



Identificación del potencial de
generación eléctrica con
fuentes no convencionales
de energía renovable
para
aprovechamientos
a pequeña escala
en el
Valle del Cauca

Informe Final Actividad D2014

Convenio No. 033 de 2014

CIAT

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) —miembro del Consorcio CGIAR— desarrolla tecnologías, métodos innovadores y nuevos conocimientos que contribuyen a que los agricultores, en especial los de escasos recursos, logren una agricultura eco-eficiente —es decir, competitiva y rentable así como sostenible y resiliente. Con su sede principal cerca de Cali, Colombia, el CIAT realiza investigación orientada al desarrollo en las regiones tropicales de América Latina, África y Asia. www.ciat.cgiar.org

CGIAR es una alianza mundial de investigación para un futuro sin hambre. Su labor científica la llevan a cabo los 15 centros de investigación que integran el Consorcio CGIAR, en colaboración con cientos de organizaciones socias. www.cgiar.org

CVC

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca es la entidad encargada de administrar los recursos naturales renovables y el medio ambiente del Valle del Cauca, que como máxima autoridad ambiental y en alianza con actores sociales propende por un ambiente sano, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de la población y la competitividad de la región en el marco del desarrollo sostenible. www.cvc.gov.co

Identificación del potencial de generación eléctrica con fuentes no convencionales de energía renovable para aprovechamientos a pequeña escala en el Valle del Cauca

Convenio No. 033 de 2014

Aunar esfuerzos y recursos humanos, económicos y técnicos para realizar acciones en el marco de la mitigación y la adaptación al cambio climático en el Valle del Cauca

Actividad D2014: Identificación de energías alternativas no convencionales de potencial aplicación en el Valle del Cauca

Autores

Víctor Hugo López Molinari, Ing. Mecánico, Coordinador General, Desolcon Andina S.A.S.
Paul Andrés Manrique Castillo, Ing. Electricista, PhD, Consultor, Desolcon Andina S.A.S.
Robin Alexis Olaya, Ing. Topográfico, MSc, Responsable Plataforma SIG, Desolcon Andina S.A.S.



Copia No Controlada CVC

Prólogo

La elaboración del Atlas de Recursos Energéticos no Convencionales para el Valle del Cauca es el resultado de un esfuerzo para comprender la disponibilidad y potencial de los recursos energéticos no convencionales para actividades de generación de energía eléctrica, aprovechamiento agroindustrial y demás aplicaciones energéticas de la región vallecaucana.

En estos momentos, cobran importancia, desde el punto de vista energético, conceptos relacionados con el desarrollo sostenible, la autosuficiencia energética, los mecanismos de desarrollo limpio, la reducción de emisiones contaminantes, etc. Esto crea un marco de desarrollo local y regional que permite vislumbrar, en el mediano plazo, la capacidad de producción local de electricidad y otras formas de energía con los recursos disponibles en el departamento, buscando facilitar – a quienes consulten la herramienta – la posibilidad de desarrollar mecanismos de implementación de tecnologías no convencionales para aprovechamientos residenciales, comerciales y agroindustriales.

El actual y creciente interés mundial en la búsqueda de recursos energéticos que permitan una gradual sustitución de los combustibles fósiles (carbón y petróleo), así como de la energía nuclear, por los efectos negativos sobre el ambiente y la salud en general del planeta y sus habitantes, ha generado una oferta interesante en opciones de producción de energía eléctrica que no solo permiten su aprovechamiento en zonas rurales sin ningún tipo de suministro de electricidad, sino también en estrategias de uso y ahorro de energía eléctrica en grandes centros urbanos a niveles residencial, comercial e industrial. El conocimiento de estas tecnologías y sus posibilidades de aprovechamiento, aunadas con las viabilidades técnicas y económicas de su implementación, permite vislumbrar un panorama de diversidad energética en el mediano y largo plazo, lo que hace necesario conocerlas adecuadamente para su integración y utilización.

Sin embargo, la utilización de estas tecnologías basadas en recursos energéticos no convencionales debe pasar primero por una adecuada identificación y evaluación para conocer la prefactibilidad de su implementación. Si bien la herramienta facilita el acceso a la información disponible del recurso energético no convencional en el Valle del Cauca, se requerirán estudios más detallados para que las estimaciones técnicas y económicas puedan promover su uso tecnológico.

La presente herramienta provee información de referencia para el recurso solar, eólico, biomasa e hidráulico. Estos cuatro recursos dan un vistazo inicial a la potencialidad del aprovechamiento de recursos energéticos no convencionales en el Valle del Cauca y, de paso, sirven de plataforma de información que permita en el mediano plazo su actualización en función de los planes de desarrollo departamental y nacional para el aprovechamiento sostenible de estos recursos, procurando un desarrollo económico más próspero y equitativo para la región.

Este tipo de propuestas se enmarcan dentro de la actual presentación del Plan Nacional de Desarrollo preparado por el Gobierno nacional y que traza las rutas de desarrollo rural que requiere el país para un escenario de posconflicto.

Se espera que esta herramienta pueda ser ampliada, desarrollada y actualizada de manera que puedan integrarse en ella análisis de inclusión de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de recursos renovables no convencionales, análisis económicos y financieros, análisis de impactos ambientales para las regiones menos desarrolladas y aquellas con más potencial de desarrollo. En un futuro, se podrá contar con apoyo de esta información para los planes de ordenamiento territorial de las comunidades, de manera que puedan contar con recursos abundantes que permitan su autosuficiencia energética.

Paul Andrés Manrique Castillo
Ing. Electricista, PhD
Consultor, Desolcon Andina S.A.S.

Prefacio

La vulnerabilidad ambiental de los recursos naturales del departamento ante eventos climáticos cíclicos como el fenómeno del “Niño”, sumada a condiciones de marginación económica y social en las comunidades rurales del departamento del Valle del Cauca, insta a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) a desarrollar estrategias de acompañamiento en el desarrollo sostenible de iniciativas productivas que permitan el crecimiento económico y el mejoramiento del nivel de vida de dichas comunidades, mientras se protegen los recursos naturales.

Durante el diseño de estas estrategias, el grupo Producción Sostenible, adscrito a la Dirección Técnica Ambiental de la CVC, identificó que las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) son una alternativa ideal para reducir la presión sobre bosques, ríos y suelos, pero que existe muy poca información consolidada sobre el potencial energético en esta materia en el departamento.

Este trabajo pretende aportar las bases para un futuro sistema público de información, en donde los usuarios

accedan a la información más actualizada en la materia, posibilitando la realización de estudios exploratorios preliminares con información confiable y de bajo costo, que permitan dar luces con criterio técnico sobre el potencial de generación con fuente renovable en su municipio.

Cabe destacar que a pesar de que la principal fuente de datos fue la misma CVC, existen áreas con vacíos que se podrían llenar fácilmente si las entidades públicas involucradas, desde el orden local hasta el nacional, articularan esfuerzos en pro de un sistema de información unificado nacional.

Consideramos que el nivel de compromiso y la buena imagen de la CVC, como autoridad ambiental regional ante entidades de orden superior, podría permitirles articular actividades con otras entidades públicas y privadas para lograr este gran sueño (y necesidad apremiante) que es el desarrollo y fortalecimiento de los sistemas energéticos que involucren FNCER en todo el país.

Víctor Hugo López Molinari
Coordinador Grupo Técnico
Desolcon Andina S.A.S.

Agradecimientos

El resultado de este trabajo es producto de la suma de esfuerzos conjuntos entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con la presencia de Desolcon Andina S.A.S. como aliado técnico ejecutor, dentro del marco del Convenio No. 033 de 2014, que tiene como objeto: “Aunar esfuerzos y recursos humanos, económicos y técnicos para realizar acciones en el marco de la mitigación y la adaptación al cambio climático en el Valle del Cauca”. Actividad D2014: Identificación de energías alternativas no convencionales de potencial aplicación en el Valle del Cauca.

Desolcon Andina S.A.S. hace un reconocimiento y agradece a las entidades que suministraron información referente a las áreas de cultivos agrícolas, potencial energético de residuos agrícolas y pecuarios, nivel de radiación solar diaria por unidad de área, magnitud de velocidad de viento promedio mensual y caudal de cuencas hidrográficas del Valle del Cauca.

- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y, en especial, al grupo Producción Sostenible y al grupo Sistemas de Información Ambiental.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Ministerio de Minas y Energía.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
- Secretaría Departamental de Agricultura del Valle del Cauca.
- Centro de Datos Meteorológicos de Superficie y Energía Solar (SSE) del Centro de Investigación Langley de las Ciencias Atmosféricas de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de Estados Unidos.

Contenido

Objetivos	1
Objetivo principal	1
Objetivos secundarios	1
Fuentes consultadas para identificar el potencial energético con fuente renovable del Valle del Cauca	2
Metodología implementada	2
Fuente de información del recurso energético renovable solar y eólico	2
Proceso de extracción de la información de interés	3
Elaboración de la capa de información geográfica para su inclusión y manipulación por parte de un sistema de información geográfica	4
Fuente del recurso hídrico	6
Fuente de la biomasa	7
Potencial energético con fuente renovable en el Valle del Cauca	10
Identificación del potencial de generación energética con fuente solar y eólica	10
Identificación del potencial de generación energética con fuente hídrica	12
Identificación del potencial de generación energética con biomasa residual	14
Recomendaciones y conclusiones	20
Referencias	21

Figuras

Figura 1. Metodología utilizada	2
Figura 2. Organización de las celdas de información obtenibles del Centro de Datos Meteorológicos de Superficie y Energía Solar (SSE) de la NASA	3
Figura 3. Obtención de la información de interés de la base de datos del SSE-NASA	4
Figura 4. Información geográfica tipo vectorial	5
Figura 5. Información geográfica tipo raster	6
Figura 6. Metodología de la elaboración del Atlas del Potencial Energético para la Biomasa Residual en Colombia	8
Figura 7. Cultivos generadores de biomasa residual	9
Figura 8. Animales del sector pecuario generadores de biomasa	9
Figura 9. Ciudades generadoras de residuos	9
Figura 10. Localización de estaciones en tierra de la línea base de la red de radiación superficial con cámaras de visión hacia arriba	10
Figura 11. Mapa de radiación solar anual promedio en el Valle del Cauca (kWh/m ² -día)	11
Figura 12. Mapa del potencial de generación con fuente eólica en el departamento del Valle del Cauca (m/s)	12
Figura 13. Cuencas hidrográficas del Valle del Cauca	13
Figura 14. Mapa de potencial de generación energética con fuente hídrica, caudales promedio anuales (m ³ /s)	13
Figura 15. Mapa de potencial energético biomasa residual de cultivos de arroz (TJ/año)	15
Figura 16. Mapa de potencial energético biomasa residual de cultivos de banano (TJ/año)	15
Figura 17. Mapa de potencial energético biomasa residual de cultivos de café (TJ/año)	16
Figura 18. Mapa de potencial energético biomasa residual cultivo de caña de azúcar (TJ/año)	16
Figura 19. Mapa de potencial energético biomasa residual cultivo de caña panelera (TJ/año)	17
Figura 20. Mapa de potencial energético biomasa residual cultivo de maíz (TJ/año)	17
Figura 21. Mapa de potencial energético de biomasa residual cultivo de plátano (TJ/año)	18
Figura 22. Mapa de potencial energético biomasa residual sector Avícola (TJ/año)	18
Figura 23. Mapa de potencial energético biomasa residual sector Bovino (TJ/año)	19
Figura 24. Mapa de potencial energético biomasa residual sector Porcino (TJ/año)	19

Objetivos

Objetivo principal

Identificar gráficamente, por áreas geográficas, las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) en el departamento del Valle del Cauca.

Objetivos secundarios

1. Identificar gráficamente el potencial de radiación solar en cada municipio del Valle del Cauca.
2. Identificar gráficamente la magnitud de la velocidad del viento promedio en cada municipio del Valle del Cauca.
3. Identificar gráficamente el potencial energético de la biomasa de origen agrícola y pecuario en cada municipio del Valle del Cauca.
4. Creación de un sistema de información geográfica (SIG) con la información de las áreas geográficas para el aprovechamiento a pequeña escala de FNCER en cada subregión del Valle del Cauca.

Fuentes consultadas para identificar el potencial energético con fuente renovable del Valle del Cauca

Metodología implementada

La metodología propuesta para la elaboración de este documento se compone de los siguientes elementos (Figura 1):

1. Obtención de la fuente de información del recurso energético renovable.
2. Extracción de la información de interés o específica del recurso energético renovable.
3. Inclusión de la información sobre una capa de información geográfica para su visualización y manipulación en un sistema de información geográfica.

Fuente de información del recurso energético renovable solar y eólico

La metodología propuesta ha recurrido a la fuente de información del Centro de Datos Meteorológicos de Superficie y Energía Solar (SSE) de la NASA¹.

Centro de Datos Meteorológicos de Superficie y Energía Solar (SSE) de la NASA²

Consiste en un sistema en línea, de libre acceso a la información, en donde la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de Estados Unidos, a través del Programa de Ciencias de la Tierra, proporciona datos para el estudio del clima y la radiación solar. La información se basa en mediciones realizadas durante más de 22 años sobre diferentes regiones del planeta a partir de una red de satélites geoestacionarios.

Con el rápido crecimiento de las tecnologías de aprovechamiento de recursos renovables (especialmente solar y eólica), esta fuente de información ha ofrecido datos globales y continuos en el tiempo, los cuales han permitido que sea una fuente confiable de información para el desarrollo de distintos proyectos a nivel global.

La información suministrada por esta base de datos tiene una resolución de un grado longitudinal por un grado latitudinal. Entre los parámetros de mayor utilidad ofrecidos por la base se tienen:

- Parámetros para el dimensionado y orientación de módulos solares para aplicaciones fotovoltaicas y

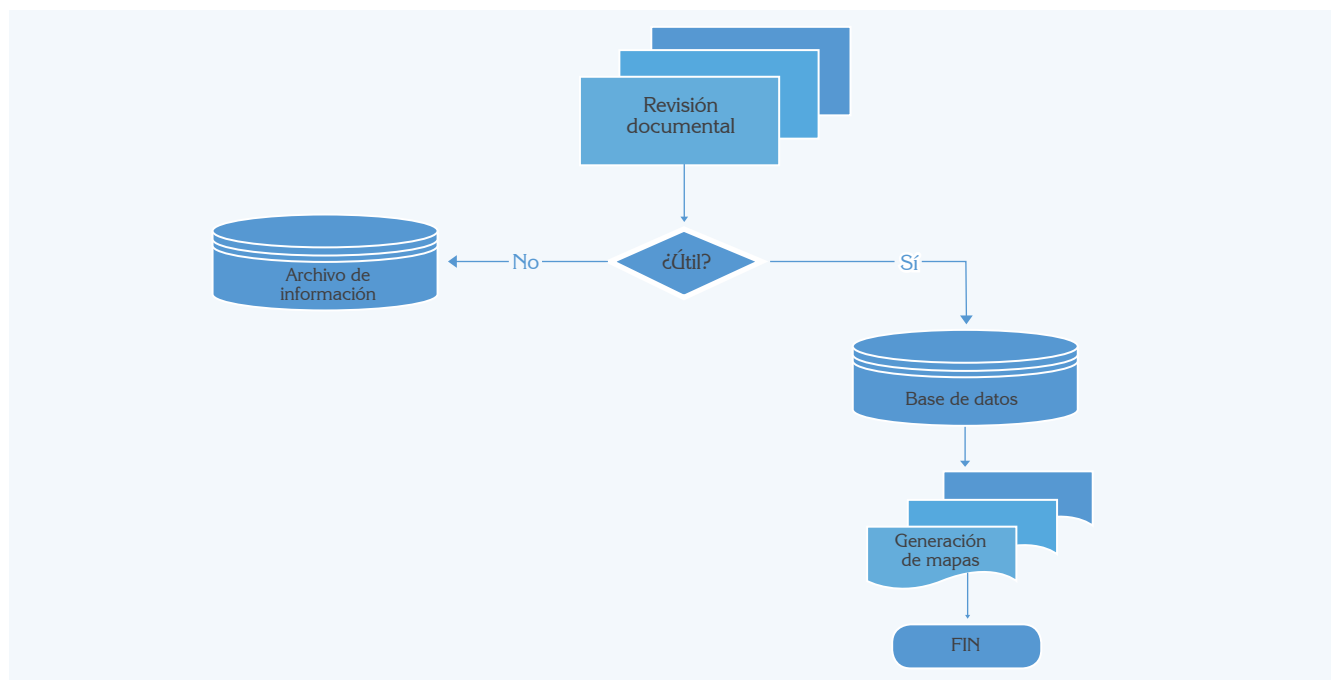


Figura 1. Metodología utilizada.

1 Estos datos fueron obtenidos del Centro de Datos de Ciencias Atmosféricas del Centro de Investigación Langley de la NASA, portal del Centro de Datos Meteorológicos de Superficie y Energía Solar (SSE), apoyado por el proyecto LaRC POWER de la NASA.

2 <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

térmicas (por ej.: Radiación global promedio, mínima y máxima sobre superficie horizontal; radiación directa promedio, mínima y máxima sobre superficie horizontal; radiación difusa promedio, mínima y máxima sobre superficie horizontal).

- Geometría solar (por ej.: duración del día solar, horas de brillo solar, declinación y ángulos horarios de puesta del sol).
- Parámetros meteorológicos (por ej.: temperatura, humedad, velocidad del viento, presión atmosférica).

En la Figura 2, se puede observar el carácter global de los datos suministrados.

Proceso de extracción de la información de interés

La información obtenida se elabora en función de la distribución espacial de la información contenida en la base de datos (1° Lat – 1° Long). Como se detalla en la Figura 2, esta información se debe considerar para abarcar el territorio del Valle del Cauca de acuerdo con su división político-administrativa.

Una vez obtenidas las celdas en las que se puede incluir toda la extensión del departamento, para cada una de ellas, se procede a la obtención de información de interés. Como ejemplo de ello, se presenta la obtención de la información del recurso solar y eólico para un punto geográfico específico del departamento (Figura 3):

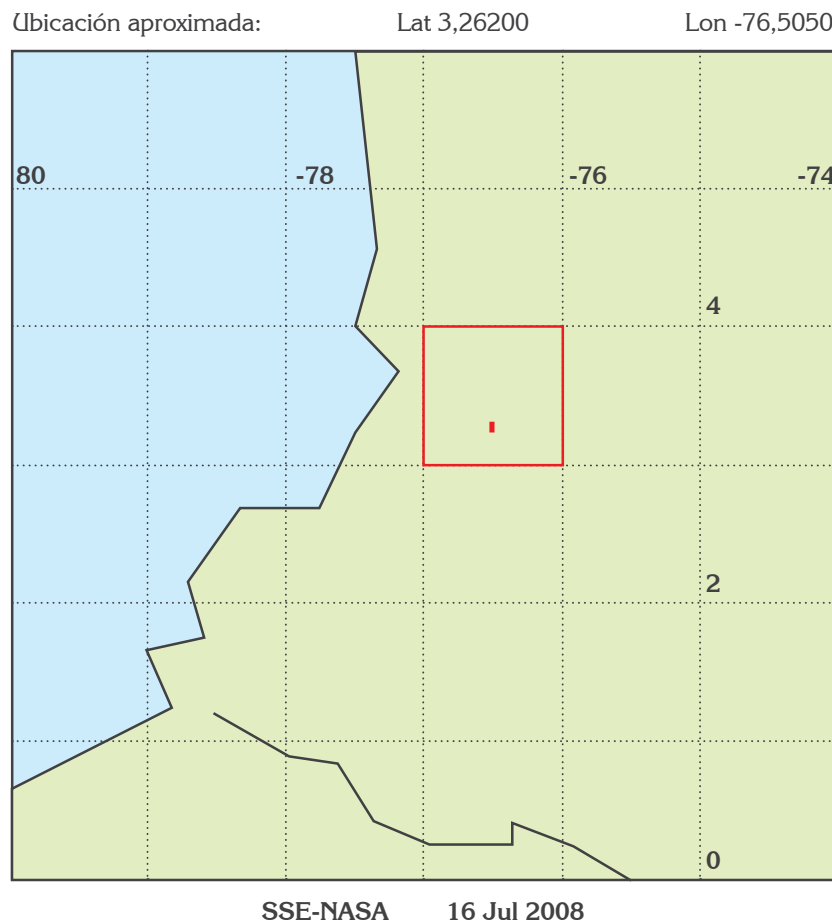


Figura 2. Organización de las celdas de información obtenibles del Centro de Datos Meteorológicos de Superficie y Energía Solar (SSE) de la NASA.

Fuente: SSE-NASA.



NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables



Latitude 3.9 / Longitude -76.5 was chosen.

Geometry Information

Northern boundary
4

Center
Latitude 3.5
Longitude -76.5

Western boundary
-77

Eastern boundary
-76

Southern boundary
3

Elevation: 1313 meters
taken from the
NASA GEOS-4
model elevation

Parameters for sizing and pointing of solar panels and for solar thermal applications

Monthly Averaged Insolation Incident on a Horizontal Surface (kWh/m²/day)

Lat 3.9 Lon -76.5	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	4.05	4.28	4.37	4.21	4.09	4.05	4.34	4.30	4.26	3.99	3.89	3.82	4.13

Meteorology (Temperature)

Monthly Averaged Air Temperature at 10 m above the Surface of the Earth (°C)

Lat 3.9 Lon -76.5	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	19.5	19.9	20.0	20.1	20.0	19.9	20.4	21.1	20.9	19.9	19.3	19.3	20.0
Minimum	17.1	17.4	17.5	17.6	17.5	17.2	17.3	17.8	17.8	17.5	17.1	17.2	17.4
Maximum	22.0	22.7	22.9	22.7	22.8	22.7	23.6	24.6	24.0	22.5	21.5	21.6	22.8

Parameter Definition

Meteorology (Wind)

Monthly Averaged Wind Speed at 50 m above the Surface of the Earth (m/s)

Lat 3.9 Lon -76.5	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
10-year Average	2.02	1.68	1.69	1.69	1.87	2.19	2.33	2.41	2.45	2.40	2.37	2.27	2.11

Minimum and Maximum Difference from Monthly Averaged Wind Speed at 50 m (%)

Lat 3.9 Lon -76.5	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
Minimum	-11	-12	-11	-11	-9	-14	-12	-13	-12	-14	-14	-14	-12
Maximum	14	20	11	16	16	12	15	17	16	18	17	15	16

It is recommended that users of these wind data review the SSE Methodology. The user may wish to correct for biases as well as local effects within the selected grid region.

All height measurements are from the soil, water, or ice/snow surface instead of "effective" surface, which is usually taken to be near the tops of vegetated canopies.

Parameter Definition Units Conversion Chart

Figura 3. Obtención de la información de interés de la base de datos del SSE de la NASA.

Fuente: SSE-NASA.

Elaboración de la capa de información geográfica para su inclusión y manipulación por parte de un sistema de información geográfica

La información obtenida se lleva a un formato de manipulación geográfica. En este sentido, es posible convertir dicha información en dos fuentes principales:

- Información cartográfica en formato vectorial
- Información cartográfica en formato raster

La información cartográfica tipo vectorial recoge la variabilidad y características de la zona geográfica

escogida mediante entidades geométricas, para cada una de las cuales dichas características son constantes. Las entidades más destacadas de dicho espacio corresponden a puntos, líneas y polígonos (Figura 4).

La información cartográfica tipo raster permite obtener información a partir de una serie de unidades mínimas denominadas celdas, las cuales contienen un único valor a pesar de que la información de la imagen raster puede contener información sobre distintas variables.

A continuación, se especifican algunas características de este tipo de información empleada en la investigación:


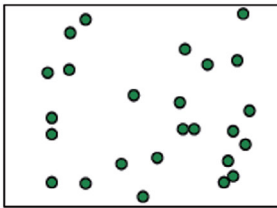




Primitiva	Entidad espacial	Representación	Atributos																					
Puntos			<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Altura</th> <th>Diámetro normal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>17,5</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>22</td> <td>45,6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>15</td> <td>27,2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>19,7</td> <td>36,1</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	ID	Altura	Diámetro normal	1	17,5	35	2	22	45,6	3	15	27,2	4	19,7	36,1	-	-	-	-	-	-
	ID	Altura	Diámetro normal																					
1	17,5	35																						
2	22	45,6																						
3	15	27,2																						
4	19,7	36,1																						
-	-	-																						
-	-	-																						
Líneas			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho máx (m)</th> <th>Calado máx (m)</th> <th>Longitud (km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>17,5</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>6.3</td> <td>22</td> <td>45,6</td> </tr> </tbody> </table>	Ancho máx (m)	Calado máx (m)	Longitud (km)	15	17,5	35	6.3	22	45,6												
	Ancho máx (m)	Calado máx (m)	Longitud (km)																					
15	17,5	35																						
6.3	22	45,6																						
Polígonos			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Superficie (km²)</th> <th>Profundidad máx (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>31494</td> <td>1637</td> </tr> </tbody> </table>	Superficie (km²)	Profundidad máx (m)	31494	1637																	
Superficie (km²)	Profundidad máx (m)																							
31494	1637																							

Figura 4. Información geográfica tipo vectorial.

Fuente: (Olaya, 2010).

Misión Topográfica Radar Shuttle

La Misión Topográfica Radar Shuttle (SRTM) consistió en una misión realizada alrededor del globo terráqueo con el fin de obtener un modelo digital de elevación de la esfera terrestre entre las latitudes 60°N y 57°S y generar de esta manera una completa base de cartas topográficas digitales de alta resolución de la mayor parte de la Tierra.

El sistema SRTM consiste en un radar modificado que voló a bordo de la nave Shuttle Endeavour durante los 11 días que duró la misión STS-99 de febrero de 2000. Para adquirir los datos de elevación topográfica estereoscópica, el SRTM llevaba dos reflectores de antenas de radar. Cada reflector de antena estaba separado del otro a una distancia de 60 m gracias a un mástil que extendía la anchura del Shuttle en el espacio. La técnica empleada conjuga software interferométrico con SAR (radares con anchos de banda sintéticos) en sus antenas reflectoras (Figura 5A).

Los modelos de elevación se arreglan en pixeles de 1° latitudinal por 1° longitudinal, nombrados de acuerdo a sus esquinas suroestes. La resolución de las celdas de los datos fuente es de 1 arc segundo sobre Estados Unidos; y en el resto del mundo, 3 arc segundo. La Misión Topográfica Radar Shuttle es un proyecto internacional entre la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA) y la NASA (NASA, 2015a).

ASTER GDEM

La NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón, conocido como METI, diseñaron un nuevo mapa topográfico digital: **ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model)**, creado a partir de casi 1,3 millones de imágenes estéreo recogidas por el radiómetro japonés llamado **ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)**. Este radiómetro es uno de los cinco instrumentos de observación de la Tierra que viajan a bordo del satélite americano Terra, lanzado en diciembre de 1999. ASTER recoge las imágenes del espectro visible y también las regiones de longitud de onda de las radiaciones térmicas infrarrojas, con resoluciones espaciales que van desde unos 15 a 90 metros.

Hasta ahora, el mapa topográfico más completo era el ofrecido por la Misión Topográfica Radar Shuttle de la NASA, que abarcaba el 80% de la superficie de la Tierra. Sin embargo, los resultados de la misión no fueron muy precisos en el terreno escarpado y en algunas zonas desérticas. La SRTM cubría el 80% de la superficie de la Tierra, entre los 60 grados de latitud Norte y los 57 grados de latitud Sur. En cambio, ASTER GDEM amplía la cobertura a un 99%, entre los 83 grados de latitud Norte y los 83 grados de latitud Sur. Lo que está haciendo actualmente la NASA es trabajar para combinar los datos de ASTER con los de la SRTM y otras fuentes y así poder producir un

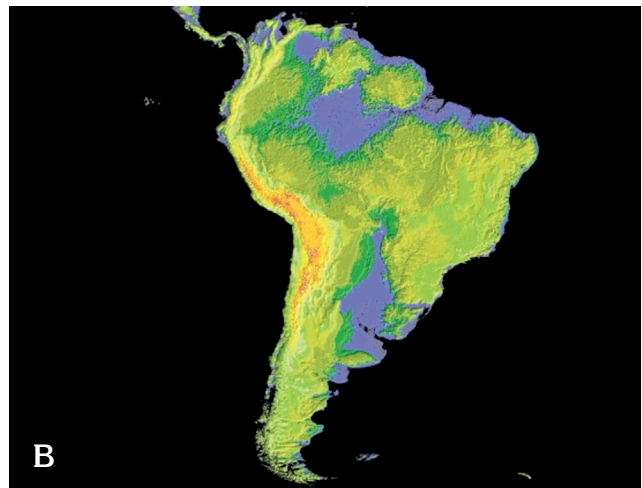


Figura 5. Información geográfica tipo raster: (A) SRTM; (B) ASTER GDEM.

Fuente: (A) NASA (2015); (B) Japan Space Systems (2011).

mejor mapa topográfico mundial. Este nuevo conjunto único de datos globales se encuentra disponible en línea sin costo alguno (Japan Space Systems, 2011). Será útil para aquellos usuarios e investigadores que deseen disponer de información sobre la elevación del terreno. Los puntos de elevación del terreno han sido medidos cada 30 metros (Figura 5B).

La disposición de los datos encontrados y las capas geográficas previamente seleccionadas para la elaboración de la información base correspondiente a la división político-administrativa del departamento del Valle del Cauca hacen que la selección de los datos para la elaboración del mapa de recursos renovables se base en la construcción de una capa vectorial para la inclusión de los recursos renovables solar y eólico.

Fuente del recurso hídrico

Para la recopilación de datos del potencial de generación con fuente hídrica, el estudio se basó en dos grupos de datos. Los primeros corresponden a los caudales medidos en tiempo real en las estaciones limnigráficas activas de la Corporación Regional Autónoma del Valle del Cauca (CVC), suministrados por su grupo de Sistemas de Información.

Sin embargo, el número de estaciones activas actualmente no cubren el 50% de las cuencas hidrográficas del Valle del Cauca, lo que nos hizo remitir a un segundo grupo de datos tomados de un estudio exploratorio realizado por la CVC y el Grupo de Gestión y Apoyo a la Ingeniería Agrícola de Colombia (GAIACOL) en 2007.

Este estudio, llamado *Caudales específicos para las cuencas en el departamento del Valle del Cauca*, se centró en determinar los caudales específicos y curvas de duración del caudal de las cuencas de la vertiente del río Cauca³ (CVC/GAIACOL, 2007).

La metodología utilizada en su momento por los autores del estudio se incluye de forma literal en el presente documento para referencia del modo como en su momento se obtuvieron los datos aquí reflejados.

Metodología para la determinación de los caudales específicos para las cuencas en el departamento del Valle del Cauca (CVC/GAIACOL, 2007)

Identificación de cuencas instrumentadas y no instrumentadas

Se identificaron y localizaron cartográficamente todas las estaciones hidrométricas en el Valle del Cauca, con el propósito de determinar las cuencas con registro de información de caudal.

Se observó que algunas cuencas están instrumentadas. Sin embargo, los caudales registrados en las estaciones no son representativos del comportamiento hidrológico real de las mismas. Por lo tanto, estas cuencas se clasificaron como no instrumentadas para el desarrollo del presente estudio.

³ El estudio CVC/GAIACOL identifica dos grandes vertientes para el Valle del Cauca: Litoral Pacífico y río Cauca, siendo la segunda el objetivo del mismo.

Cuencas instrumentadas: Amaime, Bolo, Bugalagrande, Cali, Calima, Claro, Dagua, Guadalajara, Jamundí, La Paila, La Vieja, Lili – Meléndez – Cañaveralejo, Mediacanoa, Obando, Pescador, Riofrío, Tuluá y Yumbo.

Cuencas no instrumentadas: Arroyohondo, El Cerrito, Desbaratado, Fraile, Guabas, Las Cañas, Los Micos, Morales, Mulaló, Piedras, Sabaletas, San Pedro, Sonso, Vijes y Yotoco.

Información utilizada

Veinte (20) series de caudal diario registrado en las estaciones hidrométricas denominadas Amaime, Los Minchos, El Placer, Bocatoma, La Trojita, La Luisa, Bendiciones, El Vergel, Potrerito, La Sorpresa, Cartago, Pasoancho-Lili, Calle Quinta, El Jardín, Mediacanoa, Obando, La Florida, Salónica, Mateguadua y Pasoancho-Yumbo.

Los datos de estas estaciones fueron evaluados por el grupo de Recursos Hídricos en el año 2007 mediante la realización de un análisis estadístico.

- Dieciséis (16) series de caudal diario generado con el modelo hidrológico lluvia – escorrentía HBV.
- Cartografía base y límites de las áreas de drenaje correspondientes a las cuencas de primer y tercer orden.
- Precipitación media mensual y anual para cada una de las áreas de drenaje correspondientes a las cuencas de primer y tercer orden.

Cálculo de caudales específicos

El caudal específico se refiere a la cantidad de escorrentía que se produce en un punto dado de un río por unidad de superficie o área relativa a dicho punto; representa el caudal aportado por cada hectárea de cuenca o área de drenaje.

Con la información de caudales medios mensuales multianuales registrada en las estaciones hidrométricas y la generada con el modelo hidrológico lluvia – escorrentía HBV, se calcularon los caudales específicos medios mensuales y anuales para cada una de las áreas de drenaje correspondientes a las cuencas objeto del presente estudio, aplicando para ello un factor de área y precipitación.

Adicionalmente, se construyeron las curvas de duración de caudales diarios, a partir de las cuales se determinaron los caudales específicos asociados a varios porcentajes de permanencia en el tiempo para cada una de las áreas de drenaje correspondientes a las cuencas objeto del presente estudio.

Fuente de la biomasa

La fuente principal de los datos del potencial energético de biomasa fue el *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia* (UPME/Ideam/Colciencias, 2010)⁴.

El Atlas se centra en el concepto de biomasa residual, el cual la define como los subproductos que se derivan de las transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica.

Asimismo, el Atlas recopila y consolida información sobre el área cultivada, la población pecuaria y el volumen de residuos sólidos orgánicos urbanos; y muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica a nivel nacional, de 96 muestras de campo tomadas en 2008.

En resumen, el Atlas muestra el potencial energético anual por unidad de área a nivel departamental y municipal de la biomasa residual, estimado mediante modelos matemáticos específicos. La Figura 6 muestra gráficamente la metodología utilizada para la elaboración del Atlas en referencia.

Los mapas que el Atlas comprende son:

1. Zonas de biomasa residual, agrupadas por características comunes de producción.
2. Localización de los cultivos a nivel municipal y departamental y área cultivada por año (ha/año).
3. Población pecuaria, número de cabezas de animales por año.
4. Cantidad de biomasa residual por fuente generadora, toneladas de residuos generados por año (t/año).
5. Potencial energético de la biomasa residual, por sector y especie, terajoules por año (TJ/año).

⁴ Según vocero de la subdirección de energía eléctrica de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), actualmente el Atlas se encuentra en proceso de actualización y se espera tener una versión actualizada a finales de 2015.

6. Rendimiento neto de energía, concentración de oferta energética por unidad de área cultivada, terajoules por hectárea y por año (TJ/ha-año).

Los datos recopilados por los investigadores se centraron en tres fuentes principales de la biomasa residual como son:

1. Sector Agrícola: Residuos agrícolas de cosecha y de procesos agroindustriales (Figura 7).

2. Sector Pecuario: Estiércol bovino, porcino y avícola (Figura 8).

3. Sector de Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos (RSOU): Residuos de plazas de mercado, centros de abastos y poda en centros urbanos (Figura 9).

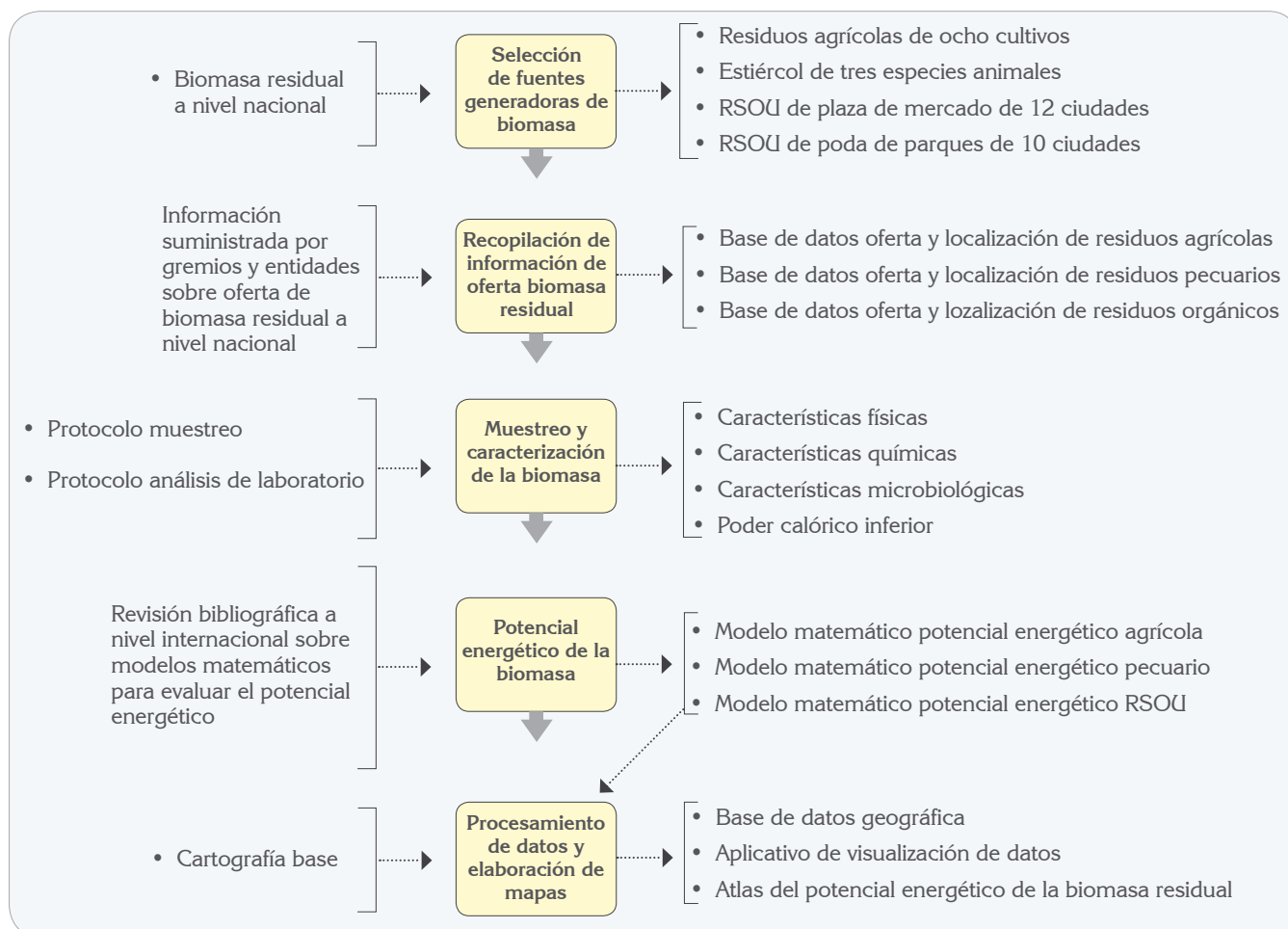


Figura 6. Metodología de elaboración del Atlas del Potencial Energético para la Biomasa Residual en Colombia.

Fuente: IPME/Ideam/Colciencias (2010).

Sector Agrícola

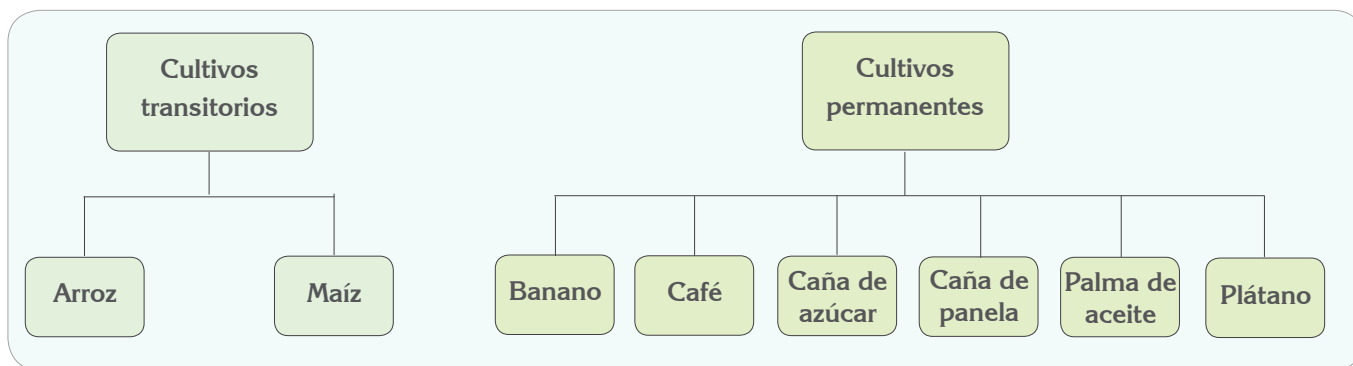


Figura 7. Cultivos generadores de biomasa residual.

Fuente: IPME/Ideam/Colciencias (2010).

Sector Pecuario

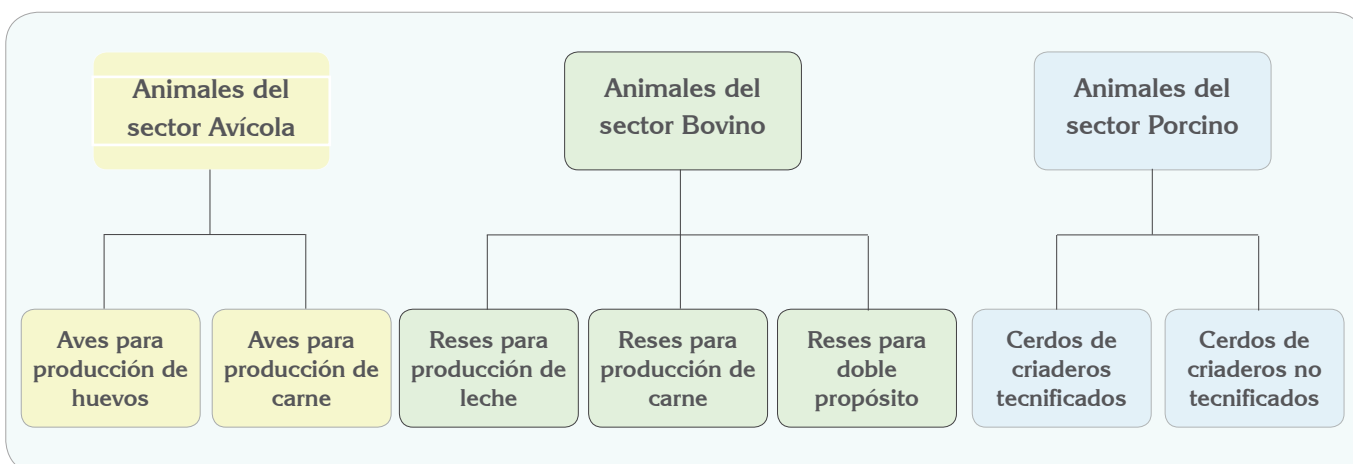


Figura 8. Animales del sector pecuario generadores de biomasa.

Fuente: IPME/Ideam/Colciencias (2010).

Sector Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos (RSOU)

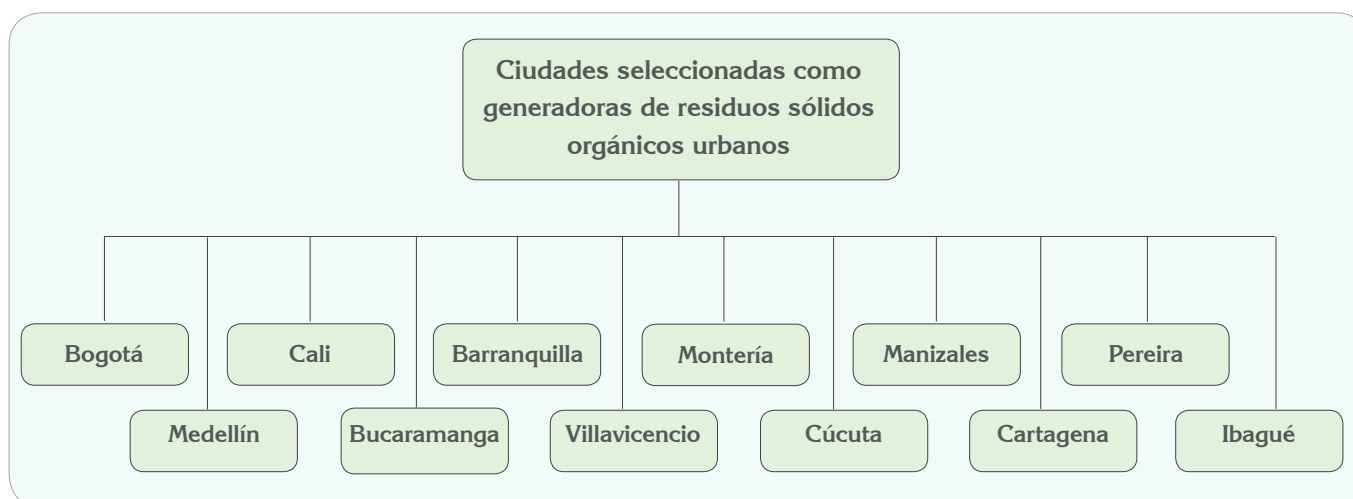


Figura 9. Ciudades generadoras de residuos.

Fuente: IPME/Ideam/Colciencias (2010).

Potencial energético con fuente renovable en el Valle del Cauca

A continuación, describiremos los criterios utilizados para la construcción de los mapas que identifican el potencial energético con fuente renovable, para aprovechamientos de pequeña y mediana escala en el departamento del Valle del Cauca.

Lo primero es aclarar que, excepto para el mapa de potencial de generación hídrica del departamento – dividido por cuencas hidrográficas – se usó como referencia la división política del departamento en municipios para la presentación de los datos, tomando como referencia las consultas más comunes que le hacen al grupo de Producción Sostenible de la CVC.

Considerando que es el primer ejercicio realizado por una entidad departamental en esta materia, la toma de datos se concentró en fuentes fiables y validadas por otras instancias, evitando caer en la especulación sobre datos aún en proceso de comprobación o con rangos de aplicación limitados en el tiempo.

Identificación del potencial de generación energética con fuente solar y eólica

Estos datos fueron obtenidos del sitio web del Centro de Datos Meteorológicos de Superficie y Energía Solar

(SSE) del Centro de Investigación de la NASA en Langley, Virginia, Estados Unidos.

Uno de los puntos principales que nos ayudó en la selección de esta fuente de datos es la cantidad de años que cubre la información estadística que comprende el período solar 1983–2005.

Una de las debilidades de la información es que son mediciones realizadas desde satélites con rangos de incertidumbre entre 6–12% (NASA, 2015b). Sin embargo, en la actualidad la NASA está trabajando en la reducción de la incertidumbre al comparar los datos recopilados desde el satélite con estaciones en tierra que permiten el ajuste de dichas mediciones, como se muestran en la Figura 10.

La identificación del potencial energético para sistemas con fuente solar se realizó tomando como referencia el valor promedio anual de radiación solar en kWh/m²-día, que recibe una determinada ubicación sobre el departamento del Valle del Cauca.

El punto de referencia de cada municipio fue la geolocalización del casco urbano, coordenadas de latitud, longitud y altitud, y dependiendo de la extensión del municipio o la variación de altitud (+/-500 m), se definía un segundo punto de control para identificar la variación en dicha magnitud.

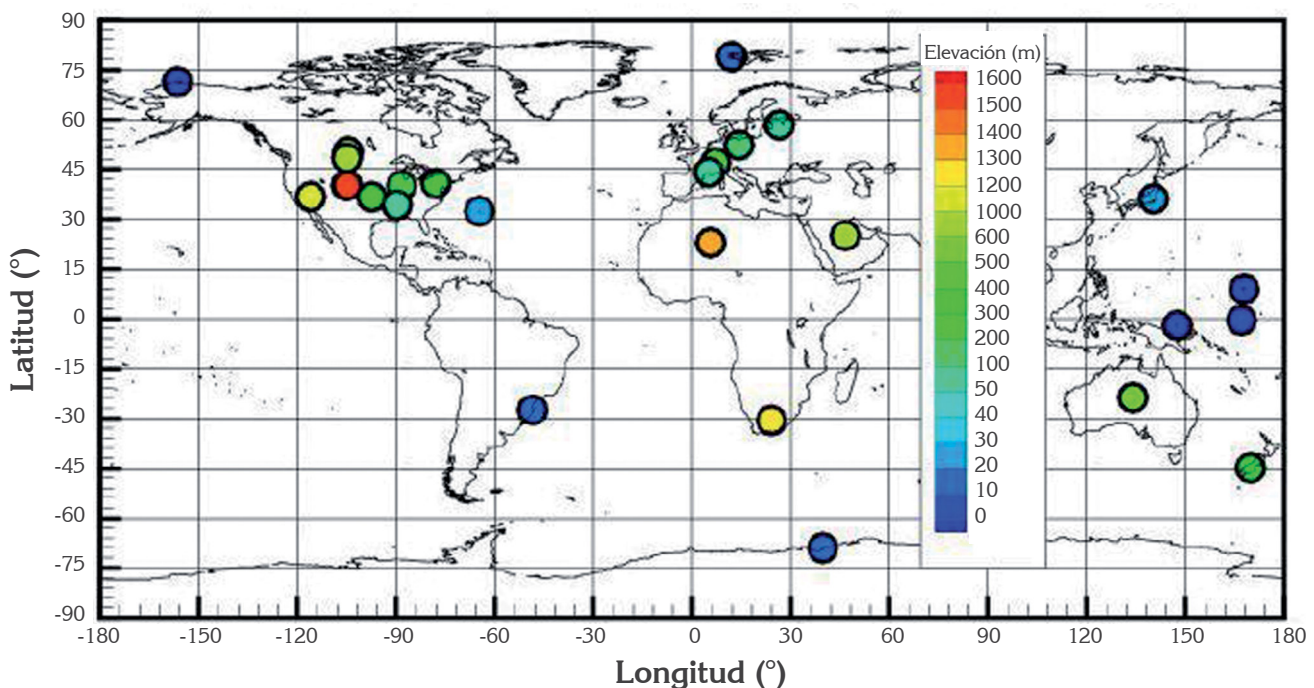


Figura 10. Localización de estaciones en tierra de la línea base de la red de radiación superficial con cámaras de visión hacia arriba. Fuente: NASA (2015b).

Con esta estrategia, pudimos identificar que el Valle del Cauca posee cuatro zonas principales de radiación solar con rango de valores entre 3,9 kWh/m²-día y 4,65 kWh/m²-día (Figura 11).

1. Pacífico Oeste: Corresponde al Distrito de Buenaventura desde el Litoral Pacífico hasta el inicio de la cuenca media de sus ríos, que vienen desde la cordillera Occidental hacia el océano Pacífico, con un valor tipo entre 3,9 kWh/m²-día y 4,21 kWh/m²-día, siendo la zona de menor radiación promedio anual incidente.
2. Centro-Sur: Comprende todos los municipios que limitan con el departamento del Cauca, excepto el Distrito de Buenaventura, hasta los límites superiores de Calima-El Darién, Yotoco, San Pedro

y Guadalajara de Buga,⁵ con un valor de radiación promedio anual de 4,14 kWh/m²-día.

3. Oriente: Comprende los municipios de Alcalá, Ansermanuevo, Caicedonia, Cartago, Obando, Sevilla, Ulloa y las partes altas de Tuluá y Guadalajara de Buga,⁶ con valores de radiación promedio anual entre 4,20 kWh/m² y 4,6 kWh/m²-día, siendo la zona de mayor radiación anual promedio.
4. Centro-Norte: Comprende los municipios desde el límite inferior de Riofrío y Tuluá hacia el norte, excepto los incluidos en la región Oriente. Estos municipios presentan el nivel más bajo de radiación con un estimado promedio anual de 3,9 kWh/m²-día.

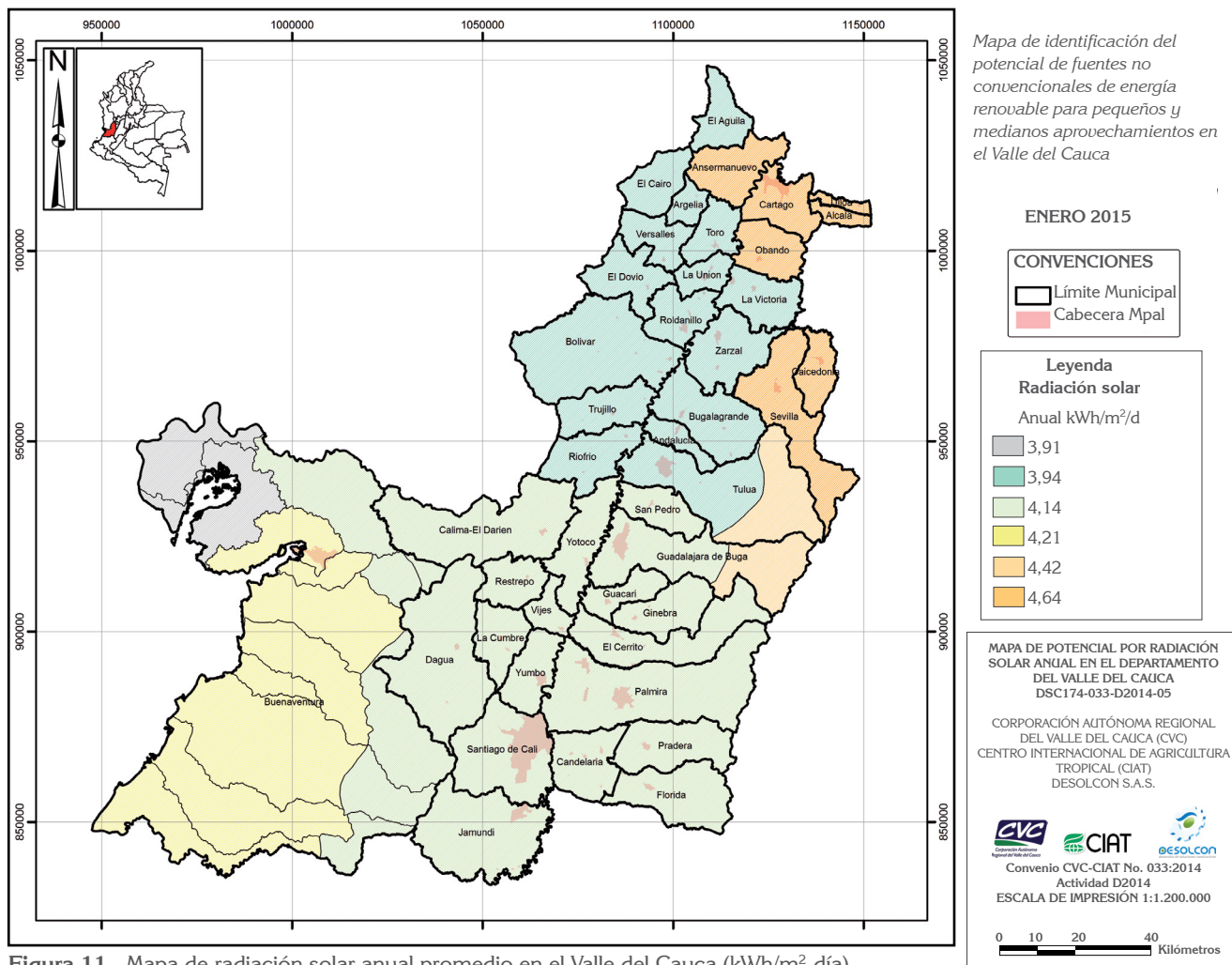


Figura 11. Mapa de radiación solar anual promedio en el Valle del Cauca (kWh/m²-día).

⁵ Guadalajara de Buga en zonas con altitud inferior a los 2.000 m.

⁶ Altitudes entre los 2.500 y 3.500 m.

Para la fuente eólica, se presenta como una medida del potencial de generación la velocidad de viento en m/s. En este caso, los datos obtenidos muestran un potencial muy bajo con esta fuente renovable, con velocidades promedio entre 1,5 y 1,8 m/s.

Sin embargo, quedan interrogantes sobre áreas específicas de los municipios de Dagua, Calima-El Darién, Vijes y Roldanillo, donde estudios independientes con periodicidad limitada han encontrado velocidades superiores al mínimo aceptable⁷ para pensar en el aprovechamiento de esta fuente (Figura 12).

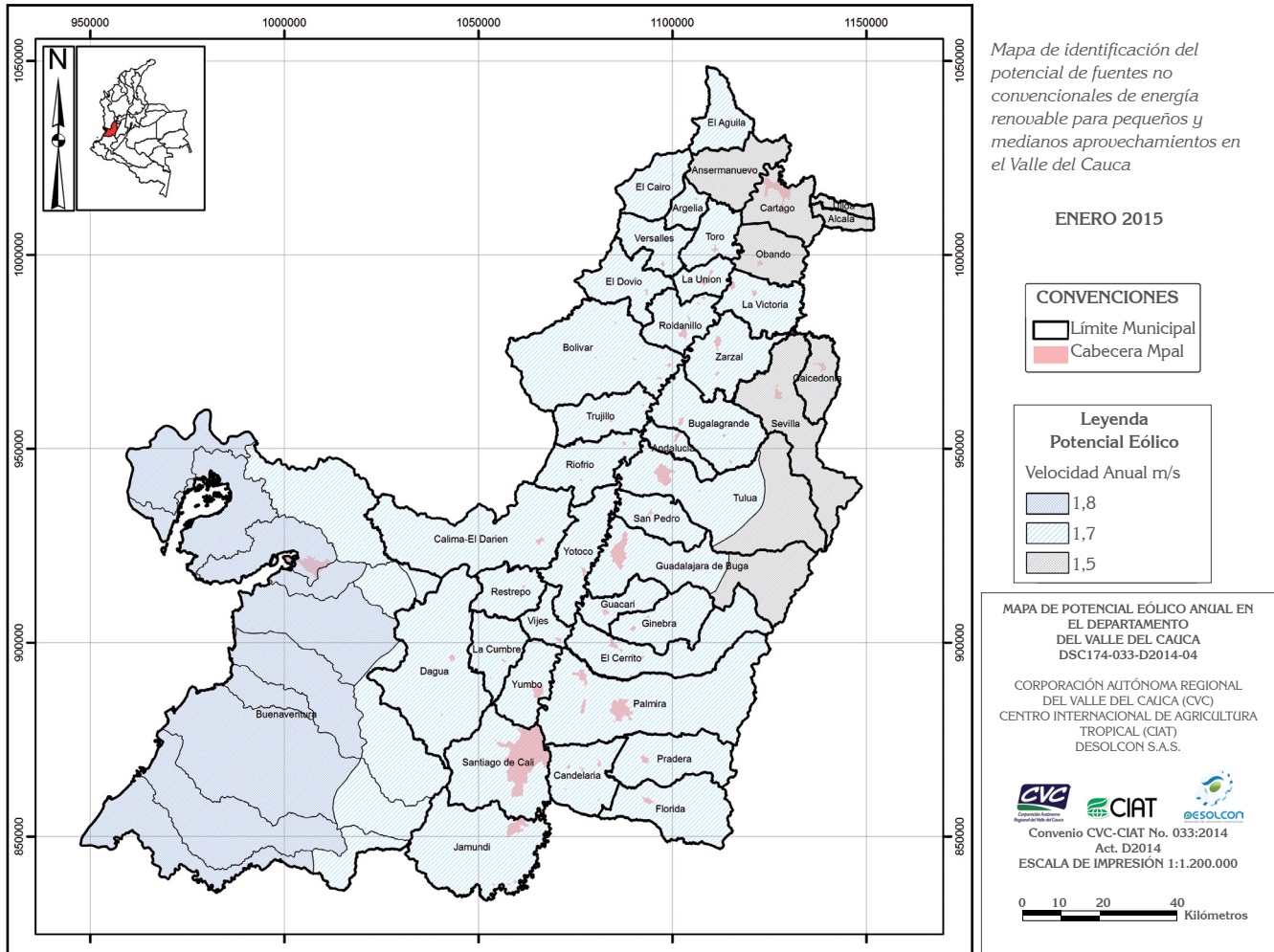


Figura 12. Mapa del potencial de generación con fuente eólica en el departamento del Valle del Cauca (m/s).

Identificación del potencial de generación energética con fuente hídrica

Si bien la generación de energía con fuente hídrica requiere básicamente de dos datos principales como son los caudales máximos, mínimos, promedio y la diferencia de alturas entre el punto de toma de dicho caudal y el eje de succión de las turbinas (INEA, 1997), se escogió mostrar el dato de caudales en m³/s, dado que en pequeños y medianos aprovechamientos es muy sencillo para el usuario medir in situ este valor.

La información de caudales está muy limitada, dado que muchas estaciones se encuentran inactivas o se centran en la medición de niveles de precipitación

y otros datos meteorológicos. En esta oportunidad, se tomó la información existente en el catálogo de la CVC con datos actualizados a diciembre de 2013 y se complementó la información con el resultado de un estudio estadístico realizado en 2007 por la CVC con el Grupo de Gestión y Apoyo a la Ingeniería Agrícola de Colombia (GAIACOL).

Los datos recopilados dan un cubrimiento de aproximadamente el 45% de las cuencas del

⁷ Si bien las tecnologías actuales nos ofrecen turbinas eólicas con velocidades de arranque de hasta 2 m/s, se considera que el mínimo aceptable para pensar en sistemas rentables con fuente eólica debería ser de 4 m/s.

departamento, permitiéndonos identificar las zonas de nula cobertura actual (Figura 13).

Los datos de caudal mostrados son útiles para una aproximación inicial a un potencial de generación para

aprovechamientos con embalse o al filo de agua o de paso en pequeñas centrales hidroeléctricas (Potencia nominal inferior a 20 MW) (Figura 14).

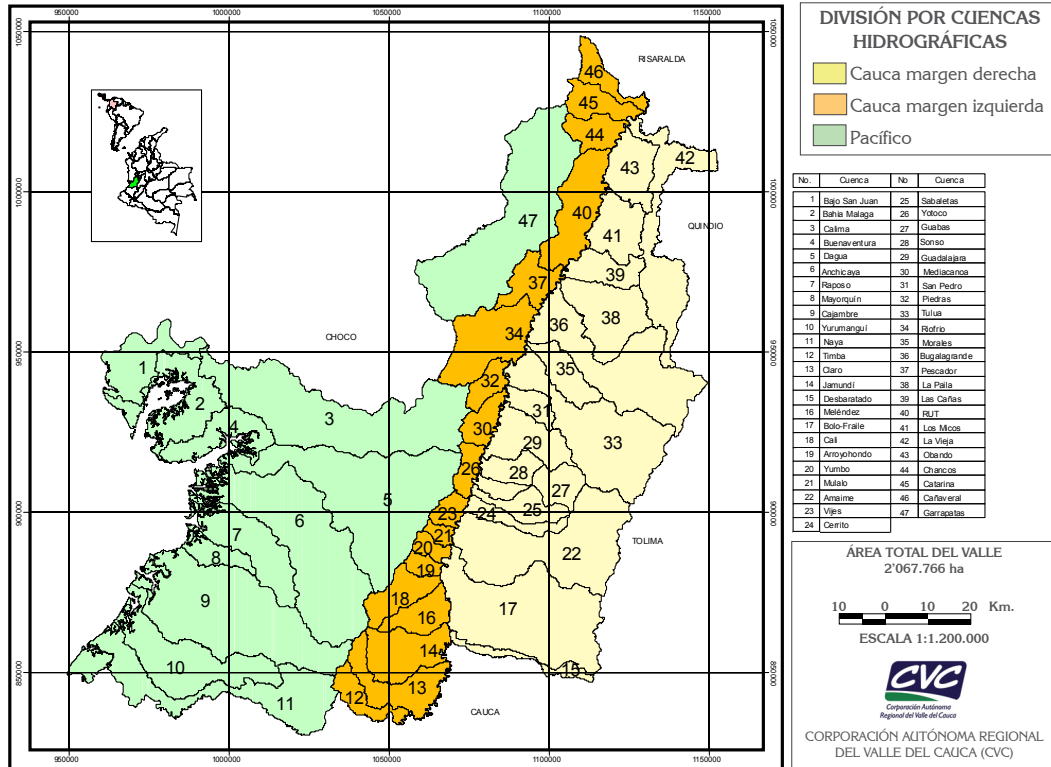


Figura 13. Cuencas hidrográficas del Valle del Cauca.

Fuente: (CVC/GAIACOL, 2007).

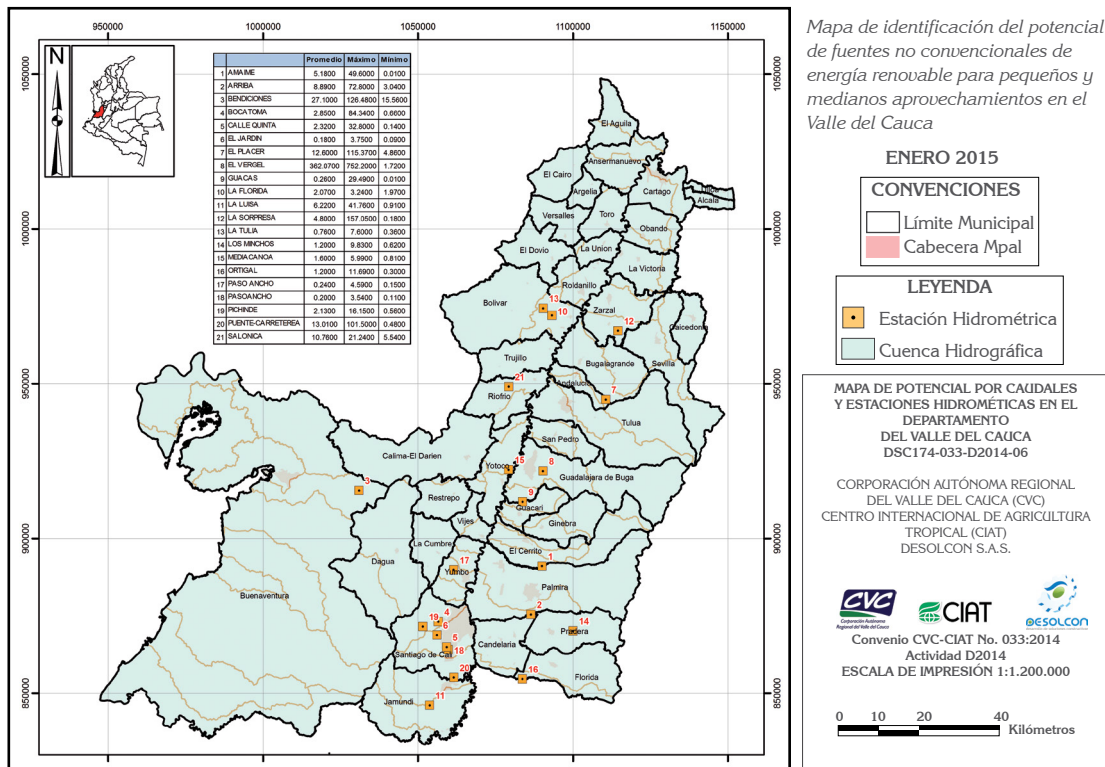


Figura 14. Mapa de potencial de generación energética con fuente hídrica, caudal promedio anual (m³/s).

Identificación del potencial de generación energética con biomasa residual

El potencial energético se enfoca en los desechos orgánicos producidos por la actividad agrícola y pecuaria del departamento, en un intento de no afectar la seguridad alimentaria del país, ni convertir esta herramienta en un promotor del aprovechamiento del suelo para la producción de energéticos primarios, que si bien no está penalizado por la legislación colombiana, sí podría poner en grave riesgo la seguridad alimentaria de la nación.

La fuente principal de los datos recopilados son el *Atlas de Potencial Energético de Biomasa residual en Colombia* (UPME/Ideam/Colciencias, 2010), tomando información suministrada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y de fuentes de datos de diversos gremios del sector.

El potencial energético de la biomasa residual no es más que una medida del producto del poder calorífico interior de las fuentes energéticas estudiadas por la producción anual de residuos de dichos recursos anuales.

Este punto generó un obstáculo significativo para este proyecto, dado que si bien la metodología de cálculo del potencial está definida, la información actualizada para el período comprendido entre 2012–2014 se encuentra en período de revisión por parte del grupo de trabajo de la UPME y del MADR con el objetivo de publicar una versión actualizada de dicho mapa.

Por esta razón, se decidió presentar como referencia las áreas cultivadas a 2013 de siete de los ocho cultivos que utilizó la UPME para desarrollar el *Atlas de Potencial Energético de Biomasa Residual en Colombia*, como fueron:

1. Arroz
2. Banano
3. Maíz
4. Café
5. Caña de azúcar
6. Caña panelera
7. Plátano

Excluyendo los datos de cultivos de palma de aceite, cuya presencia en el departamento no es significativa.

Los datos de la producción agrícola de estos cultivos fueron suministrados por el MADR, a través de la plataforma Agronet (www.agronet.gov.co)

Para el mapa de potencial energético de biomasa residual producto del estiércol pecuario, se tomaron los datos del Atlas, según el rango de potencial energético calculado y publicado por la UPME en 2010 en el Atlas nacional.

Todos los rangos del potencial se presentan en terajoules/año (TJ/año) y están actualizados hasta el año 2010 (Figuras 15 a 24).

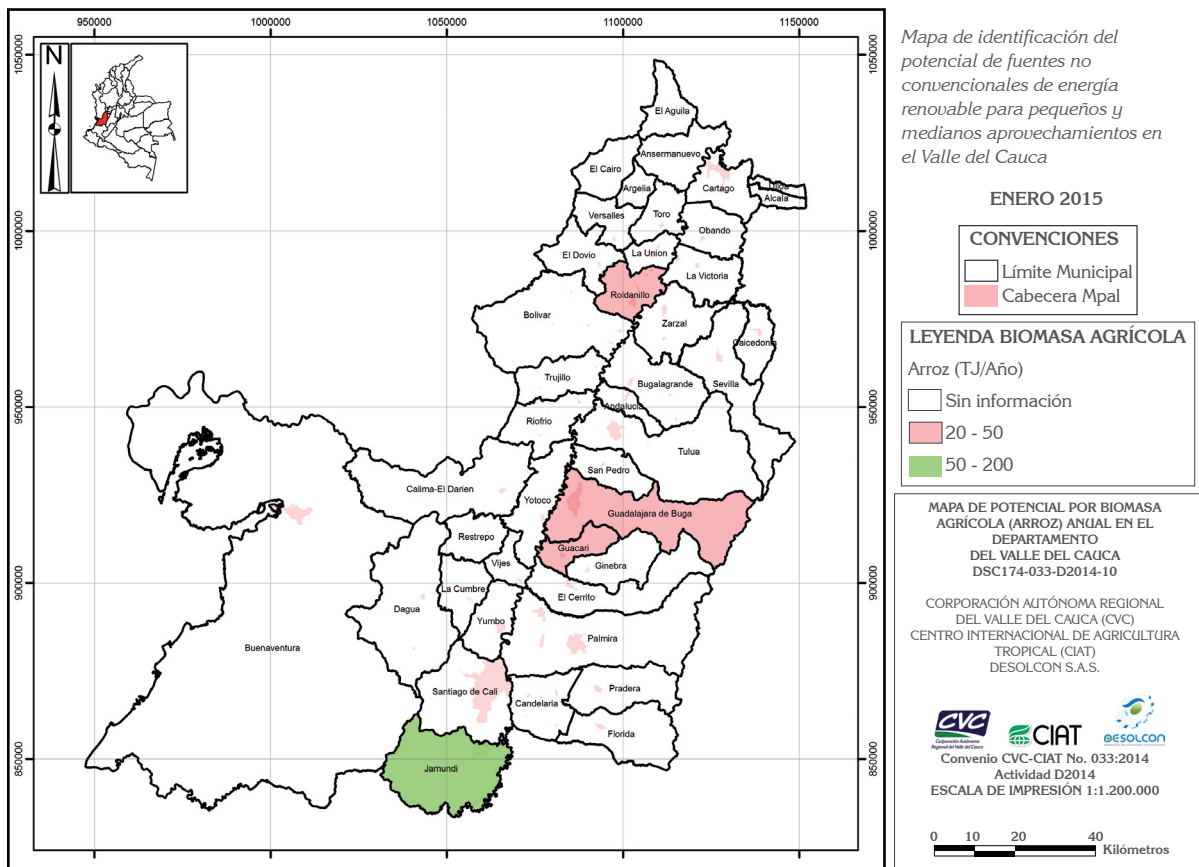


Figura 15. Mapa de potencial energético biomasa residual de cultivos de arroz (TJ/año).

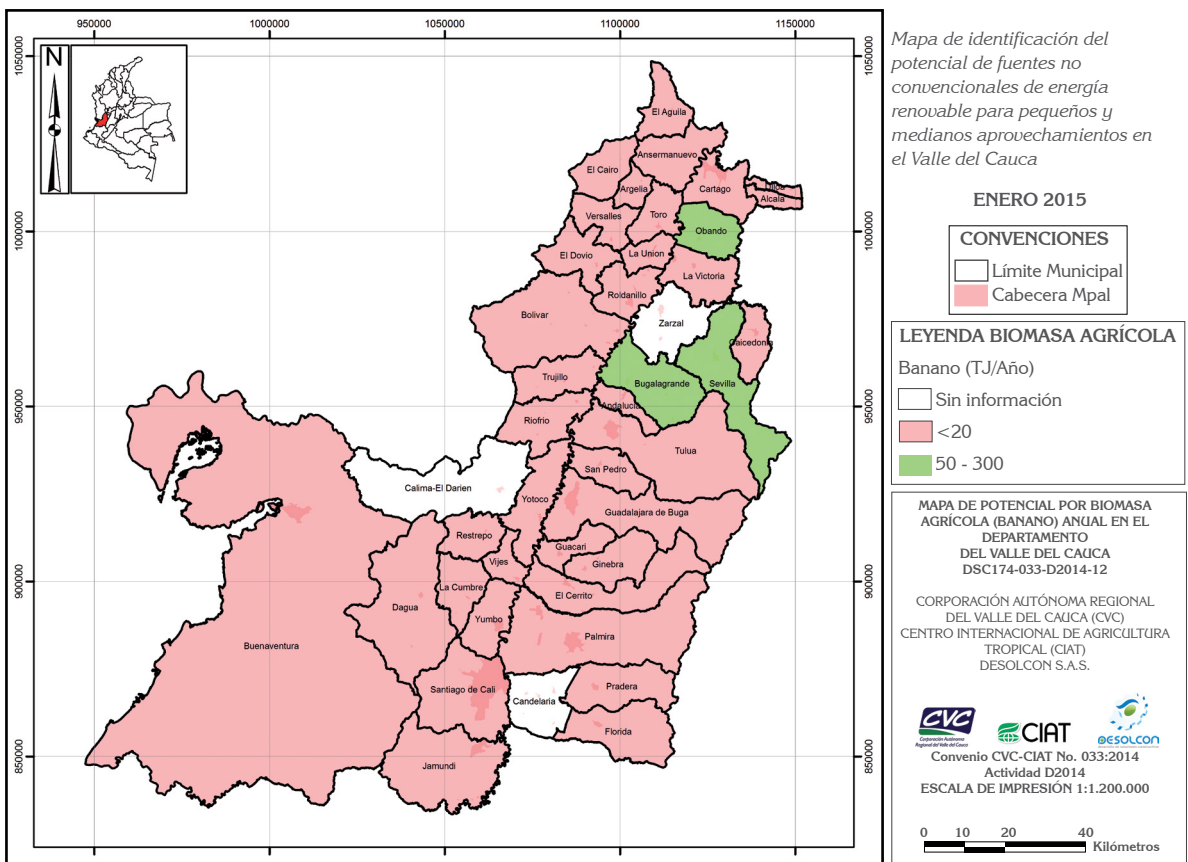


Figura 16. Mapa de potencial energético biomasa residual de cultivos de banano (TJ/año).

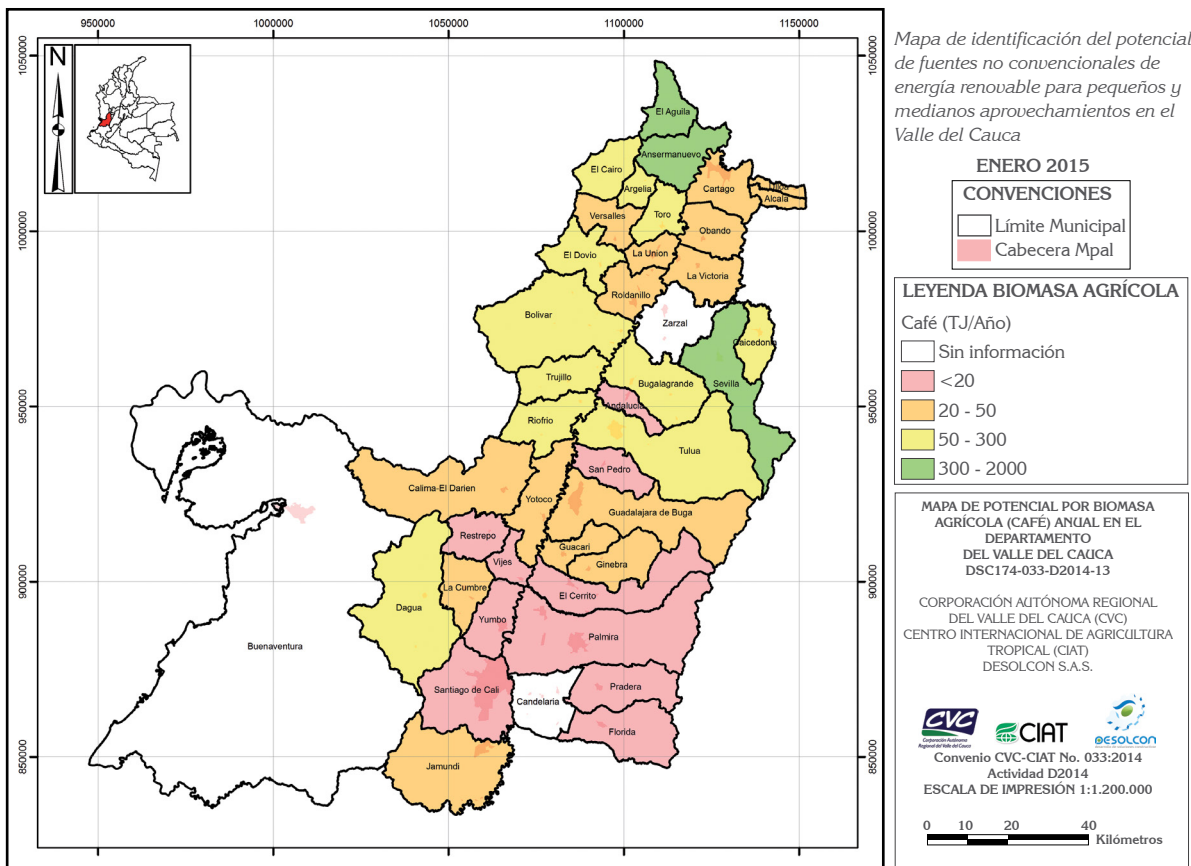


Figura 17. Mapa de potencial energético biomasa residual de cultivos de café (TJ/año).

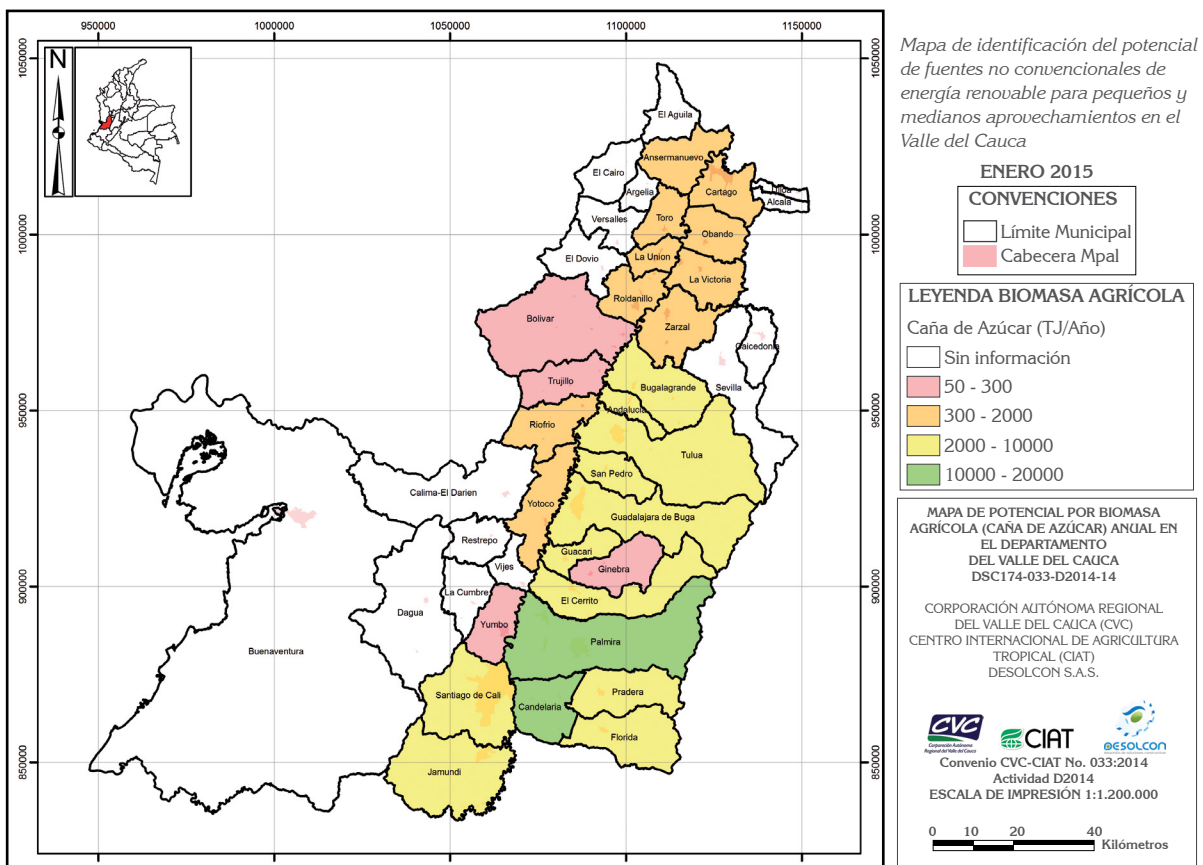


Figura 18. Mapa de potencial energético biomasa residual cultivo caña de azúcar (TJ/año).

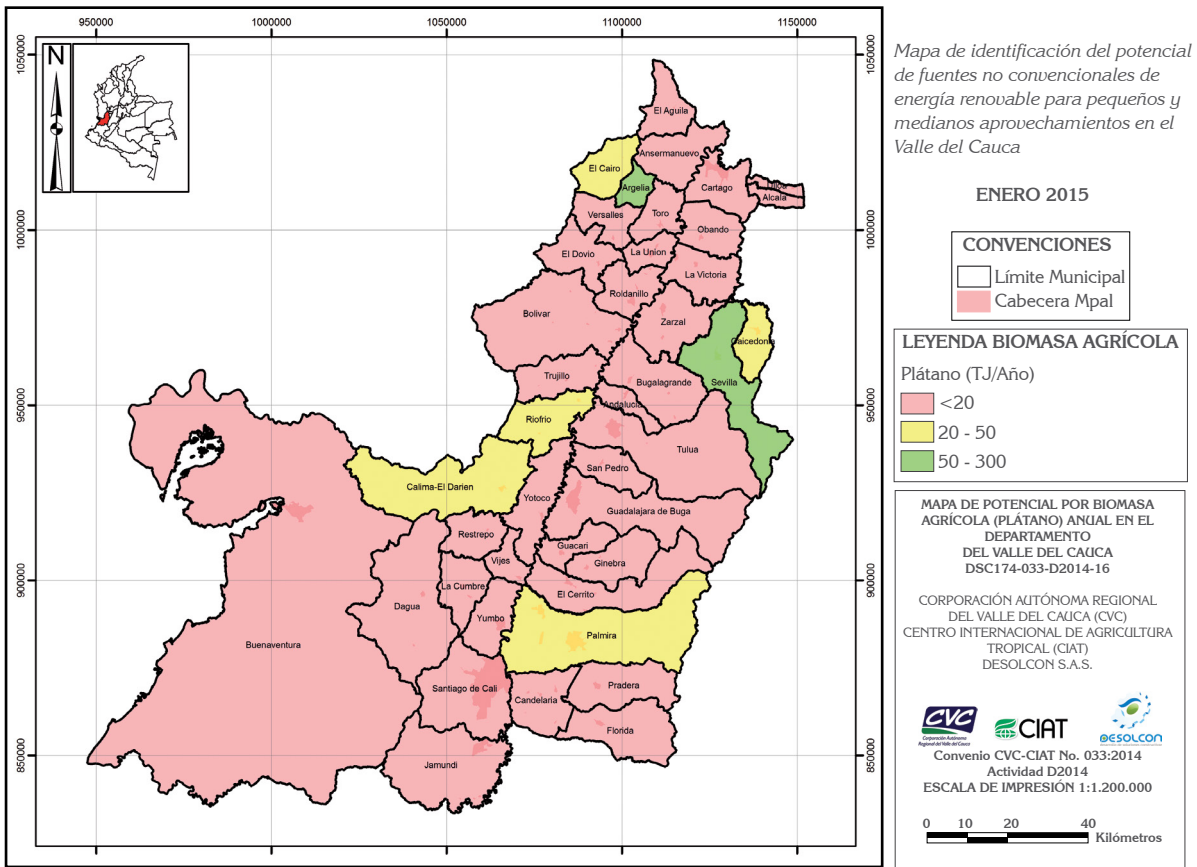


Figura 21. Mapa de potencial energético de biomasa residual cultivos de plátano (TJ/año).

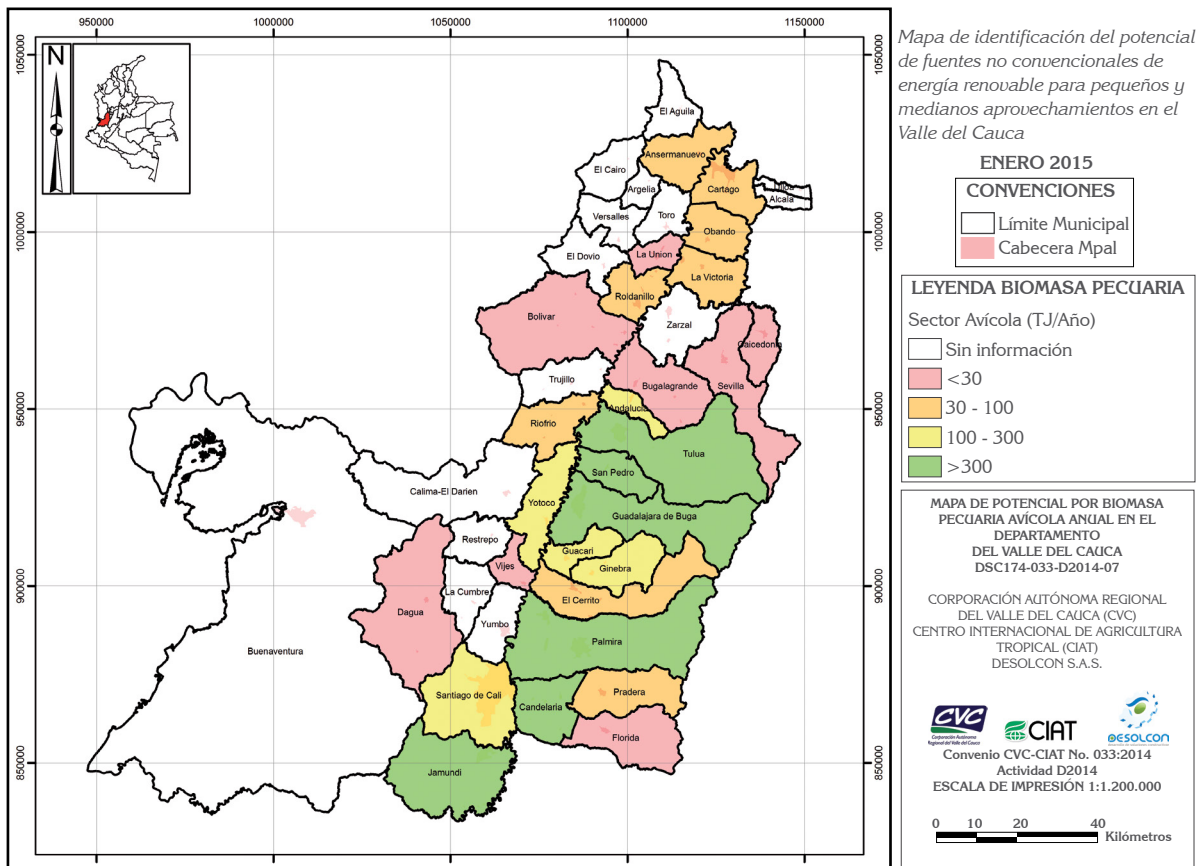


Figura 22. Mapa de potencial energético biomasa residual sector Avícola (TJ/año).

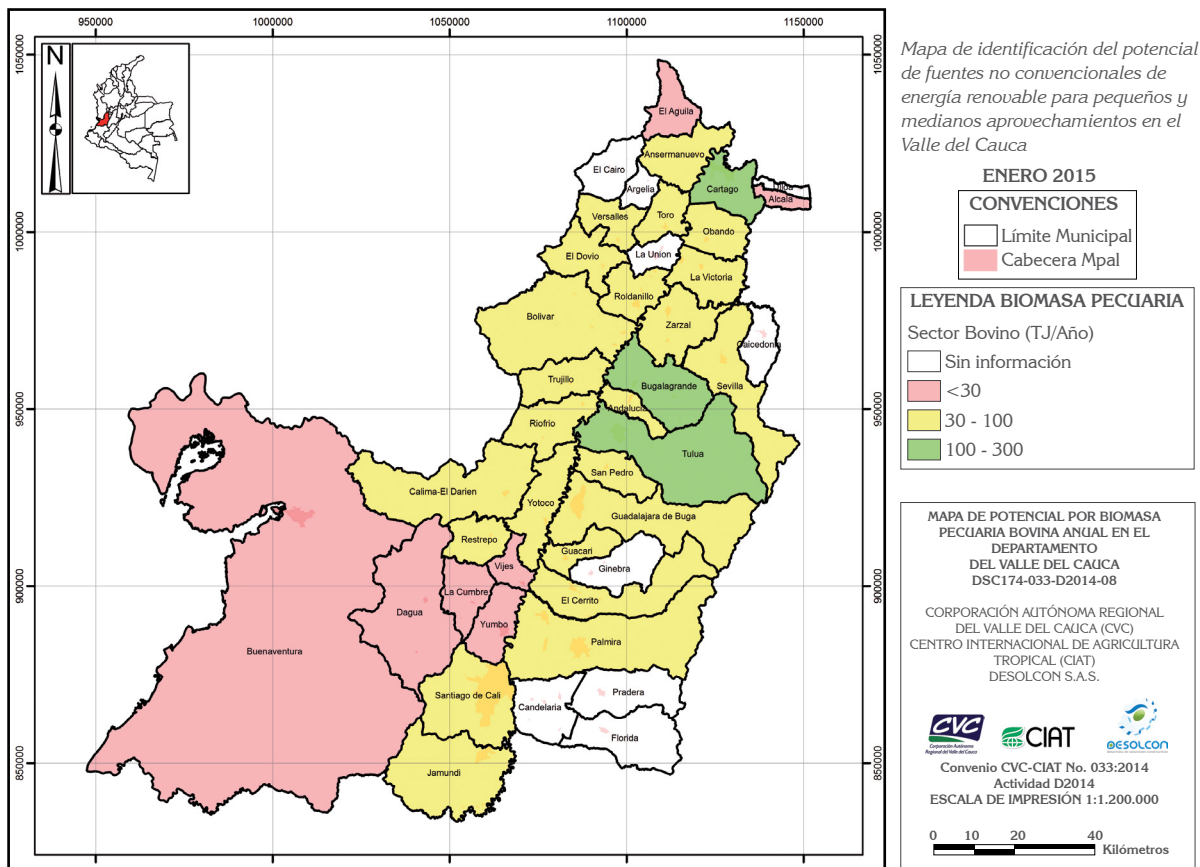


Figura 23. Mapa de potencial energético biomasa residual sector Bovino (TJ/año).

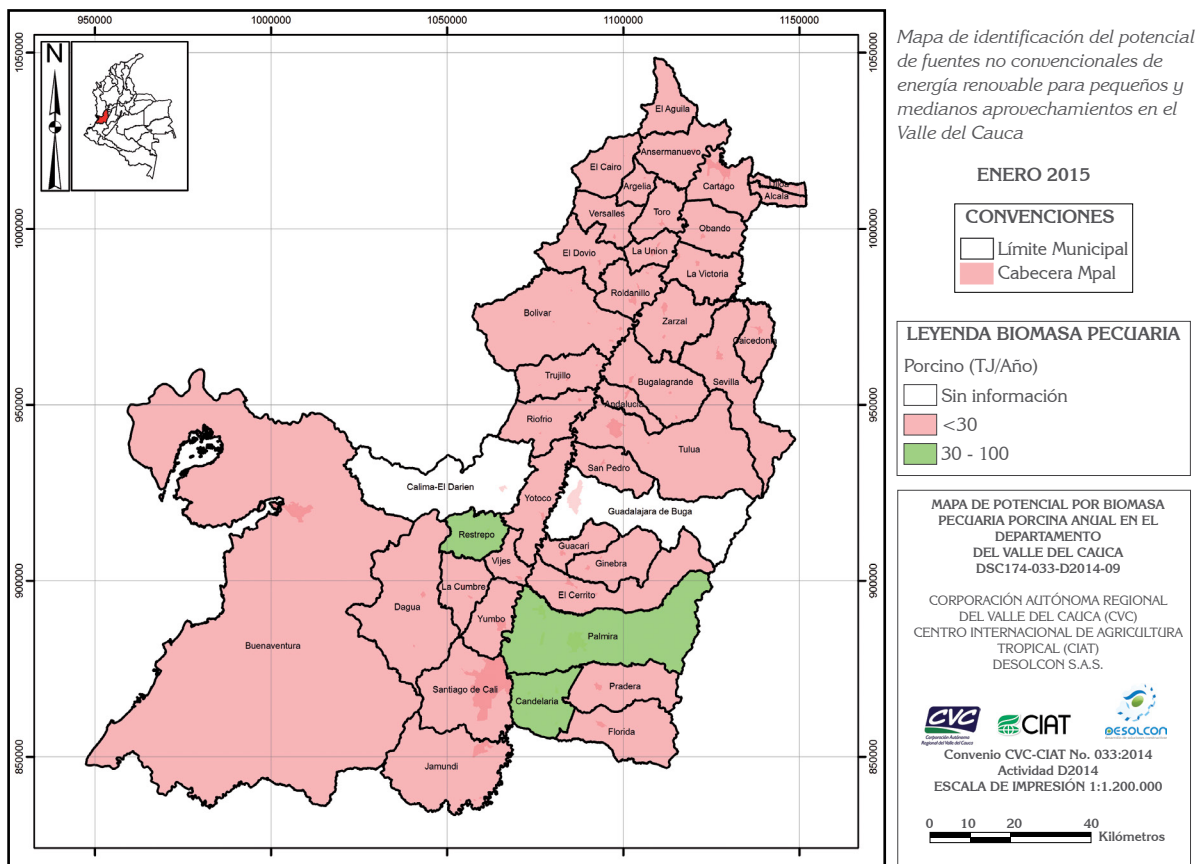


Figura 24. Mapa de potencial energético biomasa residual sector Porcino (TJ/año).

Recomendaciones y conclusiones

La privilegiada ubicación del departamento del Valle del Cauca ofrece un gran potencial de generación con fuente renovable, especialmente con los recursos hídricos, solar y biomasa. La generación eólica no tiene un gran potencial si miramos el departamento como un todo, e incluso a nivel municipal. Sin embargo, existen sitios específicos que requieren una mayor atención y deberían inscribirse en un plan regional de captura de datos para definir su potencial real.

Los resultados de la identificación del potencial energético con fuente renovable abren las puertas al diseño de planes concretos para cubrir las necesidades energéticas de las zonas no interconectadas del departamento, como son las partes altas de las cordilleras Occidental y Central, así como toda la zona costera del departamento.

Otro de los beneficios identificados, especialmente con el potencial de biomasa residual, es la posibilidad de desarrollar planes de acción concertados entre la CVC y autoridades locales para impulsar la generación de biogás para cocinas residenciales, a pequeña escala, reduciendo la presión sobre el bosque y la consecuente degradación de los suelos, por reducción del consumo de leña para actividades agrícolas y del hogar en las zonas rurales.

Esta herramienta no debe convertirse en un objeto de colección del catálogo de la CVC; por el contrario, debe ser publicada para que su mejoramiento dependa no solo del criterio técnico de los expertos involucrados, sino del sentir de los usuarios, haciéndola cada día más amigable y útil a las necesidades de los usuarios finales.

Es importante que la CVC advierta a los usuarios que la herramienta no se diseña para sustituir el desarrollo de los necesarios estudios específicos que podría requerir cada solución. No obstante, pretende ofrecer un panorama preliminar que permita al usuario seleccionar las fuentes adecuadas a su necesidad, antes de comprometer recursos humanos, técnicos y económicos de gran magnitud en la búsqueda de una solución final.

Dentro de las estrategias iniciales para el sostenimiento y mejoramiento de esta herramienta, proponemos:

1. Liderar la creación de una red de monitoreo departamental que permita la inclusión de variables ambientales para su integración en proyectos de desarrollo rural y urbano que incluyan el uso de recursos energéticos no convencionales.
2. Actualizar permanentemente los mapas de la herramienta.
3. Promocionar el catálogo de datos disponible en la CVC sobre esta materia y establecer procedimientos que faciliten el acceso a la información de las estaciones en línea para organismos públicos y privados interesados.
4. Gestionar la creación de un grupo de trabajo interdisciplinario con las universidades e instituciones tecnológicas de la región para la formación de personal idóneo en las actividades de generación, levantamiento y actualización de información de recursos energéticos no convencionales.
5. Gestionar recursos de orden nacional y departamental para la consolidación de capacidades en evaluación de recursos para su integración en la plataforma productiva del departamento.
6. Integrar en la plataforma más variables de análisis que permitan la evaluación de escenarios a futuro que impliquen el uso de energéticos no convencionales y el impacto en los medios rurales y urbanos.
7. Desarrollar estrategias de promoción a nivel municipal, para aumentar el flujo de visitas y uso de la herramienta, permitiendo la retroalimentación desde los usuarios.
8. Aumentar el cubrimiento de la red de estaciones limnigráficas, especialmente en las cuencas de la vertiente del Pacífico y del norte del departamento, no solo para determinar caudales para el aprovechamiento energético a pequeña y mediana escala, sino para crear escenarios de comportamiento simulado de las cuencas ante amenazas inminentes como la minería.
9. Realizar estudios para el aprovechamiento de otras fuentes de biomasa residual como la hoja de la caña, que podría ayudar a solucionar problemas ambientales, como la quema de cultivos en áreas periurbanas.

Referencias

CVC/GAIACOL (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca/Grupo de Gestión y Apoyo a la Ingeniería Agrícola de Colombia). 2007. Caudales específicos para las cuencas en el departamento del Valle del Cauca. Cali, Colombia. 161 p. Disponible en: www.cvc.gov.co/cvc/RecursoHidrico/aplicativos/RendimientoCaudales/documentos/marcoTeorico/caudalEspecifico.pdf

INEA (Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas). 1997. Guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía. 127 p.

Japan Space Systems. 2011. ASTER GDEM. Disponible en: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/index.jsp>

NASA (National Aeronautics and Space Administration). 2015a. Shuttle Radar Topography Mission. Disponible en: www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html

NASA (National Aeronautics and Space Administration). 2015b. Surface meteorology and Solar Energy 6.0. Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?skip@larc.nasa.gov+s04+s06#s06>

Olaya V. 2010. Sistemas de Información Geográfica. Disponible en: www.sextantegis.com

UPME/Ideam/Colciencias (Unidad de Planeación Minero Energética/Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia/Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación). 2010. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Bogotá D.C., Colombia. 180 p. Disponible en: www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia_.pdf

Diagramación:	MAGAR Design S.A.S.
Edición de producción:	Victoria Eugenia Rengifo, CIAT
Fotografías portada:	http://proenergiasrenovables.blogspot.com/
Impresión:	Velásquez Digital S.A.S. Cali, Colombia

Agosto 2015



Informes

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

www.cvc.gov.co

Teléfono: (57 2) 6206600 Ext. 1332 y 1325

Copia No Controlada CVC