales.

La información sobre tamaño de la población pecuaria, constituye la base para estimar el volumen de residuos “estiércol” que nominalmente se dispondría para fines de energía (biogas proceso anaeróbico). Las especies consideradas para tal cálculo fueron: aves (pollo de carne, ponedoras, reproductoras, reproductores), alpaca, llama, caprino, ovino, porcino y vacuno. Dicha información corresponde a estadísticas sistematizadas por MINAG para un determinado año; se consideró el 2005 para el caso de aves y el 2006 para el resto de las especies.

Dado que el manejo de las especies pecuarias seleccionadas implica la posibilidad de que en un plazo relativamente corto (menos de 12 meses) se registren significativos cambios de localización y tamaño de las mismas (traslados, beneficio/saca), las cifras e inferencias de análisis deben tomarse como indicadores de carácter agregado o promedio, que reflejan valores que se ubican en escalas o rangos de ocurrencia razonablemente factible que corresponden a cifras exactas sobre el tamaño de la población pecuaria en un determinado año y lugar del territorio nacional.

La información estadística analizada corresponde a fuentes secundarias. Esta se tomó de documentos de carácter oficial y de fuentes académicas e informes técnicos de entidades privadas; lo cual se complementó con información de entrevistas a funcionarios, empresarios y profesionales vinculados a la actividad agrícola y pecuaria del país.

Debido a que el contenido energético del estiércol de las especies consideradas es reducido para un uso de producción comercial de energía y por la dispersión de los núcleos de crianza, los residuos pecuarios no fueron incluidos en el análisis. Las posibilidades de uso del estiércol con fines de energía, se limita a opciones para autoconsumo doméstico y en contados casos consumo para procesos de producción en pequeña escala.

En el Apéndice 5E se muestran las definiciones de cada residuo agrícola y pecuario utilizado en el presente estudio.

También se consideró comprender en WISDOM Perú a los residuos de las industrias pesqueras. De acuerdo a Dextre (com. pers.) y a Vargas (com. pers.), en los últimos años las industrias pesqueras tienden a reutilizar todos los residuos sólidos, en una primera etapa para recuperar insumos para su misma producción y, en una segunda etapa, para producir insumos para alimentos balanceados. Esto fue confirmado por Gianella (com. pers.) que

indicó que la biomasa seca existente en los residuos de las plantas pesqueras (estos residuos son líquidos), es insignificante como para pensar en generar energía. Por ello no se tomaron en cuenta los residuos de esta industria en el presente estudio.

En el Apéndice 5F y 5G se presentan los valores de biomasa por provincia de los residuos de los cultivos considerados en el presente estudio.

Distribución espacial de los residuos directos

Como no existen mapas de cultivos en el país, se utilizó información estadística a nivel provincial. Por otro lado, se consideró utilizar el mapa de cobertura del suelo y uso de la tierra para distribución espacial de los residuos agrícolas dejados en el campo. De este mapa se extrajeron las siguientes clases:

- Actividad agropecuaria
- Actividad agropecuaria / bosque secundario
- Agricultura – intensiva
- Mosaico agricultura / vegetación degradada
- Mosaico agricultura / bosques degradados

Se sobrepusieron a este nuevo mapa, los mapas de residuos de cada cultivo a nivel provincial. Los mapas de residuos fueron generados reclasificando el mapa de provincias de acuerdo a los valores presentados en el Apéndice 5G para cada cultivo.

De esta manera se localizaron geográficamente los residuos de cada uno de los cultivos considerados. Luego, se sumaron todas estas capas para producir el Mapa de la Oferta de otras fuentes directas de biomasa.

En el Apéndice 5F se presenta un mapa con la distribución geográfica de los residuos agrícolas en campo y los residuos de los aserraderos.

5.4.2.2 OFERTA INDIRECTA

Las fuentes de oferta indirecta se refieren a la biomasa obtenida de los subproductos de las actividades industriales relacionadas con actividades agroindustriales y forestales. Normalmente los residuos, están localizados en plantas donde tienen lugar los procesos de transformación. Para este estudio se han considerado los residuos provenientes de aserraderos, de las piladoras de arroz, el bagazo producido en los trapiches de caña de azúcar y el orujo producido en el procesamiento de las aceitunas. No se han considerado los residuos de otros procesos agroindustriales porque generan volúmenes poco significativos de residuos, de manera estacional y con bajo contenido energético en razón del alto contenido de humedad.

En el Apéndice 5G se presentan los valores de biomasa por provincia de cada residuo de los procesos agroindustriales considerados.

Para el cálculo de los residuos de aserraderos, se ha utilizado la información de la totalidad de aserraderos inscritos en la Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre (DGFF) a nivel de las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre (ATFFS), información que se ha llevado a nivel provincial.

Se cuenta con información procesada de volúmenes de producción de 26 provincias madereras. Esta información fue tomada del censo de aserraderos proporcionada por la DGFF (ex INRENA) del MINAG. Las unidades de producción han sido llevadas a m³ por año. Detalle de esta información se muestra en la Figura 5.12.

Figura 5.12

Detalle de la base de datos de la producción en de aserraderos

ID	Provincia	NOME_PROV	NOME_DEP	RES_ARG
1	Poligon	BHLLA	AREZOBUS	4034
2	Poligon	CONDORCAYHU	AREZOBUS	103
3	Poligon	RODRIGUEZ DE BENCOZA	AREZOBUS	1333
37	Poligon	HUANICO	HUANICO	1036
38	Poligon	INHO	HUANICO	1714
39	Poligon	DOS DE MAYO	HUANICO	5428
176	Poligon	CHANTALUQUE	UNO	5070
108	Poligon	SATRO	JUNIN	16968
109	Poligon	TASMA	JUNIN	3423
107	Poligon	NAHAC	LERETE	1254040
138	Poligon	ALTO ABASZANS	LERETO	5848
139	Poligon	LERETO	LERETO	4928
140	Poligon	BARCELON RAMON CASTELA	LERETO	10278
181	Poligon	PECLENI	LERETO	2907
142	Poligon	ICAPALI	LERETO	82808
143	Poligon	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS	867
144	Poligon	MATI	MADRE DE DIOS	832
145	Poligon	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS	5748
146	Poligon	BARCELON UETE	MIGUELOSA	1927
188	Poligon	LO	MIGUELOSA	1071
148	Poligon	MURTA	MURTA	3984

Distribución espacial de oferta indirecta de biomasa

Como no se cuenta con mapas que muestren donde se producen estos residuos, se decidió distribuirlos espacialmente en los núcleos urbanos de las provincias que declaran estas actividades agroindustriales y forestales. Se elaboró un mapa por cada tipo de residuo.

Luego estas capas fueron sumadas y se obtuvo el mapa de la oferta de fuentes indirectas de biomasa.

5.4.2.3 MAPAS FINALES DE OFERTA

Con el fin de ofrecer en el balance final varios resultados, fueron considerados tres tipos de oferta de biomasa que se muestran a continuación.

- La Oferta total de biomasa dendroenergética disponible y accesible, ya determinada anteriormente.

- La Oferta total de residuos, para lo cual se sumaron todas las capas de residuos agrícolas y agroforestal industriales directos e indirectos.
- La Oferta total, resultado de la suma de la biomasa dendroenergética disponible y accesible con la capa de la oferta total de residuos.

En el Volumen I Cuadro 5.2 se muestran los datos de oferta de biomasa en las distintas provincias. En la Figura 5.4 del mismo volumen se muestra el mapa de la oferta de biomasa total, accesible y potencialmente disponible para usos energéticos

5.5 DESARROLLO DEL MÓDULO DE DEMANDA

El diagrama que se presenta en la Figura 5.13 muestra la descripción de las principales capas temáticas y las etapas de procesamiento del Módulo de Demanda que se ha desarrollado dentro de WISDOM Perú.

5.5.1 ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE BIOMASA PARA ENERGÍA

La estimación de la demanda de energía a partir de biomasa ha sido dividida en dos etapas; cada una de ellas presenta información de base diferente. Las dos etapas son:

1. Estimación de la demanda residencial
2. Estimación de la demanda comercial e industrial

a) Estimación de la demanda residencial

Para estimar la demanda residencial de energía, se ha utilizado la información a nivel provincial y regional del Censo Poblacional del Perú del año 2007, llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (<http://censos.inei.gob.pe/censos2007/>).

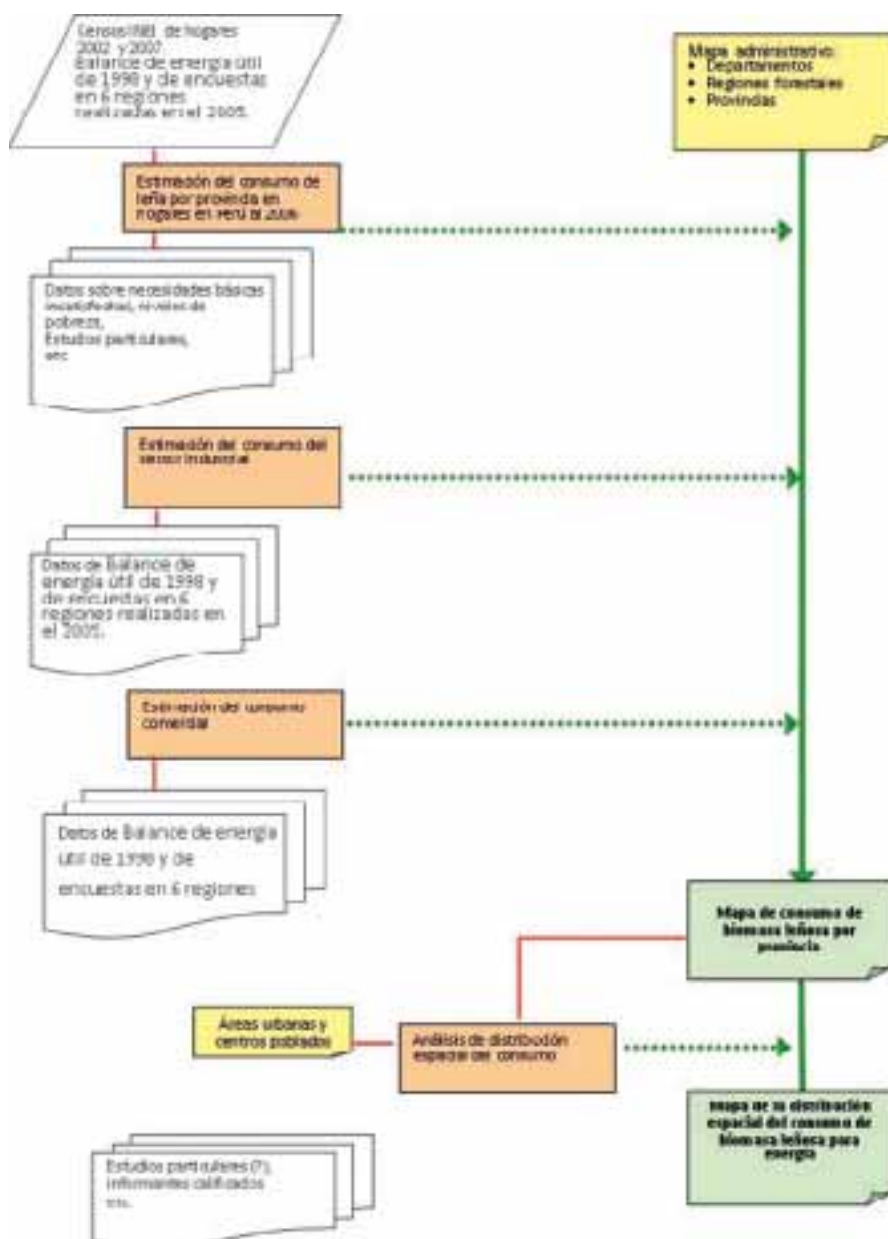
Los resultados de este Censo brindan información sobre la estructura de consumo de energía para la cocción de alimentos, calentamiento de agua y calefacción a nivel provincial. Además incluyen datos sobre el número de hogares de cada provincia así como también que porcentajes corresponde al ámbito rural y al urbano. En el Apéndice 5I se presenta un ejemplo de la información proporcionada por este Censo.

Además del Censo, se ha contado con los resultados del Balance de Energía Útil (BNE) en el sector residencial, obtenidos por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) para el año 2000. De este balance se dispone de los consumos específicos de leña, carbón vegetal, estiércol y yareta, por hogar, a nivel de cada región del país y desagregado en el ámbito rural y urbano y dentro de cada ámbito clasificado por Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI). En el Apéndice 5J se presenta la clasificación por NBI desarrollada por el INEI así como un ejemplo de su aplicación. (La yareta es un musgo que crece en las alturas y que una vez seco es utilizado como combustible en las regiones más pobres del país).

Después de la generación de las carpetas con las base de datos de la información de los Censos 2007 y de la Demanda de Energía en el Sector Residencial, se procedió a crear un archivo que sistematice toda esta información y en el cual se obtenga una estimación de la demanda de energía en el sector residencial de residuos biomásicos y desagregados por provincia.

Figura 5.13

Diagrama de flujos de las principales capas de información y fases analíticas del módulo de demanda



Para la determinación de la demanda en el sector residencial, se ha realizado una desagregación por región y provincia en la cual se ha incluido en primer término a partir de los datos del Censo 2007, la estructura de consumo de Energía, tal y como se aprecia en el Cuadro 5.3.

Cuadro 5.3

Ejemplo de la estructura de consumo de energía en el Sector Residencial por provincia. Censo 2007

Consumo por regiones		Censo 2007							Censo 2007		
Región	Provincia	utiliza gas	utiliza lena	utiliza bosta	utiliza kerosene	utiliza carbon	utiliza electricidad	Saldo Leña	Cantidad de hogares	% rural	% Urbano
Amazonas	Bagua	27,8	66,4	0	0,5	0,6	0,4	4,3	17 055	53,2	46,8
	Chachapoyas	38,6	54,2	0	0,2	0,4	0,3	6,3	13 513	30,9	69,1
	Condorcanqui	4,1	93,6	0	0,1	0,3	0	1,9	8 720	85,1	14,9
	Rodriguez de Mendoza	15,1	82,2	0,1	0,1	0,1	0,1	2,3	6 888	67,4	32,6
	Luya	8,3	89	0	0	0,2	0,1	2,4	11 837	59,6	40,4
	Utcubamba	25,6	69,6	0	0,2	0,6	0,2	3,8	26 024	56,8	43,2
	Bongara	26,5	69,4	0	0,1	0,3	0,3	3,4	6 608	40,1	59,9
Ancash	Shiuas	7,7	90,7	0	0,1	0,5	0,1	0,9	7 070	74	26
	Santa	79,4	12,2	0	3,1	1	1,1	3,2	95 635	6,5	93,5
	Recuay	12,9	79,5	4,6	0,8	0,3	0,1	1,8	5 047	43,1	56,9
	Pomabamba	5,1	93,6	0	0,1	0,2	0,1	0,9	6 543	78	22
	Pallasca	3,4	90,1	0,1	0	2,5	0,1	3,8	7 326	48,3	51,7
	Ocros	12,7	81,6	0	0,9	0,7	0,2	3,9	2 559	42,4	57,6
	Mariscal Luzuriaga	1,7	97,1	0	0	0,2	0,1	0,9	5 444	87,7	12,3
	Huaylas	16,7	80	0,2	0,7	0,3	0,3	1,8	13 080	67,4	32,6
	Huarmey	58,4	33,4	0	2,8	0,9	0,5	4	6 898	24,2	75,8
	Huari	8,1	89,5	0,3	0,2	0,3	0,1	1,5	14 710	64,4	35,6
	Huaraz	42,7	51,8	0,4	1,6	0,3	0,6	2,6	37 124	25,8	74,2
	Corongo	7,2	89,7	0,1	0,2	0,4	0,7	1,7	1 939	50,6	49,4
	Casma	48,7	44,5	0,1	1,7	0,5	0,4	4,1	10 832	30,5	69,5
	Carlos Fermin	4,9	93,6	0	0,1	0,2	0,1	1,1	5 359	84	16
	Carhuaz	8,2	89,6	0	0,3	0,3	0,2	1,4	11 200	66,1	33,9
	Bolognesi	16,1	71	4,7	0,5	5,2	0,2	2,3	7 740	36,9	63,1
	Asuncion	8,2	90	0	0	0,4	0,3	1,1	2 343	74,6	25,4
Antonio Raimondi	4,4	90,4	3,1	0,2	0,4	0,1	1,4	4 057	73,9	26,1	
Aija	5,2	90,4	2,6	0,1	0,5	0	1,2	2 157	68,4	31,6	
Yungay	8,2	89,8	0,1	0,4	0,4	0,2	0,9	13 024	75,9	24,1	

Asimismo, se ha sistematizado la información de Consumos Específicos por Hogar a nivel de Región, ámbito urbano y NBI a partir de información obtenida del Balance de Energía Útil que realizó el Ministerio de Energía y Minas en el año 2000 (Cuadro 5.4).

Estos Cuadros se han elaborado desagregados por tipo de fuente de energía (carbón vegetal, leña, estiércol y yareta), por ámbito (urbano y rural) y NBI.

Cuadro 5.4

Ejemplo del consumo residencial de carbón vegetal por región

Consumo por regiones		Censo 2007							Censo 2007		
Región	Provincia	utiliza gas	utiliza lena	utiliza bosta	utiliza kerosene	utiliza carbon	utiliza electricidad	Saldo Leña	Cantidad de hogares	% rural	% Urbano
Amazonas	Bagua	27,8	66,4	0	0,5	0,6	0,4	4,3	17 055	53,2	46,8
	Chachapoyas	38,6	54,2	0	0,2	0,4	0,3	6,3	13 513	30,9	69,1
	Condorcanqui	4,1	93,6	0	0,1	0,3	0	1,9	8 720	85,1	14,9
	Rodriguez de Mendoza	15,1	82,2	0,1	0,1	0,1	0,1	2,3	6 888	67,4	32,6
	Luya	8,3	89	0	0	0,2	0,1	2,4	11 837	59,6	40,4
	Utcubamba	25,6	69,6	0	0,2	0,6	0,2	3,8	26 024	56,8	43,2
	Bongara	26,5	69,4	0	0,1	0,3	0,3	3,4	6 608	40,1	59,9
Ancash	Shiuas	7,7	90,7	0	0,1	0,5	0,1	0,9	7 070	74	26
	Santa	79,4	12,2	0	3,1	1	1,1	3,2	95 635	6,5	93,5
	Recuay	12,9	79,5	4,6	0,8	0,3	0,1	1,8	5 047	43,1	56,9
	Pomabamba	5,1	93,6	0	0,1	0,2	0,1	0,9	6 543	78	22
	Pallasca	3,4	90,1	0,1	0	2,5	0,1	3,8	7 326	48,3	51,7
	Ocros	12,7	81,6	0	0,9	0,7	0,2	3,9	2 559	42,4	57,6
	Mariscal Luzuriaga	1,7	97,1	0	0	0,2	0,1	0,9	5 444	87,7	12,3
	Huaylas	16,7	80	0,2	0,7	0,3	0,3	1,8	13 080	67,4	32,6
	Huarmey	58,4	33,4	0	2,8	0,9	0,5	4	6 898	24,2	75,8
	Huari	8,1	89,5	0,3	0,2	0,3	0,1	1,5	14 710	64,4	35,6
	Huaraz	42,7	51,8	0,4	1,6	0,3	0,6	2,6	37 124	25,8	74,2
	Corongo	7,2	89,7	0,1	0,2	0,4	0,7	1,7	1 939	50,6	49,4
	Casma	48,7	44,5	0,1	1,7	0,5	0,4	4,1	10 832	30,5	69,5
	Carlos Fermin	4,9	93,6	0	0,1	0,2	0,1	1,1	5 359	84	16
	Carhuaz	8,2	89,6	0	0,3	0,3	0,2	1,4	11 200	66,1	33,9
	Bolognesi	16,1	71	4,7	0,5	5,2	0,2	2,3	7 740	36,9	63,1
	Asuncion	8,2	90	0	0	0,4	0,3	1,1	2 343	74,6	25,4
	Antonio Raimondi	4,4	90,4	3,1	0,2	0,4	0,1	1,4	4 057	73,9	26,1
	Aija	5,2	90,4	2,6	0,1	0,5	0	1,2	2 157	68,4	31,6
	Yungay	8,2	89,8	0,1	0,4	0,4	0,2	0,9	13 024	75,9	24,1

Las unidades en las cuales se ha trabajado corresponden a toneladas equivalentes de petróleo (TEP). Esta unidad se refiere a la energía contenida en una tonelada de petróleo diesel medida a partir de su poder calorífico inferior. Posteriormente para efectos de mayor comprensión de los reportes, estos valores han sido convertidos a toneladas de cada fuente energética evaluada.

Dado que para cada región generalmente hay más de un consumo específico por NBI identificado, se ha tenido que escoger el NBI más representativo considerando el que tiene mayor cantidad de información se incluye en una celda tanto para el ámbito rural como urbano. Con ello se obtienen los valores de consumo específico por hogar para dicho NBI. Esto se puede apreciar en el Cuadro 5.5. **Las celdas en amarillo, son las que se seleccionaron** a través de un menú desplegable a fin de que se aprecien los consumos específicos por hogar, por fuente, para cada provincia y en el ámbito urbano o rural.

Cuadro 5.5

Ejemplo de valores de consumo específico por hogar por NBI representativo

Consumo por regiones		Índice de Pobreza mas Representativo		Consumos Específicos (TEP/(10 ³ hogar año))							
				Urbano				Rural			
Región	Provincia	Urbano	Rural	Carbón Vegetal	Leña	Bosta	Yareta	Carbón Vegetal	Leña	Bosta	Yareta
Huancavelica	Huaytara	NBI4	NBI5	85,9	280,68	0	0	71,37	647,43	404,13	542,48
	Huancavelica	NBI4	NBI5	85,9	280,68	0	0	71,37	647,43	404,13	542,48
	Churcampa	NBI4	NBI5	85,9	280,68	0	0	71,37	647,43	404,13	542,48
	Castrovirreyna	NBI4	NBI5	85,9	280,68	0	0	71,37	647,43	404,13	542,48
	Angaraes	NBI4	NBI5	85,9	280,68	0	0	71,37	647,43	404,13	542,48
	Acobamba	NBI4	NBI5	85,9	280,68	0	0	71,37	647,43	404,13	542,48
	Tauacaja	NBI4	NBI5	85,9	280,68	0	0	71,37	647,43	404,13	542,48
Huanuco	Puerto Inca	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0
	Pachitea	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0
	Maranon	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0
	Leoncio Prado	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0
	Lauricocha	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0
	Huacaybamba	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0
	Huanuco	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0
	huamalies	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0
	Dos de Mayo	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0
	Ambo	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0
Yarowilca	NBI3	NBI4	16,54	198,76	0	0	13,86	467,54	12,62	0	
Ica	Palpa	NBI4	NBI4	31,53	132,62	0	0	45,79	304,89	1 720,08	0
	Nazca	NBI4	NBI4	31,53	132,62	0	0	45,79	304,89	1 720,08	0
	Ica	NBI4	NBI4	31,53	132,62	0	0	45,79	304,89	1 720,08	0
	Chincha	NBI4	NBI4	31,53	132,62	0	0	45,79	304,89	1 720,08	0
	Pisco	NBI4	NBI4	31,53	132,62	0	0	45,79	304,89	1 720,08	0

En cada región, se han utilizado los mismos consumos específicos representativos dados que no se dispone de esta información desagregada a nivel de provincia.

Posteriormente, con el número de hogares urbanos y rurales para cada provincia (Censo 2007), la estructura de consumo de energía por provincia (Censo 2007), los consumos

específicos más representativos tanto en el ámbito rural y urbano (BNE 2007), el poder calorífico inferior tanto para el carbón vegetal, leña y estiércol (BNE 2007), se estiman los consumos de energía por tipo de biomasa. La estimación se hace primero en TEP y luego se transforman a t/año por tipo de biomasa (Cuadro 5.6).

Debido a que en la estructura de consumo del Censo de 2007 no se incluye la yareta, no ha sido posible determinar los consumos al 2007 de esta fuente energética en el sector residencial, pese a que se dispone de consumos específicos promedio por hogar para algunas regiones.

En el Apéndice 5K, se presentan algunas observaciones a la estimación realizada.

Cuadro 5.6

Ejemplo de Consumo residencial de energía (t/año) por ámbito según fuente de energía.

Consumo por regiones		Consumos de Energía (Ton/año)					
Región	Provincia	Urbano			Rural		
		Carbón Vegetal	Leña	Bosta	Carbón Vegetal	Leña	Bosta
Huancaavelica	Huaytara	0	1 051	0	1	5 890	522
	Huancaavelica	2	5 263	0	2	16 703	3 420
	Churcampa	1	1 791	0	2	13 962	123
	Castrovirreyña	0	1 173	0	1	5 865	221
	Angaraes	2	2 047	0	3	11 526	1 437
	Acobamba	2	2 560	0	3	13 639	1 274
	Tauacaja	3	4 606	0	6	32 485	73
Huanuco	Puerto Inca	0	0	697	0	6 599	0
	Pachitea	0	945	0	0	13 321	0
	Maranon	0	469	0	0	6 560	0
	Leoncio Prado	3	5 647	0	2	9 308	0
	Lauricocha	1	579	0	3	4 688	41
	Huacaybamba	0	432	0	0	4 596	0
	Huanuco	5	10 934	0	3	16 863	4
	Huamalies	1	5 648	0	0	5 193	1
	Dos de Mayo	0	1 824	0	0	7 970	3
	Ambo	0	2 117	0	1	9 975	3
	Yarowilca	0	1 061	0	1	7 690	2
Ica	Palpa	1	415	0	1	493	3
	Nazca	3	1 177	0	1	376	0
	Ica	14	4 822	0	2	1 030	0
	Chincha	4	2 999	0	1	861	14
	Pisco	5	2010	0	1	654	0

Finalmente se hizo una base de datos para todas las regiones con los cuadros por NBI, ámbito (urbano y rural) y región obtenidos en el 2000. En el Cuadro 5.7 se muestra un ejemplo.

Cuadro 5.7

Ejemplo de las demandas del sector residencial de energía por Región por área y por NBI**CUADROS DE RESULTADOS FINALES**

SECTOR: HOGARES

DEPARTAMENTO: AMZONAS

AREA URBANA NBI: III

Usos	Consumo de energía neta expandida (TEP)										
	Fuentes de energía										
	EE	GLP	GD	KE	LE	CV	BS	YT	BC	SL	TOTAL
Iluminación	124,71			8,88							133,6
Cocción	5,3	274,54		380,28	846,53	1,03					1 507,72
Calentamiento de agua	1,49	37,9		4,47	76,17	4,56					124,59
Calefacción											
Ventilación de ambientes											
Conservación de alimentos	51,33										51,33
Otros artefactos diversos	219,19	1,57		3,81		5,26					229,89
Bombeo de agua											
Fuerza motriz	0,55										0,55
TOTAL (a)	402,66	314,02		397,44	922,71	10,85					2 047,67
Miles de hogares (b)	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17
Miles de hogares la fuente (c)	5,01	2,43		2,01	2,62	0,25					
% De consumidores (a/b*100)	96,87	47,09		38,89	50,69	4,84					
Consumo por fuente/hogar (a/b)	77,9	60,75		76,99	178,51	2,1					396,14
Consumo fuente. Hogar por fuente (a/c)	80,42	129,01		197,73	352,18	43,38					

b) Estimación de la demanda comercial e industrial*Sector industrial*

Procesamiento de la información proporcionada por el Ministerio de la Producción (PRODUCE) respecto a la cantidad de empresas a nivel provincial y región por rama CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) a 4 dígitos.

Se revisó cuales ramas industriales estaban involucradas con la generación de residuos de biomasa tanto para la industria alimentaria como la industria forestal. Las ramas detectadas y sus códigos, se muestran en el Apéndice 5L.

Posteriormente, se enviaron dichas ramas CIU a la Oficina de Estadística del Ministerio de la Producción a fin de que indiquen cuantas empresas de cada una de

estas ramas había en el país a nivel nacional y provincial. Para ello se consideró el Censo Industrial Manufacturero de 2007.

El Cuadro 5.8 expresa parte de dichos resultados, proporcionados por el Ministerio de la Producción.

Cuadro 5.8

Ejemplo de información sobre número de empresas por rama CIU que generan residuos de biomasa nivel provincial y nacional

Región	Provincia	CIUs													Total general
		1511	1512	1513	1514	1520	1531	1533	1542	1543	1551	1552	1553	1554	
Amazonas	Bagua	3				2	14							1	20
	Chachapoyas	4		1		5			2	9	1			1	23
	Utcubamba	6					2		2	1					11
Total Amazonas		13		1		7	16		2	3	9	1		2	54
Ancash	Bolognesi	2				2	1								5
	Carhuaz	1				3	1								5
	Casma	4					2								6
	Huaraz	14				7	29				1			1	52
	Huari					1									1
	Huarmey		1		1										2
	Huaylas	1				2					1				4
	Pomabamba	2					2								4
	Santa	101	51	3	6	4	18	2	1	1	1	1			189
	Yungay	5					1								6
Total Ancash		130	52	3	7	19	54	2	1	1	3	1		1	274
Apurimac	Arequipa	14	4	6		37	16	4		5	24	7	3	6	126
	Camana					4	17								21
	Caraveli		1												1
	Castilla					1					3	1			5
	Caylloma	1				3	2								6
	Condesuyos					9									9
	Islay	1	3	1			6	1	1						13
Total Apurimac		16	8	7		54	41	5	1	5	27	8	3	6	181

Fuente: Oficina de Estadística del Ministerio de la Producción.

Lo mismo ocurre para las otras ramas industriales solicitadas.

Posteriormente, de los Balances de Energía Útil que se realizaron el año 2008, se obtuvieron reportes de los consumos por rama CIU para cada región, tal como se muestra en el Cuadro 5.9.

Tomando en cuenta dichos reportes, se obtuvo la siguiente información:

- Consumos específicos de energía por tipo de fuente (incluidas la biomasa) para cada rama CIU.
- Proporción de industrias por rama CIU que consumen dichas fuentes.

Cuadro 5.9

Ejemplo de reporte de consumo de energía por rama CIUU

CUADROS DE RESULTADOS FINALES

SECTOR: INDUSTRIA MANUFACTURERA

DEPARTAMENTO: AMZONAS

AREA URBANA CIU 152: ELABORACION DE PRODUCTOS LACTEOS

Usos	Energía neta expandida (TEP)											
	Fuentes de energía											
	DO	PI	PIQ	KE	GM	GD	GLP	CM	BC	CQ	LE	BG
Calor												
Conservacion de alimentos y otros												
Fuerza motriz												
Iluminacion												
Electroquimica y electronica												
Total (a)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Numero de empresas (b)												
Empresas que consume la fuente (c)												
% De consumidores de la fuente (a/b*100)												
Consumo por fuente/hogar (a/b)												
Consumo fuente por empresa (a/c)												
Produccion total (tm)	1 706,81	1 706,81	1 706,81	1 706,81	1 706,81	1 706,81	1 706,81	1 706,81	1 706,81	1 706,81	1 706,81	1 706,81

Luego, se aplicó la siguiente relación para estimar los consumos de biomasa:

$$CB_i R_j C_k = N_k \times P_i \times Ce_i$$

Donde:

$CB_i R_j C_k$ = Consumo de biomasa i en la rama industrial con código CIUU k para la Región j (obtenido de los reportes por rama CIUU y región del Balance de Energía Útil 1998 que se realizó en el año 2000).

N_k = Número total de empresas de la rama industrial con código CIUU k que existen la Región j (proporcionado por el Ministerio de Industrias en el Censo Manufacturero 2007).

P_i = Proporción del total de empresas que tiene la Región j en la rama CIUU k que consumen la biomasa i (obtenido de los reportes por rama CIUU y región del Balance de Energía Útil 1998 que se realizó en el año 2000).

Ce_i = Consumo específico de la biomasa i (TEP/industria) para la rama industrial con código CIUU k (obtenido de los reportes por rama CIUU y región del Balance de Energía Útil 1998 que se realizó en el año 2000).

Sector comercial

Se ha trabajado con la base de datos de clientes de las empresas distribuidoras de energía eléctrica proporcionada por la Dirección General del Ministerio de Energía y Minas para el año 2006. En dicha base de datos se encuentran desagregados por ramas CIIU, los clientes de las empresas eléctricas. Esta información se ha analizado a fin de que se identifiquen la cantidad de negocios que existen en rubros Restaurantes y Hoteles, que es donde se han identificado consumos de biomasa en el Balance de Energía Útil 1998.

Al igual que en otros sectores, se ha trabajado con los indicadores obtenidos de los reportes del Balance Nacional de Energía Útil 1998; se muestra un ejemplo en el Cuadro 5.10.

Cuadro 5.10

Ejemplo de reporte del consumo de energía de restaurantes y hoteles por fuente por fuente.

CUADROS DE RESULTADOS FINALES

SECTOR: COMERCIO Y SERVICIOS

DEPARTAMENTO: ANCHAS

AREA URBANA CIIU 551: HOTELES, CAMPAMENTOS Y OTROS TIPOS DE HOSPEDAJE TEMPORAL

Usos	Energía neta expandida (TEP)									
	Fuentes de energía									
	EE	GLP	KE	PI	LE	BC	CV	SL	DO	GM
Iluminacion	24,82									
Coccion	3,28	16,38						431,98	268,43	
Calentamiento de agua	23,86	0,36								
Calefaccion	4,46									
Ventilacion de ambientes	0,31									
Conservacion de alimentos	8,53									
Otros artefactos diversos	16,31									
Bombe de agua	2,01									
Fuerza motriz	43,25									
Total (a)	126,83	16,73	29,44					431,89	268,43	
Numero de empresas (b)	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
Empresas que consume la fuente (c)	62	36	26					26	3	
% De consumidores de la fuente (a/b*100)	100	58,06	41,94					41,94	4,84	
Consumo de la fuente por empresas (a/b)	2,05	0,27	0,47					6,97	4,33	
Consumo de la fuente por empresas que la utilizan (a/c)	2,05	0,46	1,13					16,61	89,48	
Numero total de habitaciones (tm)	1 411,00	1 411,00	1 411,00	1 411,00	1 411,00	1 411,00	1 411,00	1 411,00	1 411,00	1 411,00

LE: Leña; CV: Carbón vegetal.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

De modo similar al sector industrial, se estimaron los consumos de biomasa a partir de la cantidad de establecimientos en base al año 2006, para cada región y considerando los consumos específicos y la proporción de negocios del total que consumen biomasa, de acuerdo a la siguiente relación:

$$CB_iR_jSC_k = N_k \times P_i \times Ce_i$$

Donde:

- $CB_iR_jSC_k$ = Consumo de biomasa i en el Sector Comercial con código CIU k para la Región j (obtenido de los reportes por rama CIU y región del Balance de Energía Útil 1998 que se realizó en el año 2000).
- N_k = Número total de comercios con código CIU k que existen en la Región j (proporcionado por la base de datos de los clientes eléctricos 2006 proporcionado por el Ministerio de Energía y Minas).
- P_i = Proporción del total de comercios que tiene la Región j en la rama CIU k que consumen la biomasa i (obtenido de los reportes por rama CIU y región del Balance de Energía Útil 1998 que se realizó en el año 2000).
- Ce_i = Consumo específico de la biomasa i (TEP/comercio) para el Sector Comercial con código CIU k (obtenido de los reportes por rama CIU y región del Balance de Energía Útil 1998 que se realizó en el año 2000).

5.5.2 CARTOGRAFIA DEL ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE BIOMASA PARA ENERGIA

Luego de estimado el consumo de biomasa para energía, tanto residencial como comercial e industrial, estos consumos fueron relacionados a la base cartográfica de centros poblados.

Preparación de las capas de los centros poblados

- A partir de la información vectorial de centros poblados se generó un *raster* de 250 m de tamaño de pixel. Se seleccionaron aquellos centros clasificados como rurales para luego codificar los núcleos rurales con el código provincial y distribuir sobre éstos el consumo rural.
- Se procedió de igual manera a obtener un *raster* de 250 m para los centros poblados clasificados como urbanos. El INEI define centro urbano a “aquel que tiene como mínimo 100 viviendas agrupadas contiguamente y, por excepción, también se considera como tal a todos los centros poblados que son capitales de distritos aún cuando no reúnan la condición indicada”. Los núcleos urbanos fueron codificados con el código provincial con el fin de distribuir sobre estos el consumo urbano.
- Luego se fusionaron las capas de centros poblados urbanos y rurales con el objetivo de generar una única capa de núcleos poblados.

- Se calculó el número de píxeles de núcleos poblados por departamento para lo cual se usó la función *zonalstatistics* del módulo *Spatial Analyst* de ArcGis.

Estimación del consumo por pixel

Esta etapa se realizó en una hoja de cálculo Excel. Se utilizaron los valores de consumo de leña y carbón vegetal en hogares rurales y urbanos así como el consumo de leña, carbón vegetal y bagazo en los sectores industrial y comercial; los valores correspondientes a los sectores industrial y comercial fueron distribuidos en los núcleos urbanos.

Los consumos de carbón vegetal fueron transformados a su equivalente en leña (1 t de carbón vegetal equivale a 5 t de leña).

Distribución espacial del consumo por pixel

El resultado del proceso fue la distribución espacial de la demanda residencial, comercial e industrial de biomasa en los píxeles identificados como rurales y urbanos.

5.5.3 MAPAS FINALES DE DEMANDA

De igual manera que con la oferta y con el fin de ofrecer en el balance final varios resultados, fueron considerados dos tipos de consumo.

- El consumo de dendrocombustibles, para lo cual se sumaron los consumos de carbón vegetal y leña de los sectores residencial, comercial e industrial.
- El consumo de biomasa para energía, para lo cual se sumaron el mapa de consumo de dendrocombustibles con los mapas de consumo de bagazo comercial e industrial.

En la Figura 5.5 del Volumen I se muestra la demanda del consumo de biomasa como combustible, por provincia

5.6 DESARROLLO DEL MÓDULO DE INTEGRACIÓN

El Módulo de Integración consiste en la elaboración del balance entre la oferta potencial de biomasa disponible y accesible desde el punto de vista legal y físico y el consumo de biomasa con fines energéticos.

El balance puede orientarse de distintas formas según los análisis que se quieran realizar.

- Dada la importancia del consumo de biomasa con fines energéticos en Perú (el 88 por ciento de la producción de productos maderables es leña y carbón vegetal) se decidió elaborar un primer balance dendroenergético, en el cual se comparó la oferta de biomasa leñosa procedente de los bosques naturales y de las plantaciones forestales, con la demanda de dendrocombustibles (leña y carbón vegetal).

- En segundo término se elaboró un balance entre la oferta total de biomasa que comprende además los residuos potenciales de los cultivos seleccionados y los residuos procedentes de las actividades agroindustriales y forestales-industriales, con la demanda total de biomasa.

Para la mejor comprensión, los mapas de balance al igual que el mapa de demanda fueron procesados posteriormente, mediante la función *focal mean* del módulo *Spatial Analyst* de ArcGis 9.2. Con ayuda de esta función se calculó el valor medio entre la oferta y la demanda en un radio determinado de 10 km.

En las Figuras 5.6 y 5.7 del Volumen I se muestra la distribución por provincia de los balances dendroenergéticos y totales para todo el país, respectivamente.

REFERENCIAS

Andrews, S. 2006. Crop Residue Removal for Biomasa Energy Production: Effects on Soil and Recommendations. Technology Development Team USDA National Resource Conservation Service.

Balmaceda, E. 1986. Problemas y perspectivas de la veda del Bosque Seco Tropical del Noroeste. *En* Documentos de la reunión de coordinación y planeamiento de la Dirección General Forestal y de Fauna y las Direcciones Forestales y de Fauna de las Regiones Agrarias. Oficina de Programación-DGFF-Ministerio de Agricultura. pp 69-75.

Barrena, V.; Garnica, C.; Huerta, P. y Ortiz, H. 2008. Informe: El mapa de ecosistemas de los Andes del Norte y Centrales del Perú. LTA-ECOBONA. 34 p.

Barrena, V. 2008. Recursos Forestales del Perú Notas de curso *Tropical Forestry* en The Mendel University of Agriculture and Forestry. Brno. República Checa.

Barrena, V. 1990. Estimaciones del volumen de árboles de la Amazonía peruana a partir de ecuaciones de ahusamiento. Traducción de tesis para optar el grado de M. Sc. Université Laval, Québec, Canadá. Lima. 111 p. + Apéndices.

Bouille, D. 2006. Búsqueda de una matriz energética sustentable: el papel de las fuentes nuevas y renovables de energía. CONAM Hacia una política ambiental sostenible en el Perú, pp. 45 – 57. Lima.

Bueno, J.; Gonzales, V. y Lombardi, I. 1978. El Recurso Forestal, Potencial y Proyecciones en Relación al Desarrollo Nacional. Prog. Acad. De Ciencias Forestales, UNALM. 15 p.

Dirección General Forestal t de Fauna Silvestre. (DGFF). 2009. Perú forestal en números, año 2008. Ministerio de Agricultura-DGFF. Lima. 82 p.

Drigo, R.; Masera, O. y Trossero, M. 2002. WISDOM: una representación cartográfica de la oferta y la demanda de combustibles leñosos. UNASYLVA 211. 53:36-40.

Eguren, F. El Censo del 2007 y la Población rural. (Disponible en http://www.actualidadeconomica-Peru.com/antiores/ae_2008/oct2008/art_04_oct_2008.pdf Visitado en 2010).

FAO. 2009. Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina - WISDOM Argentina. Departamento Forestal, Servicios y Productos Forestales – Dendroenergía. Proy TCP/ARG/3103.102 p.

- Gianella, J.C.** 2008. Cambio de matriz energética y biocombustibles (I). *Coyuntura* (4) 21: 21–25. CISEPA PUCP. Lima.
- Gianella, J.C.** 2009. Cambio de matriz energética y biocombustibles (II). *Coyuntura* (5) 22: 13 – 18. CISEPA PUCP. Lima.
- Gianella, J.** 2007 Nota I sobre Cambio de Matriz Energética y Biocombustibles. Monder S.A.C. 5 p.
- Guevara, M.** 1986. Actividad forestal y desarrollo campesino. En Documentos de la reunión de coordinación y planeamiento de la Dirección General Forestal y de Fauna y las Direcciones Forestales y de Fauna de las Regiones Agrarias. Oficina de Programación-DGFF-Ministerio de Agricultura. pp 81-97.
- GEPLACEA** 1987. Uso alternativo de la caña de azúcar para energía y alimento. Mexico D.F.
- INEI.** 2008. Perfil socioeconómico del Perú. 2da. Edición. Censos Nacionales 2007. XI de población y VI de vivienda. Lima. 474 p.
- INRENA.** 1996. Guía Explicativa del Mapa Forestal 1995. Dirección General Forestal y de Fauna. Ministerio de Agricultura. 131 p. + Apéndices.
- INRENA.** 2005. Mapa Forestal del Perú 2000. No publicado.
- IDEA.** Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. 2007. Biomasa: producción eléctrica y cogeneración. Madrid, España.
- Jon, R.** 2001. Memoria del Taller de Formulación de la Visión consolidada para el desarrollo forestal. FAO-Proyecto FAO/GCP/PER/035/NET. Lima. 35 p.
- Loayza, M.** 1986. Dendroenergía y desarrollo rural en la región andina del Perú. En Documentos de la reunión de coordinación y planeamiento de la Dirección General Forestal y de Fauna y las Direcciones Forestales y de Fauna de las Regiones Agrarias. Oficina de Programación-DGFF-Ministerio de Agricultura. pp 111-133.
- Loayza, M. y Tafur, I.** 1986. Planificando el futuro de los bosques. *En* Documentos de la reunión de coordinación y planeamiento de la Dirección General Forestal y de Fauna y las Direcciones Forestales y de Fauna de las Regiones Agrarias. Oficina de Programación-DGFF-Ministerio de Agricultura. pp 11-32.
- López, M.** 2003. Análisis del crecimiento diamétrico de cinco especies forestales en los bosques de colinas bajas de la Unidad Dantas. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal, UNALM. 89 p.

Malleux, J. 1975. Mapa Forestal del Perú (Memoria Explicativa). Depto. Manejo Forestal, UNALM. 161 p.

Marcos, F. 2000. Biocombustibles sólidos de origen forestal. Asociación Española de Normalización y Certificación – AENOR. Madrid, España.

MINAG. 2006. La Industria Azucarera Peruana 1998 – 2005. Lima.

MINAG. 2007. Compendio de Estadístico Agrario 1994 – 2005. Lima.

MINAG. 2010. Información estadística no publicada sobre series de producción agrícola y pecuaria 2005 – 2008. Dirección General de Información Agraria. Lima.

MEM. 2008. Plan Referencial de Electricidad 2006 – 2015. Dirección General de Electricidad. Lima.

MEM. 2009a. Balance Nacional de Energía 2007. Oficina de Planeamiento, Inversiones y Cooperación Internacional. Lima

MEM. 2009b. Anuario Estadístico de Electricidad 2008. Dirección General de Electricidad. Lima.

Portuguez, H. y Huerta, P. 2005. Memoria Explicativa del Mapa de Deforestación de la Amazonia Peruana al año 2000. Convenio INRENA-CONAM. PROCLIM. Lima. 99 p. + Apéndices.

PROYECTO ALGARROBOa. 2003. Mapa de bosques secos del departamento de Tumbes. INRENA. 31p + mapa.

PROYECTO ALGARROBOb. 2003. Mapa de bosques secos del departamento de Piura. INRENA, Ministerio de Agricultura. 40 p.

Reicosky, D.C.; Evans, S.D., Cambardella, C.A., Allmaras, R.R., Wilts, A.R. y Huggins, D.R. 2002. *Continuous corn with moldboard tillage: Residue and fertility effect on soil carbon.* Journal of Soil and Water Conservation 57(5): 277-284.

Reynel, C. 1988. Plantas para leña en el Sur-occidente de Puno. Proyecto ARBOLANDINO-Puno, Ministerio de Agricultura (DGFF), INTERCOOPERATION. Puno, Perú. 165 p.

Saico, L. 2005. Determinación de Substratos óptimos para la producción de Biogas a partir de Estiércol de ganado ovino, vacuno y porcino de los corrales de Crianza de la UNALM. Tesis para optar el título de Ingeniero Zootecnista, UNALM. 97 p.

Salgado, L. 1999. Estimación de biomasa forrajera potencial del Overo (*Cordia lutea* lam) en los bosques de la comunidad Ignacio Távara Pasapera (Piura). Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. Facultad. de Ciencias Forestales. UNALM 98 p. + Apéndices.

Schuetz, G. 2007. Vínculos entre Bioenergía y la Seguridad Alimentaria. FAO II Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles. San Salvador, El Salvador.

Suleiman, J., Lima, R., de Carvalho, L. 2005. *Biomass power generation: Sugar cane bagasse and trash*. PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento CTC - Centro de Tecnología Canavieira. Piracicaba, Brasil.

Vargas, C.; Barrena, V. 2004. La Caoba en el Perú; informe de la Autoridad Científica CITES. FCF – UNALM.

Vilela, J. 2005. Sistematización de la experiencia del INRENA-Proyecto Algarrobo en el manejo del fuego en la región de Piura (Experiencia 1998-2000). Trabajo profesional para optar el Título de Ingeniero Forestal. Facultad. de Ciencias Forestales. UNALM. 54 p. + Apéndices.

Yallico, E. 1992. Distribución de *Polylepis* en el sur de Puno. ONERN-ARBOLANDINO. 138 p.