



**BIOENERGÍA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA
ÉVALUACIÓN RÁPIDA (BEFS RA)**

Manual de Usuario

COMBUSTIÓN



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

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

© FAO, 2014

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

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

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

Evaluación Rápida BEFS

Módulo Opciones de Uso Final de la Energía

Sub-Módulo Electrificación Rural

Sección 3: Combustión

Manual de Usuario

Menciones

La Evaluación Rápida BEFS (BEFS RA) es el resultado del trabajo de un equipo técnico integrado por los siguientes autores, nombrados en orden alfabético¹: Giacomo Branca (Universidad de la Tuscia, Viterbo), Luca Cacchiarelli (Universidad de la Tuscia, Viterbo), Carlos A. Cardona (Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales), Erika Felix, Arturo Gianvenuti, Ana Kojakovic, Irini Maltoglou, Jutamane Martchamadol, Luis Rincon, Andrea Rossi, Adriano Seghetti, Florian Steierer, Heiner Thofern, Andreas Thulstrup, Michela Tolli, Monica Valencia (Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales) y Stefano Valle (Universidad de la Tuscia, Viterbo).

También se recibieron aportes y contribuciones de Renato Cumani, Amir Kassam, Harinder Makkar, Walter Kollert, Seth Meyer, Francesco Tubiello y su equipo, Alessio d'Amato (Universidad de Roma, Tor Vergata) y Luca Tasciotti.

Queremos agradecerle al Grupo de Trabajo de bioenergía y seguridad alimentaria de Malawi², al Consejo Nacional de Biocombustibles³ y al Grupo de Trabajo Técnico en Filipinas por la participación en la prueba piloto del BEFS RA y por sus útiles aportes. Asimismo, queremos expresar nuestro agradecimiento a Rex B. Demafelis y a su equipo de la Universidad de Filipinas “Los Baños” por su valioso apoyo durante la prueba piloto.

La Evaluación Rápida BEFS se ha beneficiado de las observaciones formuladas en la reunión de revisión de los pares, la cual tuvo lugar en la oficina central de la FAO en febrero 2014. En dicha reunión participaron: Jonathan Agwe (International Fund for Agricultural Development); Adam Brown (International Energy Agency); Michael Brüntrup (German Institute for Development Policy); Tomislav Ivancic (Comisión Europea); Gerry Ostheimer (UN Sustainable Energy for All); Klas Sander (World Bank); James Thurlow (International Food Policy Research Institute); Arnaldo Vieira de Carvalho (Inter-American Development Bank); Jeremy Woods (Imperial College, University of London) y Felice Zaccheo (Comisión Europea). También se recibieron aportes de gran utilidad de Duška Šaša (Energy Institute Hrvoje Požar, Zagreb).

Además, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Monique Motty e Ivonne Cerón Salazar (Universidad del Tolima, Colombia) por su ayuda en la finalización de las herramientas y documentos.

El trabajo se llevó a cabo en el contexto del Proyecto Evaluación Rápida BEFS (GCP/GLO/357/GER) financiado por el Ministerio Federal Alemán de Alimentación y Agricultura (BMEL).

¹ A menos que se especifique lo contrario, todos los autores estaban afiliados con FAO en el momento de su contribución.

² El Grupo de Trabajo BEFS en Malawi consiste de los siguientes miembros: Ministry of Energy, Ministry of Lands, Housing, and Urban Development, Ministry of Finance, Ministry of Agriculture and Food Security, Ministry of Environment and Climate Change and Department of Forestry, Ministry of Industry and Trade, Ministry of Economic Planning and Development, Ministry of Labour and Vocational Training, Ministry of Transport and Public Infrastructure, Ministry of Information and Civic Education, Ministry of Local Government and Rural Development.

³ El National Biofuels Board está presidido por el Secretary of Department of Energy e incluye los siguientes miembros: Department of Trade and Industry, Department of Science and Technology, Department of Agriculture, Department of Finance, Department of Labor and Employment, Philippine Coconut Authority, Sugar Regulatory Administration.

Volúmenes de los Manuales de Usuario BEFS RA

- I. Introducción al Planteamiento y los Manuales
- II. Módulo Situación Actual del País
- III. Módulo Recursos Naturales
 - 1. Cultivos
 - Sección 1: Producción de Cultivos
 - Sección 2: Presupuesto Agrícola
 - 2. Residuos Agropecuarios
 - Residuos Agrícolas y Residuos Ganaderos
 - 3. Madera Combustible y Residuos de Madera
 - Sección 1: Aprovechamiento Forestal y Residuos del Aprovechamiento de la Madera
 - Sección 2: Presupuesto para Plantaciones de Madera como Combustible
- IV. Módulo Opciones de Uso Final de la Energía
 - 1. Productos Intermedios o Finales
 - Sección 1: Briquetas
 - Sección 2: Pellets
 - Sección 3: Carbón Vegetal
 - 2. Calefacción y Cocina
 - Biogás Comunitario
 - 3. Electrificación Rural
 - Sección 1: Gasificación
 - Sección 2: Aceite Vegetales Crudos
 - Sección 3: Combustión**
 - 4. Calor y Electricidad
 - Sección 4: Cogeneración
 - Sección 5: Biogás Industrial
 - 5. Transporte
 - Etanol y Biodiesel

Tabla of Contenidos

1	Resumen del Módulo Opciones de Uso Final de la Energía (Uso Final)	4
2	El <i>Componente Combustión</i>	6
3	Términos y Definiciones utilizados en el <i>Componente Combustión</i>	9
4	Alcance y Objetivos del <i>Componente Combustión</i>	10
5	Ejecutando el <i>Componente Combustión</i>	11
5.1	Paso 1: Demanda energética	13
5.2	Paso 2: Definición de la materia prima	13
5.3	Paso 3: Definición del precio de la electricidad	18
5.4	Paso 4: Costo de producción y parámetros financieros	20
5.5	Paso 5: Cálculo del costo de producción de electricidad	21
6	Supuestos y Limitaciones del <i>Componente Combustión</i>	24
7	Resultados del <i>Componente Combustión</i>	24
7.1	Resumen del cálculo de los costos de producción (opcional)	24
7.2	Resumen de resultados por materia prima	26
7.3	Resumen de resultados comparativo	28
8	Anexo	31
8.1	Metodología y Resultados	31
8.1.1	Cálculo de costo de los insumos requeridos	31
8.1.2	Calculo del costo de la mano de obra requerida	32
8.1.3	Calculo de costo del transporte requerido	33
8.1.4	Cálculo de costo de almacenamiento	33
8.1.5	Cálculo de costo fijo	33
8.1.6	Cálculo de otros costos	34
8.1.7	Cálculo del costo de producción total y unitaria de la electricidad	36
8.1.8	Cálculo del ingreso del proyecto	36
8.2	Datos requeridos para ejecutar la herramienta	37
9	Referencias	39

Lista of Figuras

Figura 1: Estructura del Módulo Uso Final de la Energía	4
Figura 2: Sistema de Combustión de Biomasa para la Generación de Electricidad y/o Calefacción Rural.....	6
Figura 3: Disposición de la Hojas de los Resultados de Combustión.....	8
Figura 4: Herramienta Evaluación Rápida para Electricidad y/o Calefacción Rural – <i>Componente Combustión</i>	11
Figura 5: <i>Componente Combustión</i> : Flujo del Análisis y las Relaciones con Módulos y Componentes de la Evaluación Rápida BEFS.....	12
Figura 6: Demanda Energética	13
Figura 7: Selección de la Materia Prima	14
Figura 8: Cálculo del Precio de la Materia Prima con base en el Método de Recolección y su Fuente	15
Figura 9: Costo de Almacenamiento de Materia Prima	17
Figura 10: Calculadora de Almacenamiento de la Materia Prima.....	18
Figura 11: Definición del Precio de Electricidad - Método 1	19
Figura 12: Definición del Precio de Electricidad - Método 2	19
Figura 13: Insumos Generales	20
Figura 14: Cálculo de los Costos de Producción	22
Figura 15: Costos de Procesamiento para la Generación de Potencia.....	22
Figura 16: Costos de Producción de Electricidad Detallada por Capacidad de Generación de Potencia.....	25
Figura 17: Resultados de los Costos de Producción e Inversión	26
Figura 18: Resultados de Operación.....	27
Figura 19: Resultados del Análisis Financiero.....	28
Figura 20: Disposición de los Resultados Comparativos	29

Lista of Tablas

Tabla 1: Costos Estimados de Almacenamiento.....	16
Tabla 2: Ecuaciones de Costos de los Insumos Requeridos	31
Tabla 3: Ecuaciones de Costo de Mano de Obra y Misceláneos	32
Tabla 4: Ecuaciones de Costo de Transporte de la Materia Prima.....	33
Tabla 5: Ecuaciones de Costo de Almacenamiento.....	33
Tabla 6: Ecuaciones de Costos Fijos	33
Tabla 7: Ecuaciones de Otros Costos.....	35
Tabla 8: Ecuaciones del Costo Total de Producción	36
Tabla 9: Ecuaciones de Ingreso Potencial.....	36
Tabla 10: Datos Requeridos para Ejecutar la Herramienta	37

1 Resumen del Módulo Opciones de Uso Final de la Energía (Uso Final)

Como se explicó en la introducción general del manual de instrucciones de la Evaluación Rápida BEFS, el módulo de *Opción de Uso Final de la Energía* se utiliza para evaluar la viabilidad tecno-económica y socio-económica de las diferentes rutas de producción de bioenergía. El módulo se divide en cinco secciones, las cuales son: Productos Intermedios o Finales, Calefacción y Cocina, Electrificación Rural, Calor y Electricidad y Transporte. Cada uno de los sub-módulos incluye la selección de componentes de análisis para evaluar la producción de biocombustibles específicos basados en una tecnología de proceso particular, como se muestra en la Figura 1. Este módulo se construye con la información generada en los módulos de *Recursos Naturales* en relación con la materia prima. Para información más detallada del módulo refiérase a la introducción general del manual de instrucciones.



[†]Estos productos pueden ser utilizados ya sea como productos finales para calefacción y cocina o como productos intermedios en las opciones de electrificación rural de gasificación y combustión.

Figura 1: Estructura del Módulo Uso Final de la Energía

Una descripción general de cada sub-módulo y sus respectivos componentes de análisis es presentado a continuación. Una discusión más detallada de cada componente de análisis se proporciona en su respectivo manual.

El sub-módulo **Productos Intermedios o Finales** se utiliza para evaluar la viabilidad de producir briquetas, pellets y carbón vegetal. Los componentes **Briquetas/Pellets** se utilizan para evaluar el potencial de desarrollo de producción de briquetas/pellets para suplir energía para la cocina y la calefacción en viviendas rurales y urbanas. El objetivo de este análisis es generar información sobre los costos de producción, requerimientos de biomasa y parámetros de viabilidad financiera y social que ayude a los usuarios en la decisión de promover la producción de briquetas/pellets en el país. El componente **Carbón Vegetal** es usado para comparar las tecnologías actuales de producción de carbón con tecnologías mejoradas y más eficientes. El objetivo de este análisis es evaluar el costo capital inicial de las tecnologías mejoradas, la viabilidad financiera desde el punto de vista de los productores de carbón y los beneficios sociales y económicos que las tecnologías mejoradas puedan acarrear cuando son comparadas con las tecnologías de producción de carbón existentes. Los resultados generados mediante el análisis proporcionan información sobre los posibles obstáculos de

incorporar las tecnologías mejoradas por parte de productores y ayuda a definir cómo difundir efectivamente su introducción.

El sub-módulo **Calefacción y Cocina** se utiliza para evaluar la viabilidad de producir carbón, briquetas y biogás. El componente **Biogás Comunitario** es usado para evaluar el potencial de producción de biogás a partir de estiércol a nivel doméstico y comunitario y compara tres tipos de tecnologías. El componente genera información sobre: 1) La cantidad de biogás que se puede producir basado en la disponibilidad de estiércol, 2) El tamaño del biodigestor necesario para aprovechar la energía, 3) Los costos de instalación de los tres tipos de tecnologías de biodigestión. El componente también proporciona parámetros financieros, sociales y económicos que ayudan al usuario a comprender las posibles oportunidades y los requerimientos necesarios para la implementación de la tecnología de producción de biogás en sus países.

El sub-módulo **Electrificación Rural** se utiliza para evaluar la viabilidad de proporcionar electricidad a partir de biomasa, en áreas remotas sin acceso a la red eléctrica. Este sub-módulo está compuesto de tres diferentes tecnologías descentralizadas para la electrificación: gasificación, uso de aceite vegetales crudos (AVC), combustión. Los resultados obtenidos por este sub-módulo, generan estimados de los costos de la generación de electricidad y distribución, calculan la viabilidad financiera de electrificación e informan sobre los resultados sociales y económicos asociados a cada vía tecnológica. El componente **Gasificación** analiza la combustión parcial de biomasa para generar una mezcla de gases que posteriormente puede usarse en motores de gas para producir electricidad. El componente **Aceite Vegetal Crudos (AVC)** se basa en el componente de Cultivos del módulo de Recursos Naturales. Este evalúa el potencial de utilizar AVC en motores para producir electricidad en lugar de diésel. El componente **Combustión** evalúa la quema de biomasa para producir vapor el cual acciona una turbina a vapor para producir electricidad.

El sub-módulo **Calor y Electricidad** se utiliza para evaluar la viabilidad de la generación de electricidad y calor a partir de biomasa de recursos locales. Este sub-módulo está compuesto de dos diferentes tecnologías descentralizadas para la electricidad y la calefacción: cogeneración y biogás industrial. El componente **Cogeneración** examina el potencial para la producción simultánea de la electricidad y calefacción a partir de una fuente de biomasa, que permite al usuario analizar una producción integrada de fábrica o una operación independiente para la generación de electricidad de la red eléctrica. El componente **Biogás Industrial** evalúa el potencial para desarrollar una industria basada en biogás para electricidad, calefacción, cogeneración o biogás mejorado. Esto se realiza utilizando las aguas residuales, los sólidos de alta humedad, los sólidos de baja humedad o una combinación de éstos. Todas las vías tecnológicas son sencillas, fácilmente disponibles y adaptables a las zonas rurales remotas.

El sub-módulo **Transporte** es usado para evaluar la viabilidad de producir biocombustibles líquidos para el transporte, conocidos como etanol y biodiesel. Este análisis se basa en los resultados generados a partir de los componentes del módulo Recursos Naturales en términos de disponibilidad de materia prima y el presupuesto agrícola. La herramienta envuelve la producción de etanol y biodiesel. En la sección del etanol, el usuario puede evaluar el potencial del desarrollo industrial del etanol en el país. Asimismo, en la sección del biodiesel el potencial de desarrollo de la industria de biodiesel es evaluada. Los resultados del análisis generan estimaciones sobre los costos de producción del biocombustible seleccionado basado en el origen de la materia prima, es decir, materia prima de pequeños agricultores, la combinación de pequeños agricultores/comerciales o comerciales, de acuerdo a cuatro predefinidas capacidades de planta: 5, 25, 50 y

100 millones de litros/año⁴. Estos resultados también contienen información sobre la factibilidad económica y parámetros socioeconómicos. En este componente, el usuario tiene la opción de incluir en la evaluación un análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero que cubre toda la cadena de suministro de los biocombustibles seleccionados.

Otra opción para el usuario es utilizar la **Calculadora de Pretratamiento** antes de utilizar las herramientas de Uso Final de Energía⁵. Esto permite al usuario calcular los costos adicionales de pre-procesamiento de la biomasa seleccionada con el fin de obtener las condiciones específicas que se requieren para la conversión de biomasa final para el uso final de energía.

2 El Componente Combustión

El *Componente Combustión* está diseñado para asistir al usuario en la evaluación del potencial para desarrollar combustión de biomasa para suministrar electricidad en áreas rurales sin acceso actual a electricidad y donde la extensión de la red nacional no es factible. Los límites del análisis de combustión se presentan en la Figura 2. La herramienta se basa en una extensiva revisión de literatura. Las suposiciones y cálculos detallados utilizados para desarrollar la herramienta se proporcionan en el Anexo.

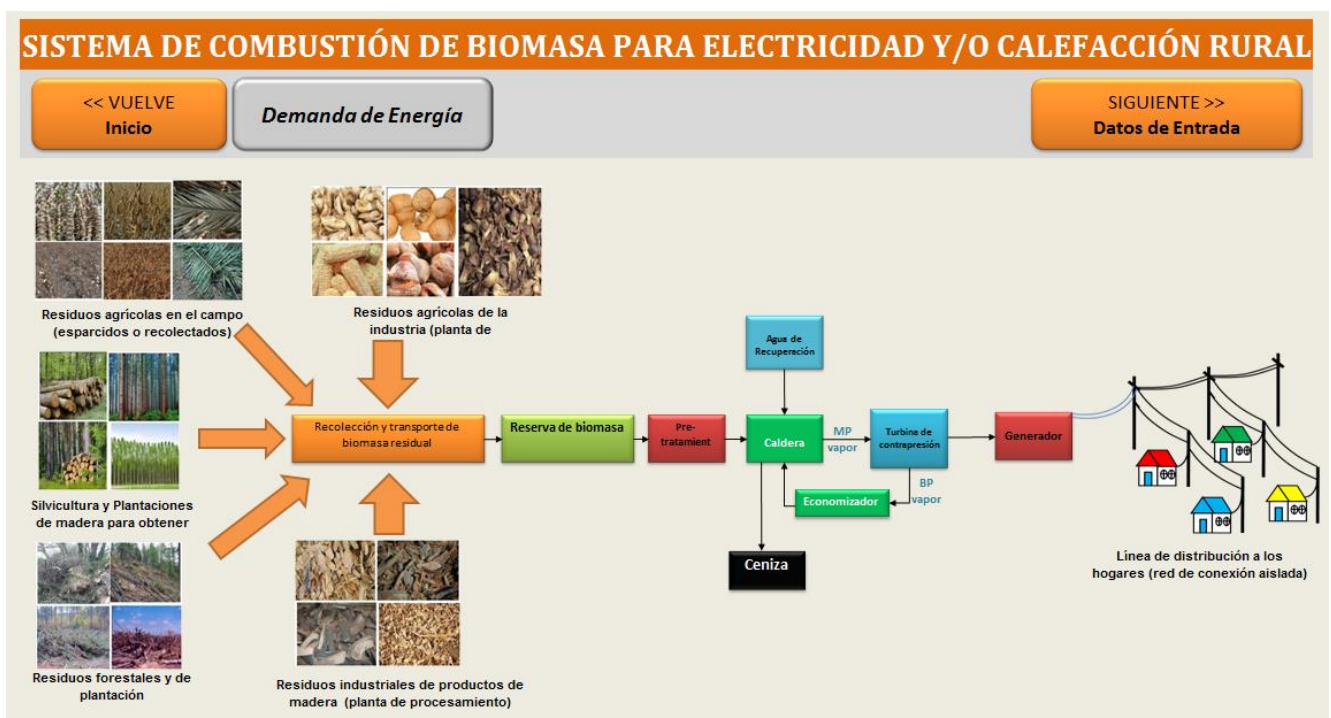


Figura 2: Sistema de Combustión de Biomasa para la Generación de Electricidad y/o Calefacción Rural

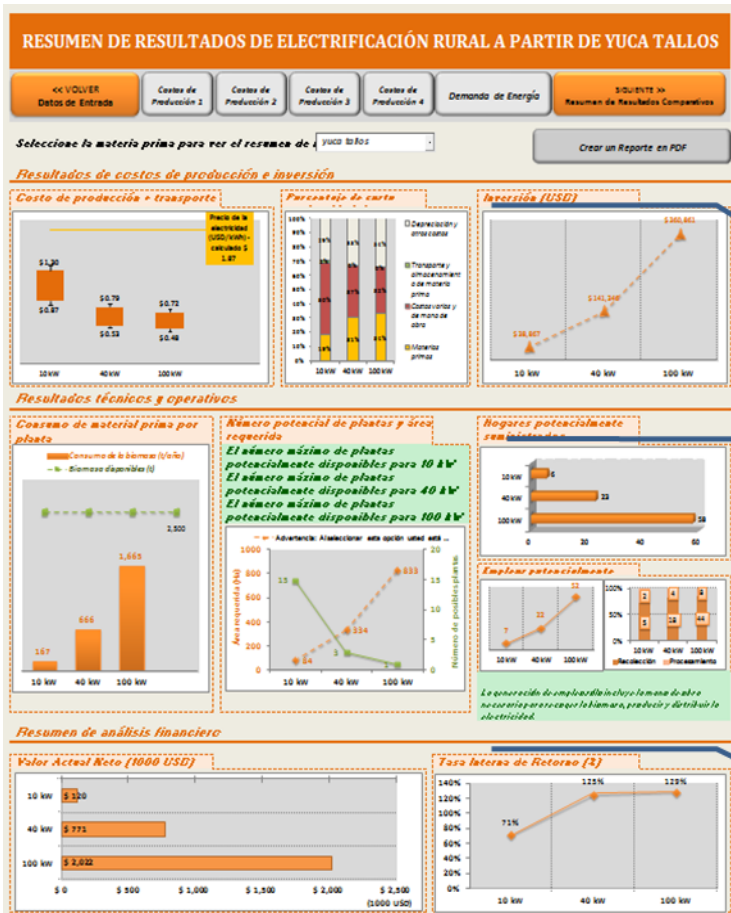
Después de completar el análisis, el usuario tendrá una indicación sobre: 1) el consumo de biomasa y del área requerida para instalar plantas de combustión de biomasa a varias escalas; 2) el número potencial de plantas de combustión de biomasa sostenibles que pueden ser desarrollados en el país; 3) los costos de inversión y

⁴ La selección de las capacidades de planta son basadas en la revisión de literatura relevante, por favor ver el Manual de Transporte para más detalles sobre esto.

⁵ La Calculadora de Pretratamiento puede usarse antes de la utilización de las herramientas de Uso Final de Energía. Las excepciones son las herramientas de Biogás Comunitario y Transporte, ya que estas herramientas ya incluyen pre-tratamiento.

los costos de inversión por kWh para cada escala; 4) el número de hogares que pueden ser electrificados; y 5) la generación potencial de empleo y la viabilidad económica asociada a cada nivel de producción como lo muestra la

Figura 3. El usuario también podrá comparar entre diferentes tipos de biomasa (materia prima) y capacidades de planta para identificar la fuente de biomasa más apropiada con base en un número de factores incluyendo disponibilidad física y resultados económicos y sociales.

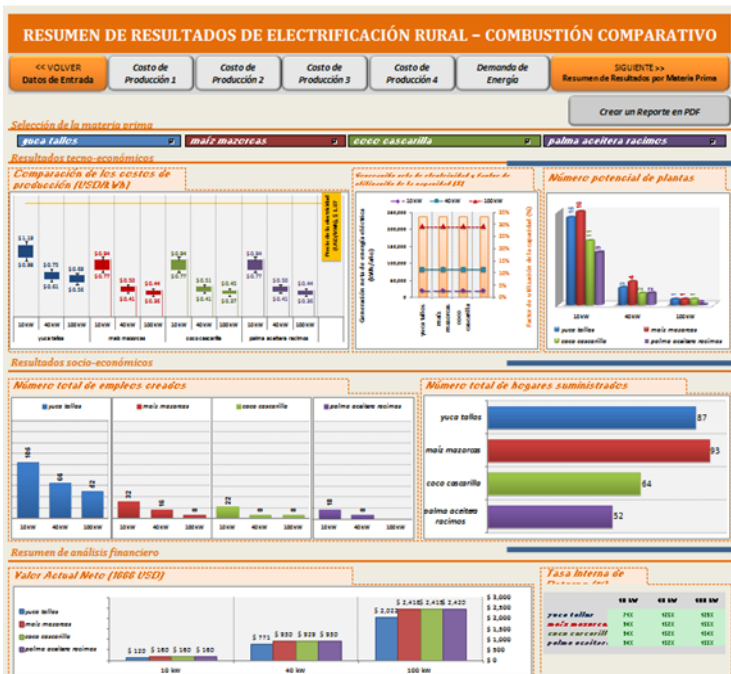


Salida General por Materias Primas

Los Costos de Producción y los Resultados de las Inversiones:
 Costo de Producción de Electricidad, Parte de los Costos Totales de Producción y el Costo Total de Inversión

Resultados Operativos:
 Consumo de Biomasa, Requisito de la Área de Biomasa, Numero Potencial de Plantas, Numero de Hogares Potencialmente Suministrado y la Creación de Empleo de Operación

Análisis Financiero – Antes de Impuestos:
 Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)



Salidas Comparativas por Capacidad

Resultados Tecno-económicos:
 Costo de Producción de la Electricidad, Generación Neta de Electricidad, Factor de Capacidad de Uso y Numero de Plantas

Resultados Socio-económicos:
 Numero Total de Empleos, Numero Total de Hogares Suministrado

Análisis Financiero – Antes de Impuestos:
 Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

Figura 3: Disposición de la Hojas de los Resultados de Combustión

3 Términos y Definiciones utilizados en el *Componente Combustión*

Esta sección incluye definiciones de términos específicos utilizados en el *Componente Combustión* de la herramienta. Es importante anticipar estas definiciones y considerarlas a lo largo del análisis, para poder interpretar los resultados correctamente.

- **Combustión** se refiere al proceso termoquímico en el cual un combustible y un agente oxidante (Aire u oxígeno) reacciona exotérmicamente generando calor y una serie de productos de conversión denominados gases de combustión. Diferentes tipos de sustancias o materiales pueden ser empleadas como combustibles de combustión, incluyendo combustibles fósiles, residuos o biomasa. Esencialmente, un buen combustible debe estar disponible fácilmente, ser barato, ambientalmente amigable y con un buen valor calorífico. La combinación del valor calorífico y las condiciones de operación (Presión, oxidante en exceso, etc.) determina la calidad de la combustión y, por lo tanto, el calor de salida obtenido.
- **Análisis de la combustión de biomasa** involucra los siguientes pasos: Recolección de la biomasa residual, transporte y almacenamiento en la planta de combustión. Antes de alimentar la biomasa residual a la caldera para combustión, es sometida a un proceso de pretratamiento. Por ejemplo, secar para remover el exceso de humedad o reducción de tamaño para residuos agrícolas/madereros de gran tamaño (U.S. Department of Energy, 2012). Después del proceso de pretratamiento, la biomasa residual está lista para ser alimentada a la caldera para combustión directa, donde el calor obtenido se utiliza para producir vapor. Este vapor es utilizado para impulsar una turbina de vapor y un generador para producir electricidad. La salida del proceso de combustión es electricidad que es distribuida a hogares en un área particular (Pinheiro, G., et al., 2011).
- **Vapor** es el nombre técnico para el agua vaporizada. Si el vapor es usado como energía tiene varios beneficios, los cuales incluyen: baja toxicidad, facilidad de transporte, alta eficiencia, alta capacidad calorífica, y relativo bajo costo. El vapor contiene una cantidad significativa de energía en una unidad de masa básica que puede ser extraída como trabajo mecánico a través de una turbina como calor para ser utilizado en un proceso. Ya que la mayoría del contenido de calor del vapor es almacenado como calor latente, grandes cantidades de calor pueden ser transferidas eficientemente a temperatura constante, el cual es una característica útil en muchos procesos de aplicación de calentamiento (U.S. Department of Energy, 2004).
- **Materia prima** es biomasa que es utilizada en el proceso de combustión para producir calor.
- **Calderas** son utilizadas para generar vapor por la adición de energía a un suministro de agua. Esta energía se obtiene de la combustión de combustibles fósiles o del calor de residuos de proceso. La caldera proporciona una transferencia de calor superficial (Generalmente una serie de tubos) entre los productos de combustión y el agua. Con el objetivo de operar una caldera, otros elementos son requeridos: Sistema de suministro de combustible, sistema de combustión de aire, sistema de alimentación de agua y un sistema de ventilación para los gases de escape. Existen dos tipos básicos de caldera: Tubo de fuego o tubo de agua. La diferencia fundamental entre este tipo de calderas es que el lado de los tubos contiene los gases de combustión o el agua/vapor (U.S. Department of Energy, 2004; Quaak, P., H. Knoef, and H.E. Stassen, 1999; IRENA, 2012).
- **Turbina de vapor** convierte la energía calorífica contenida en el vapor en energía mecánica o eléctrica útil por medio de movimiento de rotación. La cantidad de generación de potencia es función de dos variables principales: Flujo de vapor y caída de presión a través de la turbina. Estos dos parámetros determinan la cantidad de potencia que puede ser obtenida de este dispositivo. Las turbinas de vapor se utilizan para accionar generadores u otro tipo de maquinaria rotativa como compresores, bombas

y ventiladores. Las turbinas de vapor se utilizan en diferentes diseños de sistemas, dependiendo de los requerimientos relativos para vapor, electricidad u otras cargas mecánicas. Las turbinas de vapor proporcionan un medio efectivo para disminuir la presión de vapor mientras que se extrae trabajo mecánico (U.S. Department of Energy, 2012b).

- **Pretratamiento de la biomasa:** La biomasa residual tiene un gran potencial en la mayoría de los países en desarrollo, ya que es posible reemplazar fuentes de energía como la leña. Sin embargo, solo una pequeña porción de la biomasa residual está siendo usada como combustible debido a su alto contenido de humedad, alto polimorfismo y baja densidad energética. Estas características problemáticas incrementan los costos de transporte, manejo y almacenamiento, haciendo que el uso de biomasa como combustible sea impráctico (Patel, Gami, & Bhimani, 2011). Existe una gran variedad de biomasa (residuos agrícolas) con diferentes valores caloríficos, tamaños, contenido de humedad y composición química. Los procesos de pre-tratamiento incluyen secado para remover el exceso de humedad, reducción de tamaño para residuos agrícolas de gran tamaño, procesos de densificación (por ejemplo, pellets y briquetas) para incrementar el tamaño y la densidad energética de materia prima en granos finos y procesos de torrefacción para mejorar las características y la eficiencia de almacenamiento de la biomasa.

4 Alcance y Objetivos del *Componente Combustión*

El objetivo del *Componente Combustión* es evaluar la factibilidad de desarrollar sistemas de generación de combustión para suplir electricidad en áreas rurales donde la extensión de la red eléctrica nacional no es viable económica o físicamente. Este proporciona al usuario con una fundamentación técnica para desarrollar un análisis de sistemas de combustión de biomasa para la producción de electricidad a 10 kW, 40 kW y 100 kW de una variedad de fuentes de biomasa. Los resultados del análisis pueden ser utilizados para identificar la viabilidad de la producción de electricidad por combustión en términos de la disponibilidad de la materia prima: la viabilidad financiera de las diferentes escalas de producción, la capacidad óptima de producción eléctrica y la combinación de materias primas, y los beneficios socio económicos que se pueden alcanzar con cada esquema de producción. La información generada por el análisis puede ser utilizada también como base para discutir estrategias potenciales para promover el desarrollo de sistemas de electrificación a través de sistemas de combustión de biomasa en áreas rurales sin acceso a electricidad en la actual

La siguiente sección describe el flujo del análisis y las opciones dentro del componente. La metodología para evaluar el análisis financiero de la combustión, la recolección y almacenamiento de biomasa se describen en detalle en el Anexo.

ES 1 **HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN RÁPIDA PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL – COMBUSTIÓN**

Descripción del Proceso de Combustión Datos de Entrada SIGUIENTE >> Demanda de Energía



Descargo de Responsabilidad

La FAO declina cualquier responsabilidad por errores u otros defectos del banco de datos, programa o de la documentación que los acompaña, o por cualquier daño derivado de ellos, así como por el mantenimiento y el mejoramiento de los programas. La FAO declina asimismo cualquier responsabilidad por la actualización de los datos, o por errores u omisiones en los datos que se han proporcionado. Se pide no obstante a los usuarios que señalen eventuales errores o defectos de este producto a la FAO. La elección de los cálculos presente en esta herramienta son las del/de los autor(es) y no reflejan necesariamente las opiniones y elecciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

© FAO, 2014

Figura 4: Herramienta Evaluación Rápida para Electrificación Rural – Componente Combustión

5 Ejecutando el *Componente Combustión*

El flujo del análisis dentro del *Componente Combustión* y las relaciones con los otros componentes es descrito en la Figura 5. El usuario tiene la opción de seleccionar los componentes del análisis en diferente orden o inclusive omitir algunos componentes. Sin embargo, se recomienda que el usuario siga el orden y flujo del análisis como se describe a continuación dado que el *Componente Combustión* depende de información generada en el módulo *Recursos Naturales* y puede cruzarse información con otros módulos para contextualizar los resultados del análisis. Los resultados de este componente son esenciales para la comprensión del análisis dado que cuando se interpretan los resultados se deben tener en cuenta factores relevantes, inclusive aspectos de los componentes del análisis que son omitidos (por ejemplo, aspectos relacionados con seguridad alimentaria, comercio agrícola, uso sostenible de recursos naturales, etc.).

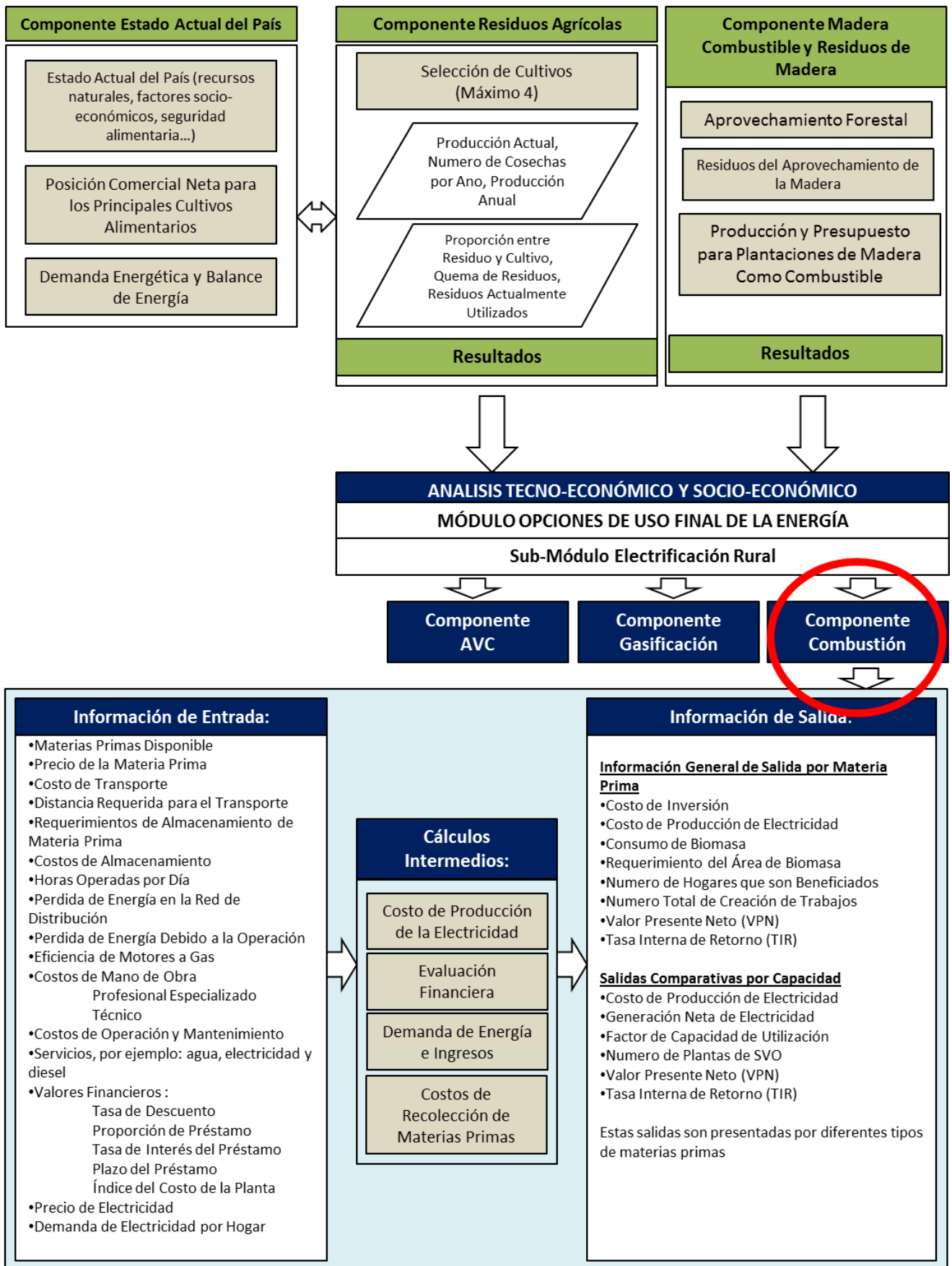


Figura 5: Componente Combustión: Flujo del Análisis y las Relaciones con Módulos y Componentes de la Evaluación Rápida BEFS

El usuario navega paso a paso a través de las opciones y se le pide ingresar datos necesarios para obtener los resultados finales. Cuando los datos requeridos son limitados o no están disponibles, pueden utilizarse los valores por defecto proporcionados por la herramienta. Los botones de navegación dentro de la herramienta se encuentran situados en la parte superior e inferior de la hoja. El botón “SIGUIENTE>>” indica el siguiente paso y el botón “<<VOLVER” permite regresar al paso anterior.

Los siguientes subcapítulos describen cada paso del análisis, usando como ejemplo el *Componente Residuos Agrícolas* como alimentación al sistema de combustión para la generación de energía en áreas rurales remotas donde actualmente no se tiene acceso a la electricidad. Todos los parámetros se basan en una situación genérica.

Al comienzo del análisis, el usuario debe seleccionar el idioma de su preferencia con el fin de ver la herramienta en ese idioma (Figura 4, etiqueta 1). Las opciones son: inglés (EN), francés (FR) y español (ES). A continuación, el usuario tiene tres opciones, con los siguientes botones de navegación: “Descripción del Proceso de Combustión”, “Datos de Entrada” y “Demanda de Energía”, como se muestra en la Figura 4.

5.1 Paso 1: Demanda energética

El usuario necesita introducir el consumo de electricidad por hogar (kWh/mes) como ha sido definido en el módulo *Estado del País* (Figura 6).

Figura 6: Demanda Energética

5.2 Paso 2: Definición de la materia prima

Antes de proceder con el análisis, el usuario puede cargar los valores predeterminados para la ejecución de este componente, mediante la opción “Cargar Valores Predeterminados”, como se muestra en la Figura 7, etiqueta A.

Paso 2.A Selección de la materia prima

El usuario tiene que:

1. Seleccionar del menú desplegable el cultivo o los cultivos y el residuo o los residuos asociados con el mismo. La lista incluye 15 alimentos básicos/cultivos comerciales, dos tipos de residuos del procesamiento de la madera y briquetas (Figura 7, etiqueta 1). Hasta cuatro residuos de cultivos pueden ser analizados al mismo tiempo.

DATOS DE ENTRADA REQUERIDOS PARA ELECTRICIDAD Y/O CALEFACCIÓN RURAL – COMBUSTIÓN

<< VOLVER Inicio
Cargar Valores por Defecto A
Borrar Datos
Descripción del Proceso de Combustión
Demanda de Energía

Utilice las celdas blancas para ingresar los datos
Utilice las celdas grises para los cálculos

Disponibilidad y costo de la materia prima

	Materia prima 1	Materia prima 2	Materia prima 3	Materia prima 4	
	yuca	maíz	coco	palma aceitera	Costo de Producción 1
	tallos	mazorcas	cascarilla	racimos	Costo de Producción 2
Materia prima					Costo de Producción 3
Materia prima potencial (t/año)	2,500	3,500	3,000	1,800	Costo de Producción 4
Rendimiento de la materia prima (t/ha)	2.00	1.50	4.00	3.00	
Humedad (%)	12%	15%	7%	2%	
Tamaño (mm)	77	59	56	25	
Precio de la materia prima (USD/t)					
<input checked="" type="radio"/> Use la calculadora de definición de precio	Calculadora de Precio 1	Calculadora de Precio 2	Calculadora de Precio 3	Calculadora de Precio 4	
<input type="radio"/> Precio del mercado (transporte excluido)	\$ 17.22	\$ -	\$ -	\$ -	
Costo de almacenamiento de la materia prima (USD/t)					
	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000	
	Calculadora de Almacenamiento 1	Calculadora de Almacenamiento 2	Calculadora de Almacenamiento 3	Calculadora de Almacenamiento 4	

Figura 7: Selección de la Materia Prima

1. Ingreso los datos acerca de materia prima disponible (t/año) y rendimiento (t/ha) de los residuos seleccionados (Figura 7, etiqueta 2). *Esta información es generada en el Módulo Recursos Naturales.*
2. El contenido de humedad (%) –porcentaje promedio de contenido de humedad– del residuo seleccionado y el tamaño (mm) – el tamaño promedio de la materia prima en milímetros– son generados automáticamente de la base de datos técnica de la herramienta (Figura 7, etiqueta 3).

Para este ejemplo se seleccionó como materia prima 1 “Tallo de yuca”, materia prima 2 “Mazorca de maíz”, materia prima 3 “Cascarilla de coco” y materia prima 4 “Racimos de palma de aceite” como se muestra en la Figura 7.

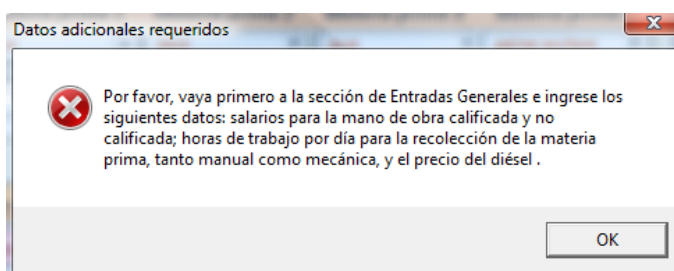
Paso 2.B Precio de la materia prima (USD/t)

El usuario tiene dos opciones para la determinación del precio de la materia prima:

- A. Si existe un precio actual en el país para esta materia prima, el usuario selecciona “Precio en el Mercado” (excluyendo el transporte) (Figura 7, etiqueta 4) e ingresa el precio de la materia prima seleccionada directamente (USD por tonelada) en la celda correspondiente.
- B. Si *no* existe precio actual para esta materia prima, el usuario puede estimarlo seleccionando “Usa de la Calculadora para Definir el Precio” y seleccionando “Calculadora de Precio” (Figura 7, etiqueta 4).

El usuario obtendrá una “alarma” antes de continuar con el uso de la calculadora, el usuario necesita ingresar:

1. El salario para mano de obra calificada y no calificada en la sección “Mano de Obra” en unidades de USD por persona por hora.



- Las horas laborales y el precio del diésel en las correspondientes líneas en la sección “Recolección de la Materia Prima”.

La hoja “Calculadora de Precio” (Figura 8) asiste al usuario para estimar el precio potencial de la materia prima con base en su estado físico y en el método de recolección.

CALCULADORA PARA COSTOS DE RECOLECCIÓN PARA YUCA TALLOS

<< VOLVER
Datos de Entrada

<< VOLVER
Costo de Producción 1

Ocultar esta Hoja

Utilice las celdas blancas para ingresar los datos Utilice las celdas grises para los cálculos

Definición de la recolección de la biomasa

Fuentes de la biomasa

Residuos agrícolas esparcidos en el campo 1

Método de recolección

Semi-mecanizada 2

Definición de la recolección de la biomasa

Definición del precio de la biomasa							
Costo de la mano de obra		Cantidad	unidad	Cantidad	unidad	Total	unidad
Número de trabajadores cualificados	20	persona-hora/ha	Salario de mano de obra cualificada	\$ 2.00	USD/persona-hora	\$ 26,425	USD/año
Número de trabajadores no cualificados	5	persona-hora/ha	Salario de mano de obra no cualificada	\$ 1.25	USD/persona-hora	\$ 4,129	USD/año
						Subtotal	\$ 30,554 USD/año
Maquinaria y costos de operación		Cantidad	unidad	Cantidad	unidad	Total	unidad
Ahorro promedio de combustible	0.5	l/h	Precio de los combustibles	\$ 1.00	USD/l	\$ 12,500	USD/año
						Subtotal	\$ 12,500 USD/año
						Total	\$ 43,054 USD/año

Precio de recolección de yuca tallos \$ 17.22 USD/t

Figura 8: Cálculo del Precio de la Materia Prima con base en el Método de Recolección y su Fuente

Para ejecutar la calculadora, el usuario necesitará:

- Identificar el *estado físico de la materia prima* de una de las siguientes opciones (Figura 8, etiqueta 1):
 - Residuos agrícolas esparcidos en el campo
 - Residuos agrícolas recolectados del campo
 - Residuos agrícolas de plantas de procesamiento de alimentos
 - Forestales
 - Forestales y residuos de plantación
 - Residuos de la industria maderera
 - Plantación maderera dedicada a energía
- Selección del *método de recolección de la biomasa* (Figura 8, etiqueta 2) de las siguientes opciones:
 - manual
 - semi-mecanizado
 - mecanizado

Guía: El método de recolección puede identificarse con base en prácticas similares aplicadas actualmente en el país.

- Ingresar los requerimientos de mano de obra (persona-hora por hectárea) y las necesidades de combustibles (litros por hora) asociados con el método de recolección de la biomasa seleccionada (Figura 8, etiqueta 3). Para volver a la sección anterior, el usuario debe hacer clic en el botón “<<VOLVER Datos de Entrada”.

Nota: El tipo de requerimientos de mano de obra y diésel dependerán del método de recolección: manual, semi-mecanizada y mecanizada.

La calculadora automáticamente generará el precio de la materia prima (Figura 8), el cual está vinculado a la hoja de trabajo “Datos de Entrada Requeridos” para cálculos posteriores.

- El usuario necesitará llevar a cabo las mismas etapas para las materias primas seleccionadas.

Para este ejemplo la materia prima 1 seleccionada “Tallo de yuca” se supone que se proceda de “residuos agrícolas esparcidos en el campo” y se supone un nivel de recolección como “semi-mecanizada”. La mano de obra calificada (operador de máquina) es 20 y la mano de obra no calificada es 5, el consumo de diésel de la máquina es de 0.5 litros por hora. Utilizando la información de que para la mano de obra trabaja 8 horas por día y la maquinaria 16 horas por día y el precio del diésel es 1 USD por litro, un precio aproximado de la materia prima se calcula igual a 17.22 USD/t (Figura 8).

Paso 2.C: Costo de almacenamiento (USD/t)

Paso 2.C.1 El usuario puede introducir una aproximación de los *precios actuales* de almacenamiento de los productos agrícolas en el país. El precio debe ser ingresado en la respectiva celda para cada materia prima (USD/tonelada). Si el usuario no cuenta con esta información, puede ir al siguiente paso.

Paso 2.C.2 El usuario puede determinar una aproximación para este valor, para lo cual necesitará seguir los siguientes pasos:

- Identificar un tipo de almacenamiento de materia prima apropiado, asociado con las condiciones en su país de las opciones presentadas en la Tabla 1.
- Para la opción de almacenamiento seleccionada, el usuario debe buscar el costo global de construcción, el cual es provisto en la Tabla 1.
- Introducir un valor aproximado (USD/tonelada) en la celda respectiva para cada materia prima.

Tabla 1: Costos Estimados de Almacenamiento

Costos Estimados de Almacenamiento	Unidad	Min	Promedio	Max
Estructura cerrada con suelo de roca triturada	USD/ton	10	12.5	15
Estructura abierta con suelo de roca triturada	USD/ton	6	7	8
Lona reutilizable en piedra triturada	USD/ton	n/a	3	n/a
En el exterior sin protección en piedra triturada	USD/ton	n/a	1	n/a
En el exterior sin protección en tierra	USD/ton	n/a	0	n/a

Fuente: (EPA, 2007)

Para este ejemplo, todas las materias primas son almacenadas en roca triturada cubierta por lona reutilizable. El costo de almacenamiento es de 3 USD/tonelada. (El usuario ingresa el costo en la celda correspondiente como se muestra en la Figura 9, etiqueta 1).

DATOS DE ENTRADA REQUERIDOS PARA ELECTRICIDAD Y/O CALEFACCIÓN RURAL – COMBUSTIÓN

<< VOLVER Inicio
Cargar Valores por Defecto
Borrar Datos
Descripción del Proceso de Combustión
Demanda de Energía

Utilice las celdas blancas para ingresar los datos
Utilice las celdas grises para los cálculos

Disponibilidad y costo de la materia prima

	Materia prima 1	Materia prima 2	Materia prima 3	Materia prima 4	
Materia prima	yuca	maíz	coco	palma aceitera	
Materia prima potencial (t/año)	tallos	mazorcas	cascarilla	racimos	
Rendimiento de la materia prima (t/ha)	2,500	3,500	3,000	1,800	Costo de Producción 1
Humedad (%)	2.00	1.50	4.00	3.00	Costo de Producción 2
Tamaño (mm)	12%	15%	7%	2%	Costo de Producción 3
Precio de la materia prima (USD/t)	77	59	56	25	Costo de Producción 4
	Calculadora de Precio 1	Calculadora de Precio 2	Calculadora de Precio 3	Calculadora de Precio 4	
Use la calculadora de definición de precio	\$ 17.22	\$ -	\$ -	\$ -	
Precio del mercado (transporte excluido)					
Costo de almacenamiento de la materia prima (USD/t) 1	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000	
	Calculadora de Almacenamiento 1	Calculadora de Almacenamiento 2	Calculadora de Almacenamiento 3	Calculadora de Almacenamiento 4	

Figura 9: Costo de Almacenamiento de Materia Prima

Paso 2.C.3 Calculo de los requerimientos de almacenamiento, seleccione en “Calculadora de Almacenamiento” (Figura 9, flecha roja). Esto llevará al usuario a la Calculadora de Almacenamiento de Biomasa (Figura 10). En esta hoja, el usuario debe:

1. Seleccionar los meses de cosecha del cultivo (Figura 10, etiqueta 1).
2. Ingresar la tasa de stock de biomasa (%). Esto es el porcentaje de material prima necesaria para asegurar condiciones de suministro continuo de la materia prima para manejar incertidumbres en la producción debido a disponibilidad estacional, estaciones de producción, inundaciones, sequías y otros factores. Esta tasa de existencia % se utiliza para estimar la capacidad de almacenamiento (Figura 10, etiqueta 2).
3. Seleccionar “Calcular” (Figura 10, etiqueta 3) para calcular automáticamente la capacidad de almacenamiento máxima requerida (tonelada) y el almacenamiento mínimo de seguridad (tonelada por mes) para cada una de las capacidades pre-definidas (Figura 10, etiqueta 4).
4. Seleccionar “OK” para regresar a la hoja “Datos de Insumos Requeridos” (Figura 10, etiqueta 5).
5. El usuario deberá repetir los mismos pasos para todas las materias primas.

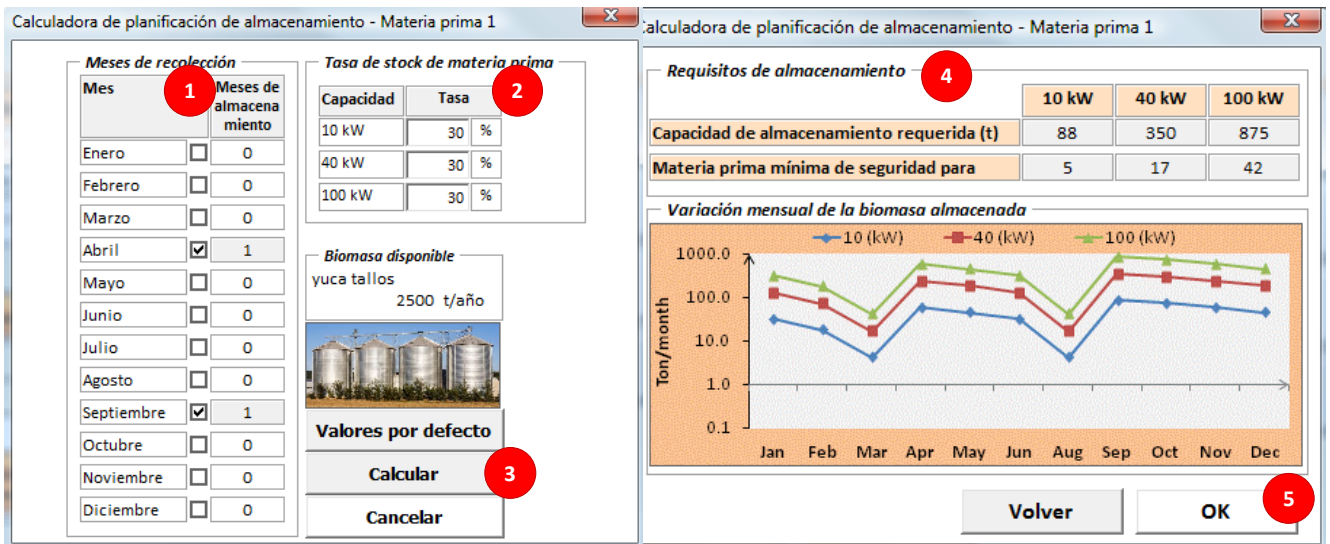


Figura 10: Calculadora de Almacenamiento de la Materia Prima

Para este ejemplo, la materia prima 1, se cosecha en 2 meses: abril y septiembre. Como resultado, la capacidad de almacenamiento requerida es de 88 toneladas para 10 kW de capacidad de producción. La mínima capacidad de almacenamiento para asegurar la materia prima es de 5 toneladas por mes. Para otras capacidades predefinidas por favor ver la Figura 10.

5.3 Paso 3: Definición del precio de la electricidad

El precio de la electricidad es necesario para analizar los ingresos totales de la generación de electricidad en la planta de combustión. El usuario debe seleccionar un método para definir el precio de la electricidad a partir de las siguientes opciones:

- A. **Método 1:** Uso de una calculadora para definir el precio de la electricidad con base en un sistema de generación de diésel. Para ejecutar esta opción el usuario deberá:
 1. Seleccionar el “Método 1” para definir el precio de la electricidad (Figura 11, etiqueta 1).
 2. Seleccionar “Calculadora de Precio de Electricidad” (Figura 11, etiqueta 2).
 3. Ingresar los siguientes datos en la “Calculadora de Precio de Electricidad” (Figura 11, caja roja). Si no se dispone de datos específicos, se pueden utilizar los valores por defecto (Figura 11, etiqueta 3).
 - Tecnología actual de electricidad:
 - Capacidad del generador de diésel (kW)
 - Horas de operación por día
 - Días de operación por año
 - Eficiencia típica (%)
 - Parámetros de costos:
 - Costo del diésel (USD/litro)
 - Costo de transporte del diésel (USD/t/km)
 - Distancia de transporte (km)
 - Costo de operación y mantenimiento (USD/kWh)
 - Costo de los equipos (USD)
 4. Cuando todos los datos se hayan ingresado, seleccionar “Calcular” (Figura 11, etiqueta 4).

- El costo comparativo de producción de electricidad será generado (Figura 11, etiqueta 5) el cual está relacionado con la hoja de trabajo “Datos de Entrada Requeridos” y utilizados para cálculos subsecuentes.

Definición del precio de electricidad

Seleccione un método para determinar el precio de la electricidad

Método 1

unidad
\$ 1.87 USD/kWh

Costo de electricidad comparativo

Calculadora de Precio de Electricidad

Método 1: Utilice una calculadora para determinar el costo de producción de electricidad a partir de un generador diésel.

Calculadora de precio de la electricidad

Tecnología actual de generación de electricidad

Capacidad típica del generador diésel	100	kW
Horas funcionamiento al día	8	h/día
Días de operación por año	330	día/año
Eficiencia típica	30	%

Parámetros de costo

Costo del diésel	1	USD/l
Costo de transporte del diésel	0.55	USD/t/km
Distancia de transporte	100	km
Costos de operación y mantenimiento	1.5	USD/kWh
Costo del equipo	21000	USD

Valores por defecto **Calcular** Cancelar

Costo de producción comparativo de la electricidad

Costo total de la producción de electricidad

Item		Unidad
Costo del diésel	\$ 7,959	USD/año
Costo del transporte	\$ 367.71	USD/año
Costos de mano de obra y mantenimiento	\$ 118,800	USD/año
Costos de inversión	\$ 21,000	USD/año
Costo total de la producción de electricidad	\$ 148,127	USD/año

Costos comparativos de la producción de electricidad

\$ 1.87 USD/kWh

Volver **OK**

Figura 11: Definición del Precio de Electricidad - Método 1

B. Método 2: Uso de un precio de electricidad identificado por el usuario. El usuario identifica un precio de electricidad en unidades de USD/kWh. Este precio puede ser el precio actual de la red nacional o el precio de electricidad que es generado por opciones descentralizadas de energía, por ejemplo, energía solar, pequeña potencia hidráulica, etc. Para llevar a cabo este análisis, el usuario tiene que:

- Seleccionar “Método 2” para definir el precio de electricidad (Figura 12, etiqueta 1).
- Ingresar el precio de electricidad pagado por el consumidor (Figura 12, etiqueta 2).

Nota: Este precio puede incluir subsidios. Se recomienda considerar esto y evaluar cuidadosamente la probabilidad de que este precio afecte el precio real pagado por los consumidores rurales.

Definición del precio de electricidad

Seleccione un método para determinar el precio de la electricidad

Método 2

unidad
\$ 0.13 USD/kWh

Price paid by customer

Método 2: Utilizar un precio de electricidad definido por el usuario. En la evaluación, es importante tener en cuenta que este precio podría incluir subsidios.

Figura 12: Definición del Precio de Electricidad - Método 2

Para este ejemplo, el usuario puede utilizar el precio mínimo de electricidad pagado por el consumidor que es 1.87 USD/kWh (resultado del Método 1 como lo muestra la Figura 11) o 0.13 USD/kWh (resultado del Método 2 como lo muestra la Figura 12) para futuros análisis.

5.4 Paso 4: Costo de producción y parámetros financieros

Los datos generales de insumos requeridos para ejecutar las operaciones se muestran en la Figura 13. El usuario debe ingresar los siguientes datos:

Costo de producción y parámetros financieros			
Mano de obra		unidad	unidad
Trabajadores no cualificados	\$ 1.25	USD/persona-h	Trabajadores cualificados
			\$ 2.00
			USD/persona-h
Servicios		unidad	unidad
Agua	\$ 0.47	USD/m ³	
Recolección de la materia prima		unidad	unidad
Horas de trabajo por día (manual)	8	h/día	Horas de trabajo por día (mecanizado)
			16
Diesel	\$ 1.00	USD/litre	
Costo de transporte		unidad	
Materia prima (punto de recolección a la planta)	\$ 0.09	USD/t/km	
Otros costos		unidad	unidad
Generales y administrativos (%)	10%		Costos de mantenimiento (%)
			25%
Gastos generales de planta (%)	20%		Costo varios (%)
			20%
Parámetros financieros		unidad	Actualización del costo de inversión
Tasa de descuento	10%		Índice de costo de la planta durante 6/2014
Proporción de créditos	50%		157.30
Tasa de interés de créditos	12%		http://base.intratec.us/home/inde
Plazo del crédito	5	año	

SIGUIENTE >>
Resumen de Resultados Comparativos
SIGUIENTE >>
Resumen de Resultados por Materia Prima

Figura 13: Insumos Generales

- Costos de mano de obra (USD/persona-hora):** valor de mano de obra para trabajadores calificados y no calificados (USD por persona por hora). Estos parámetros se requieren para calcular los precios de la materia prima (como se explicó en el Paso 2.B) y el costo de mano de obra para el proceso de combustión.
- Costo de servicios:** el precio del agua (USD/m³).
- Recolección de la materia prima:** estos parámetros se requieren para calcular el precio de la materia prima como se explicó en el Paso 2.B. El usuario ingresa las horas de mano de obra requeridas para operación manual y las horas de mano de obra requeridas para poner en marcha la maquinaria.
- Costo de transporte de la materia prima (USD/t/km):** costo de transporte de la materia prima desde los puntos de recolección hasta la planta de combustión, el usuario necesitará:
 - Identificar los métodos de transporte actuales usados comúnmente para mover productos agrícolas dentro del país.
 - Definir los precios de transporte actuales asociados al método de transporte identificado arriba en unidades de USD por tonelada por kilómetro.

Guía: Esto puede basarse en productos agrícolas no procesados.

Guía: Si el método de transporte es a pie o en bicicleta, se recomienda estimar el costo utilizando el costo de mano de obra por hora, tiempo de trabajo, cantidad de material que puede ser transportada, y los kilómetros aproximados que pueden ser recorridos bajo el método seleccionado con la siguiente ecuación:
Costo de transporte (USD/tonelada/km)

$$= \frac{\text{Salarios por hora (USD/hora/persona)} \times \text{Tiempo de trabajo (horas)}}{\text{Distancia de transporte (km)} \times \text{Materia prima transportada (t/persona)}}$$

De forma alternativa, el usuario puede incluir este costo de la materia prima adicionándolo al número de trabajadores en el **Paso 2.B** (estimar el precio de la materia prima) e ingresando costo cero para el transporte de la materia prima desde el punto de recolección hasta la planta.

5. Otros parámetros de costos (%): El usuario ingresa el porcentaje de:

- Costos generales y administrativos,
- Gastos generales de la planta,
- Costo de mantenimiento y
- Costos varios.

Estos parámetros se utilizan para estimar el costo de producción de electricidad.

6. Parámetros financieros: El usuario identifica los valores para los siguientes parámetros financieros:

- Tasa de descuento (%),
- Porción de préstamos (%),
- Tasa de interés en préstamos (%),
- Plazo del préstamo (años) y
- Índice de costo de la planta.

El índice de costo de la planta de los datos de costo de equipos se obtiene de literatura técnica y con base en condiciones técnicas y económicas pasadas. Por lo tanto, el índice de construcción de una planta química Intratec (IC), un índice adimensional utilizados como aproximado para actualizar el costo de capital de una planta química para tener en cuenta el cambio de precios debido a inflación/deflación y condiciones económicas, es aplicado a la herramienta BEFS RA. Este índice es actualizado y disponible gratuitamente en (<http://base.intratec.us/home/ic-index>).

Para este ejemplo, los valores presentados en la Figura 13 fueron usados para llevar a cabo el análisis.

5.5 Paso 5: Cálculo del costo de producción de electricidad

Después de completar todos los insumos requeridos en los Pasos 1 a 4, el usuario selecciona el botón “Costos de Producción” (Figura 14, etiqueta A).

Nota: Esta sección también muestra los presupuestos para calcular los costos de procesamiento. Estos cálculos se hacen automáticamente utilizando la información ingresada por el usuario en los pasos previos. Aquí el usuario puede revisarlos si gusta (ver sección 7.1 para mayor información)

DATOS DE ENTRADA REQUERIDOS PARA ELECTRICIDAD Y/O CALEFACCIÓN RURAL – COMBUSTIÓN

<< VOLVER Inicio
Cargar Valores por Defecto
Borrar Datos
Descripción del Proceso de Combustión
Demanda de Energía

Utilice las celdas blancas para ingresar los datos
Utilice las celdas grises para los cálculos

Disponibilidad y costo de la materia prima

	Materia prima 1	Materia prima 2	Materia prima 3	Materia prima 4
<i>yuca</i>	<i>maíz</i>	<i>coco</i>	<i>palma aceitera</i>	
<i>tallos</i>	<i>mazorcas</i>	<i>cascarilla</i>	<i>racimos</i>	
Materia prima potencial (t/año)	2,500	3,500	3,000	1,800
Rendimiento de la materia prima (t/ha)	2.00	1.50	4.00	3.00
Humedad (%)	12%	15%	7%	2%
Tamaño (mm)	77	59	56	25
Precio de la materia prima (USD/t)	Calculadora de Precio 1	Calculadora de Precio 2	Calculadora de Precio 3	Calculadora de Precio 4
Use la calculadora de definición de precio	\$ 17.22	\$ -	\$ -	\$ -
Precio del mercado (transporte excluido)				
Costo de almacenamiento de la materia prima (USD/t)	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000
	Calculadora de Almacenamiento 1	Calculadora de Almacenamiento 2	Calculadora de Almacenamiento 3	Calculadora de Almacenamiento 4

A

Costo de Producción 1

Costo de Producción 2

Costo de Producción 3

Costo de Producción 4

Figura 14: Cálculo de los Costos de Producción

Esto llevará al usuario a la sección de presupuesto de procesamiento para la materia prima seleccionada (Figura 15).

COSTOS DE PROCESAMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE YUCA TALLOS

<< VOLVER Datos de Entrada
Descripción del Proceso de Combustión
Demanda de Energía
SIGUIENTE >> Resumen de Resultados Comparativos
SIGUIENTE >> Resumen de Resultados por Materia Prima

Utilice las celdas blancas para ingresar los datos
Utilice las celdas grises para los cálculos

Resumen de materias primas y almacenamiento

Materia prima disponible (t/año)	2,500
Rendimiento de la materia prima (t/ha)	2
Humedad (%)	12%
Tamaño (mm)	77
Costo de almacenamiento de la materia prima (USD/t)	\$ 3.00

Resumen de parámetros operacionales

Caldera	Stoker @20 bar
Turbina	Turbina de vapor a contrapresión
Factor de capacidad de uso	33%
Conversión de potencia (kWh/kg materia prima)	5.89
Eficiencia de la caldera (%)	63%
Eficiencia de la turbina (%)	17%
Pérdida de potencia por operación (%)	15%
Horas de operación por día	8
Pérdida de potencia en la red de distribución	6%

Parámetros financieros

Tasa de interés de créditos (%)	12%
Proporción de créditos (%)	50%
Plazo del crédito (años)	5
Tasa de descuento (%)	10%
Índice de costo de la planta durante 6/2014	157
Precio de la electricidad (USD/kWh) - calculado	\$ 1.87
Tiempo de vida del proyecto	20

Distancia de transporte de la materia prima		Cantidad transportada	
Distancia de producción de pequeña escala (km)	1	Pequeña escala (t/año)	167
Distancia de producción de mediana escala (km)	5	Mediana escala (t/año)	666
		Distancia de producción de gran escala (km)	10
		Gran escala (t/año)	1,665
		Costo de transporte (USD/t/km)	\$ 0.09

Figura 15: Costos de Procesamiento para la Generación de Potencia

En esta hoja de trabajo, el usuario necesitará ingresar datos adicionales en las celdas blancas, especialmente:

1. Pérdidas de potencia debido a la operación (%):

Pérdidas debido a la operación inapropiada del sistema motor de combustión. Se asumen que estás pérdidas son del 15%. Sin embargo, el usuario puede ingresar sus propios parámetros directamente (Figura 15, etiqueta 1).

Nota: Esto puede deberse a falta de control y monitoreo de las unidades de medida de presión de gas, composición del gas, fugas de aire o temperaturas, etc. Esto lleva a potencias de salida menores a la capacidad instalada.

Guía: Las horas de operación deben estar relacionadas con la demanda de electricidad en una zona rural dada. Por ejemplo, operar seis horas por día en la noche para cubrir la demanda de iluminación en el área rural A.

2. Horas de operación por día: El usuario ingresa las horas de operación por día del sistema de combustión⁶. Las horas de operación diarias se utilizan para calcular las horas de operación anuales totales y el factor de capacidad, asumiendo que el sistema de combustión opera 365 días al año (Figura 15, etiqueta 1).

3. Pérdidas de potencia en la red de distribución (%): El usuario identifica las pérdidas de potencia (%) en la red de distribución. Si esta información no se encuentra disponible, la siguiente base de datos puede ser utilizada:

<http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>

(The World Bank, n.d.) (Figura 15, etiqueta 1).

Guía: Las pérdidas de potencia en la distribución de la red eléctrica actual pueden ser utilizadas como aproximado.

4. Distancia de transporte de la materia prima a la planta de combustión: El usuario identifica una distancia estimada, en kilómetros, que se requerirá para transportar la materia prima. La distancia de transporte depende de la disponibilidad de biomasa en un área particular y de la cantidad de biomasa requerida para cada capacidad de producción (Figura 15, etiquetas 2 y 3).

Guía: Las plantas a pequeña escala utilizan menos biomasa que las media y gran escala. Por lo tanto, la distancia de transporte puede ser menor. Si la disponibilidad de la biomasa en esa área es alta y suficiente para suplir todas las escalas de producción, el usuario puede ingresar la misma distancia de transporte para todas las escalas.

Cuando los datos han sido ingresados, el usuario necesita seleccionar “<<VOLVER Datos de Entrada” para regresar a la hoja de Datos de Entrada Requeridos. El usuario puede repetir los mismos pasos para todas las materias primas

Para este ejemplo, el “Costo de producción 1” es “Tallo de yuca”, donde los valores usados para llevar a cabo el análisis son:

Pérdidas de potencia debido a la operación (%): 15%

Horas de operación por día: 8

Pérdidas de potencia en la red de distribución (%): 6%

La distancia de transporte de la materia prima a la planta de combustión:

Distancia para planta a pequeña escala: 1 km

Distancia para planta a mediana escala: 5 km

Distancia para planta a larga escala: 10 km

Las cantidades a transportar son generadas automáticamente:

Planta a pequeña escala: 167 t por año

Planta a mediana escala: 666 t por año

Planta a larga escala: 1,665 t por año

Estos parámetros se utilizan para análisis futuros.

⁶ (Nouni, Mullick, & Kandpal, 2007).

6 Supuestos y Limitaciones del *Componente Combustión*

Antes de iniciar el análisis, el usuario debe familiarizarse con las limitaciones y los supuestos de la herramienta y considerarlos durante el análisis, en particular en la interpretación de los resultados.

Las limitaciones del *Componente Combustión* son:

1. Se consideran tres capacidades de generación de electricidad: 10kW, 40kW and 100kW.
2. Se considera que el tiempo de vida de los equipos para el análisis financiero es de 20 años.

Los detalles de los supuestos y las ecuaciones de cálculo se presentan en el Anexo.

7 Resultados del *Componente Combustión*

7.1 Resumen del cálculo de los costos de producción (opcional)

Después de que los usuarios ingresan todos los datos requeridos (Pasos 1 a 5), el usuario tiene la opción de revisar el costo de producción detallado como se muestra en la Figura 16. Existen cinco secciones principales en esta hoja de resultados.

- **PARTE 1** (Figura 16, etiqueta 1) muestra la distribución de los costos de producción para las siguientes categorías: insumos, mano de obra, transporte de materia prima, almacenamiento, inversión, gastos generales de planta, costos generales y administrativos, intereses de préstamos e impuesto sobre la renta. Los costos totales de producción (USD/año) para tres capacidades de generación de potencia (10kW, 40kW and 100kW) se presentan para análisis comparativos.
- **PARTE 2** (Figura 16, etiqueta 2) muestra la generación total de potencia, que es la electricidad en unidades de kWh por año (nota: uso propio y pérdida de potencia en la red de distribución, se le ha restado). Estos valores se usan para calcular los ingresos del sistema de generación de potencia por combustión de biomasa. Los resultados se presentan para todas las tres capacidades de generación de potencia.
- **PARTE 3** (Figura 16, etiqueta 3) muestra el costo unitario de electricidad (USD/kWh) para todas las tres capacidades de generación de potencia.
- **PARTE 4** (Figura 16, etiqueta 4) resume los detalles del préstamo, por ejemplo, cantidad de préstamos, intereses de préstamos, pago anual de préstamos, etc., para el análisis financiero.
- **PARTE 5** (Figura 16, etiqueta 5) el botón "Análisis Financiero" abrirá la hoja de cálculo con el detalle del análisis financiero para cada sistema de generación de energía.

Detalles de los costos de producción

			Capacidad (kW de generación de energía)					
			10		40		100	
			Horas de operación por año 2,920		Horas de operación por año 2,920		Horas de operación por año 2,920	
			Análisis Financiero 10 kW		Análisis Financiero 40 kW		Análisis Financiero 100 kW	
Insumos	unidad	Precio (USD/unidad)	Cantidad (unidad/año)	Total (USD/año)	Cantidad (unidad/año)	Total (USD/año)	Cantidad (unidad/año)	Total (USD/año)
Materia prima	t	\$ 17.2	167	\$ 2,868	666	\$ 11,470	1,665	\$ 28,675
Agua de recuperación + aditivos químicos	m ³	\$ 0.9	76	\$ 69	305	\$ 277	763	\$ 693
Subtotal				\$ 2,937		\$ 11,746		\$ 29,368
Costos varios y de mano de obra	unidad	Precio (USD/persona-hora)	Cantidad (unidad)	Total (USD/año)	Cantidad (unidad)	Total (USD/año)	Cantidad (unidad)	Total (USD/año)
Trabajadores no cualificados	# trabajador	\$ 1.3	1	\$ 3,650	3	\$ 10,950	6	\$ 21,900
Trabajadores cualificados	# trabajador	\$ 2.0	1	\$ 5,840	1	\$ 5,840	2	\$ 11,680
Costos varios			20%	\$ 1,898	20%	\$ 3,358	20%	\$ 6,716
Subtotal				\$ 11,388		\$ 20,148		\$ 46,296
Transporte de materia prima	unidad	Precio (USD/t/km)	Cantidad (unidad)	Total (USD/año)	Cantidad (unidad)	Total (USD/año)	Cantidad (unidad)	Total (USD/año)
Materia prima (finca a la planta)	km	\$ 0.1	1	\$ 15	5	\$ 300	10	\$ 1,499
Subtotal				\$ 15		\$ 300		\$ 1,499
Almacenamiento	unidad	Precio (USD/t/año)	Cantidad (unidad)	Total (USD/año)	Cantidad (unidad)	Total (USD/año)	Cantidad (unidad)	Total (USD/año)
Materia prima	t	\$ 3.00	88	\$ 264	350	\$ 1,050	875	\$ 2,625
Subtotal				\$ 264		\$ 1,050		\$ 2,625
Inversión	unidad	años	Total (USD)	Depreciación (USD/año)	Total (USD)	Depreciación (USD/año)	Total (USD)	Depreciación (USD/año)
Equipos	USD	20	\$ 35,144	\$ 1,757	\$ 131,596	\$ 6,580	\$ 339,056	\$ 16,953
Construcción	USD	20	\$ 1,910	\$ 95	\$ 2,500	\$ 125	\$ 3,679	\$ 184
Instalación	USD	20	\$ 271	\$ 14	\$ 1,086	\$ 54	\$ 2,714	\$ 136
Red de distribución	USD	20	\$ 1,541	\$ 77	\$ 6,165	\$ 308	\$ 15,412	\$ 771
Inversión total			\$ 38,867		\$ 141,346		\$ 360,861	
			Depreciación total	\$ 1,943	Depreciación total	\$ 7,067	Depreciación total	\$ 18,043
Costos de mantenimiento	25%		\$ 466		\$ 1,767		\$ 4,811	
Subtotal			\$ 2,429		\$ 8,834		\$ 22,554	
Otros costos	unidad	Tasa (%)	Total (USD/año)	Total (USD/año)	Total (USD/año)	Total (USD/año)	Total (USD/año)	
Gastos generales de planta	USD	20%	\$ 1,896	\$ 3,711	\$ 1,896	\$ 3,711	\$ 1,896	\$ 3,711
Costos generales y administrativos	USD	10%	\$ 1,681	\$ 3,372	\$ 1,681	\$ 3,372	\$ 1,681	\$ 3,372
Intereses de créditos	USD	12%	\$ 325	\$ 650	\$ 325	\$ 650	\$ 325	\$ 650
Subtotal			4,001	8,631	4,001	8,631	4,001	8,631
			Total (USD/año)	Parte (%)	Total (USD/año)	Parte (%)	Total (USD/año)	Parte (%)
Costos de operación totales			\$ 14,604	69%	\$ 33,245	66%	\$ 73,788	64%
Costos fijos totales			\$ 2,429	12%	\$ 8,834	17%	\$ 22,554	20%
Otros costos totales			\$ 4,001	19%	\$ 8,631	17%	\$ 18,817	16%
Costos de producción totales			\$ 21,034		\$ 50,711		\$ 115,159	

Generación de energía

	unidad	Cantidad (unidad)	Cantidad (unidad)	Cantidad (unidad)
Generación de Energía	kWh/año	24,820	99,280	248,200
Electricidad - uso propio	kWh/año	-2,482	-9,928	-24,820
Pérdida de potencia en la red de distribución	kWh/año	-1,489	-5,957	-14,892
Subtotal		20,849	83,395	208,488

Costo de producción total + distribución

			Capacidad (kW de generación de energía)					
			10		40		100	
Costo unitario de la electricidad (USD/kWh)			\$ 1.01		\$ 0.61		\$ 0.55	
Interés promedio del crédito	unidad	Proporción de créditos (%)	Inversión total (USD)	Monto del crédito (USD)	Inversión total (USD)	Monto del crédito (USD)	Inversión total (USD)	Monto del crédito (USD)
Monto del crédito	USD	50%	\$ 38,867	\$ 19,433	\$ 141,346	\$ 70,673	\$ 360,861	\$ 180,430
Tasa de interés de créditos	%			12%		12%		12%
Pago del crédito	USD/mes		\$ -432	\$ -1,572	\$ -1,572	\$ -5,724	\$ -5,724	\$ -21,168
Pago anual del crédito	USD/año		\$ -5,187	\$ -18,865	\$ -18,865	\$ -67,488	\$ -67,488	\$ -248,163
Plazo del crédito	año			5		5		5
Pago total del crédito	USD		\$ -25,937	\$ -94,325	\$ -94,325	\$ -338,163	\$ -338,163	\$ -1,240,814
Intereses de créditos	USD		\$ -6,504	\$ -23,652	\$ -23,652	\$ -85,163	\$ -85,163	\$ -306,384
Interés promedio del crédito	USD/año		\$ -325	\$ -1,183	\$ -1,183	\$ -4,244	\$ -4,244	\$ -15,271

Figura 16: Costos de Producción de Electricidad Detallada por Capacidad de Generación de Potencia

Para este ejemplo, el costo total de producción de electricidad cuando se utiliza tallo de yuca en una planta de 10 kW de capacidad es 21,034 USD/año y el costo unitario de la electricidad es de 1.01 USD/kWh. La generación total de potencia es de 20,849 kWh/año (Figura 16).

7.2 Resumen de resultados por materia prima

La información presentada en esta sección busca ayudar al usuario en el proceso de toma de decisiones para soportar el desarrollo de un sistema de combustión para generación en su país. El objetivo de estos resultados es responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los costos de inversión y los costos de producción por kWh para las diferentes de producción y la selección de materias primas?
- ¿Cuánta biomasa y área es requerida para asegurar el suministro de biomasa para el desarrollo de los sistemas de combustión?
- ¿Cuántas plantas de combustión potenciales pueden ser desarrolladas con base en la disponibilidad de la biomasa?
- ¿Cuántos hogares ganan acceso a electricidad por medio de la combustión de biomasa?
- ¿Cuántos empleos pueden ser creados a través de la combustión de biomasa?
- ¿Qué tipo de materia prima es más adecuada y puede ser promovida para la combustión de biomasa?
- ¿Cuál es la viabilidad financiera de un sistema de combustión?

Los resultados para el *Componente Combustión* se dividen en tres categorías principales: Costos de Producción e Inversión; Operación de la Planta; y Análisis Financiero.

1. El usuario primero selecciona la materia prima (Figura 17, etiqueta 1) que se encuentra desplegando el menú. Los resultados para esa materia prima específica serán generados.
2. Los costos de producción e inversión se presentan como sigue:
 - Costo de producción y distribución de la electricidad (USD por kWh) (Figura 17, etiqueta 2). El usuario puede comparar el costo de producción con el precio de la electricidad (de acuerdo con el método seleccionado en el Paso 3)
 - Distribución de los costos de (%) (Figura 17, etiqueta 3).
 - Costo total de inversión (USD) del sistema de combustión de acuerdo con la capacidad de generación de potencia (Figura 17, etiqueta 4).

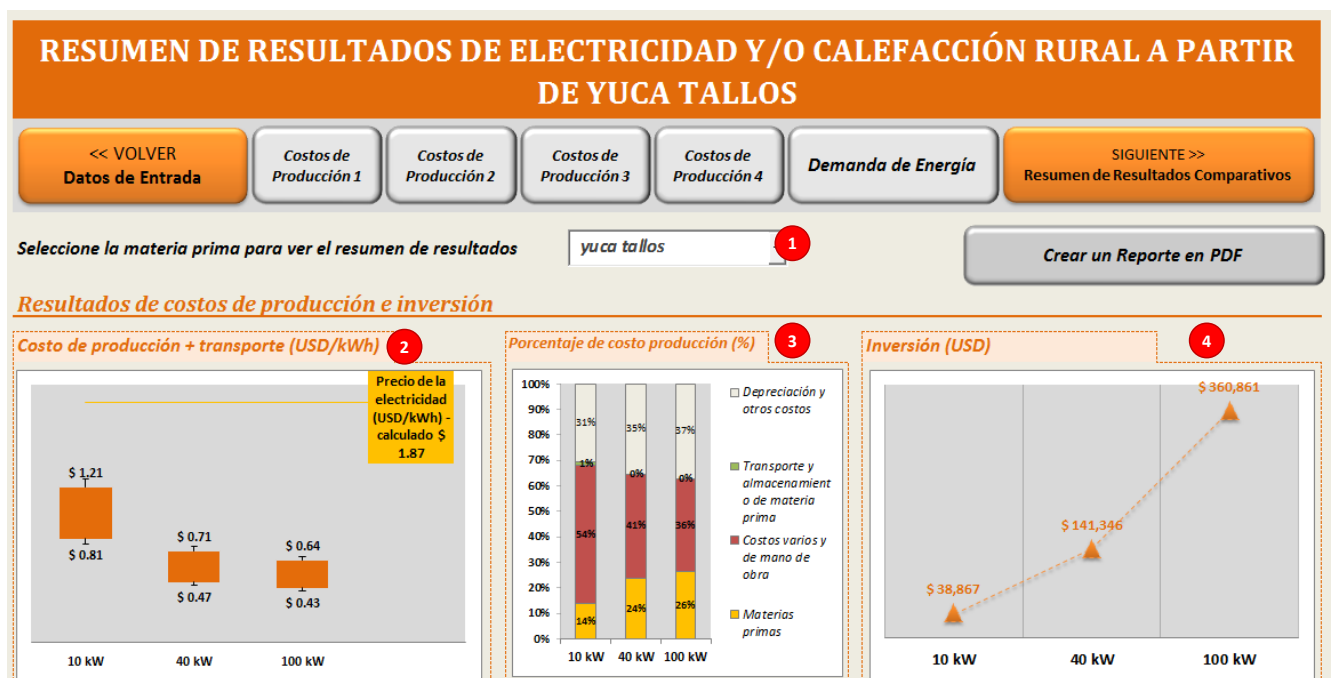


Figura 17: Resultados de los Costos de Producción e Inversión

En este ejemplo, para el Tallo de yuca, los costos de producción incluidos los costos de distribución de 10 kW variaban entre 0.81-1.21 USD por kWh. Estos costos unitarios son menores que el precio de la electricidad de 1.87 USD/kWh (Método 1 en el Paso 2 fue seleccionado). Por lo tanto, esta planta es una inversión factible y atractiva, comparado con la posibilidad de tener una planta basada en diésel. El costo total de inversión para 10kW es 38,867 USD. Para otras capacidades predefinidas, referirse a la Figura 17.

3. Los resultados técnicos y operativos se presentan como sigue:
 - Materia prima requerida para operar a cada una de las capacidades de producción (toneladas por año) (Figura 18, etiqueta 1).
 - Requerimiento de área de materia prima para producir la biomasa suficiente para ejecutar la operación (hectárea) (Figura 18, etiqueta 2).
 - Número de plantas de combustión con base en la disponibilidad de la materia prima (Figura 18, etiqueta 3).
 - Número de hogares que pueden ser suplidas con los diferentes sistemas de combustión (Figura 18, etiqueta 4).
 - Número total de trabajos que pueden ser creados a través de la implementación de sistemas de combustión predefinidos (Figura 18, etiqueta 5).

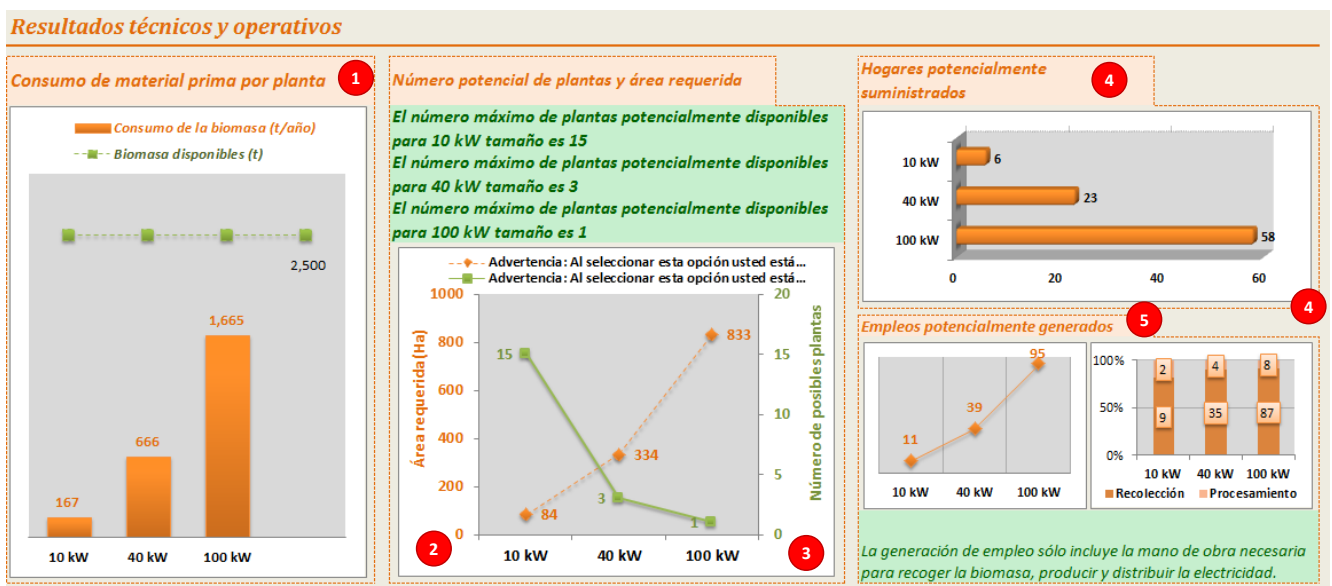


Figura 18: Resultados de Operación

Para el ejemplo con el tallo de yuca, la materia prima disponible son 2,500 toneladas por año que es suficiente para suplir todas las capacidades de producción. De acuerdo con la disponibilidad de la materia prima, habrá 15 plantas potenciales de 10 kW de capacidad que requieren 84 hectáreas de materia prima. Son 6 hogares los que pueden ser suplidos con electricidad a partir de una planta de 10 kW. Además, la creación de empleos potenciales de una planta de combustión de 10 kW de capacidad es de 11 empleos para recolección de materia prima y operación de la planta. Para otras capacidades predefinidas referirse a la Figura 18.

4. Los resultados del análisis financiero (antes de impuestos) se generan con base en los siguientes indicadores financieros:
- Valor Presente Neto (VPN) (Figura 19, etiqueta 1)
 - Tasa Interna de Retorno (TIR) (Figura 19, etiqueta 2)

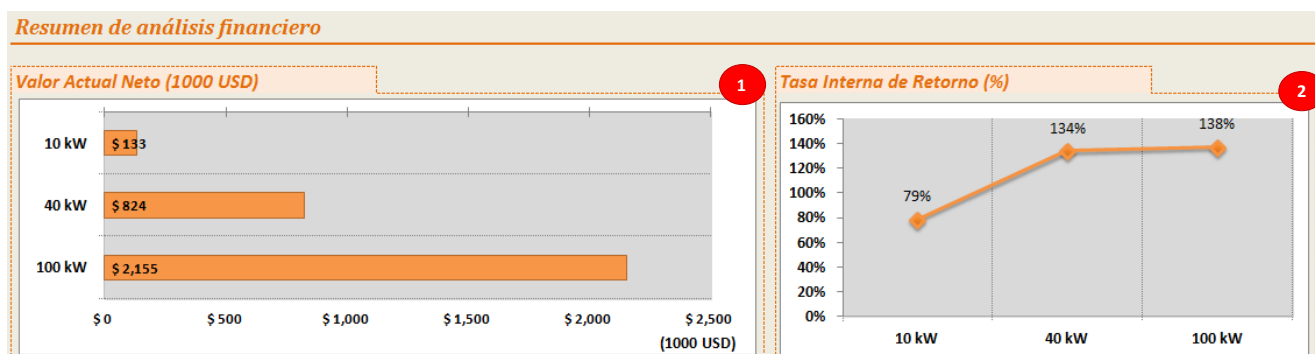


Figura 19: Resultados del Análisis Financiero

Para el ejemplo de tallo de yuca, el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para todas las plantas son positivos como lo muestra la Figura 19.

Se puede concluir que el tallo de yuca es apropiado para la generación de potencia para todas las capacidades de planta.

El usuario puede exportar los resultados en formato PDF utilizando “Crear Reporte en PDF” y siguiendo las instrucciones (Figura 17-etiqueta A).

7.3 Resumen de resultados comparativo

La información presentada en esta sección busca ayudar al usuario en el proceso de toma de decisiones para soportar el desarrollo de combustión de biomasa para generación de potencia en áreas rurales. El usuario puede comparar los resultados a través de las diferentes materias primas seleccionadas en el análisis.

1. El usuario primero selecciona las materias primas, haciendo clic en ella(s), que el usuario quiere revisar. Los resultados para esa materia prima será generada.
2. La comparación de los resultados se presenta así:
 - Comparación de los costos de producción por tipo de materia prima (USD/kWh) (Figura 20, etiqueta 1)
 - Generación neta de energía y el factor de uso de la capacidad de la planta por materia prima (Figura 20, etiqueta 2)
 - Número de plantas de combustión potenciales que pueden ser desarrolladas por materia prima (Figura 20, etiqueta 3)
 - Número total de empleos que pueden ser generados (Figura 20, etiqueta 4)
 - Número total de hogares que pueden ser suplidos (Figura 20, etiqueta 5)
 - Comparación del VPN (antes de impuestos) a través de las materias primas seleccionadas (Figura 20, etiqueta 6)

Guía: Estos resultados pueden ayudar a identificar el tipo de material prima y la escala de producción que es más viable y quede ser promovida sistemas de combustión.

- Comparación de la TIR (antes de impuestos) a través de las materias primas seleccionadas (Figura 20, etiqueta 7)

El usuario puede exportar los resultados en formato PDF utilizando “Crear Reporte en PDF” y siguiendo las instrucciones (Figura 20, etiqueta A).

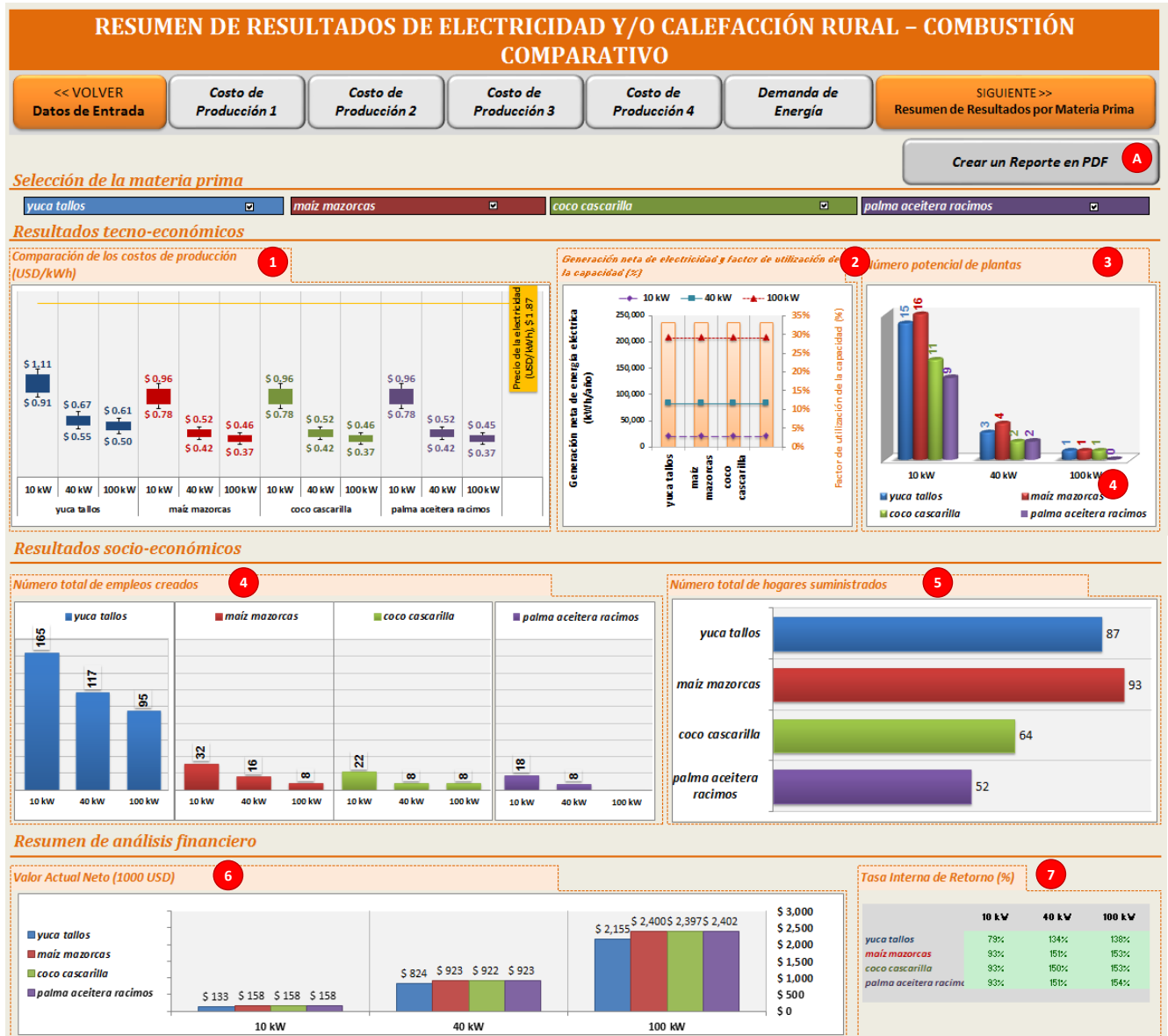


Figura 20: Disposición de los Resultados Comparativos

Para este ejemplo, el costo de producción de electricidad cuando se utiliza cáscara de palma de aceite como materia prima es menor para todas las capacidades de planta comparada con las otras materias primas. Tallo de yuca y mazorca de maíz presentan el mayor costo de producción. Notablemente, todas las materias primas proporcionan VPN y TIR positivos como se muestra en la Figura 20. A partir de este análisis, el usuario puede concluir que:

1. Tallo de yuca, mazorca de maíz, coco y cáscara de palma de aceite son materias primas alternativas factibles y disponibles para generación de potencia para las tres capacidades de producción.
2. Dada la disponibilidad de la materia prima, un gran número de plantas a partir de mazorca de maíz pueden ser creadas, impactando positivamente el número de hogares suplidos en el país.
3. Desde el punto de vista de creación de empleo el tallo de yuca es la mejor opción.
4. La cascara de palma de aceite es factible y está disponible para generación de potencia de 10 kW o 40 kW, pero no es suficiente para una capacidad de 100 kW.

8 Anexo

8.1 Metodología y Resultados

Esta sección describe las metodologías integradas en el *Componente Combustión*. También incluye una descripción de las ecuaciones que soportan el análisis. Las ecuaciones no son visibles al usuario, pero su estructura y contenido podrían ser importantes para aquellos que las actualizan y/o trabajan en mejorar la herramienta.

8.1.1 Cálculo de costo de los insumos requeridos

Los insumos requeridos consisten en el costo de la materia prima (biomasa), y el costo del diésel para el arranque. Las ecuaciones utilizadas para llevar a cabo los cálculos de los costos para estos ítems se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Ecuaciones de Costos de los Insumos Requeridos

Ítem	Ecuación y Supuesto	Observación
Producción de vapor	$ST = PG \times 3,600 / TE * (LW + SW) / OP$ <p>Dónde: PG es la velocidad de generación de potencia (kWh) TE es la eficiencia de la turbina LW es la entalpía de vaporización del agua (MJ/kg) at 10 Bar SW es la entalpía de cambio del agua (MJ/kg) de 1 Bar to 10 Bar OP son las horas de operación por periodo (horas por año)</p>	<p>Valor por defecto de OP es 2920 horas por año Valor por defecto de TE se asume igual a 17%.</p>
Cantidad de materia prima	$QF = HB \times ST \times 10 / [BE \times PC \times (1 - \text{Pérdida de potencia debida a la operación}) * 3.6E6]$ <p>Dónde: QF es la cantidad de materia prima (tonelada por año) HB es el calor de combustión en la caldera (MJ/kg) BE es la eficiencia de la caldera PG es la generación de potencia (kWh por año) PC es la conversión de potencia (kWh por kg de materia prima)</p>	<p>PC varía con respecto al tipo de materia prima Se asume una pérdida de potencia debida a operación de 15% Valor por defecto para HB se asume igual a 63%.</p>
Agua de reposición	$WM = MR \times ST \times OP / 1000$ <p>Dónde: WM es el agua de reposición (m³ por año) MR es la tasa de agua de reposición (%) OP son las horas de operación (horas por año)</p>	<p>Valor por defecto para MR se asume igual al 35%.</p>
Costos totales de insumos	$TIC = (QF \times Cf) + (WM \times Cw) + (DC \times Cd)$ <p>Dónde: TIC es el costo total de insumos (USD por año) QF es la cantidad de materia prima (tonelada por año) WM es el agua de reposición (m³ por año) DC es el consumo de diésel (litros por año) Cf es el costo unitario de la materia prima (USD por tonelada) Cw es el costo unitario del agua (USD por m³) Cd es el costo unitario del diésel (USD por litro)</p>	<p>Costo del oxígeno como agente gasificador y del vapor no son considerados en esta herramienta.</p>
Generación de energía (PG) (kWh por año)	<p>Capacidad de potencia (kW) x Horas de operación por año</p> <p>Dónde, Horas de operación por año = Horas de operación por día x 365 días por año</p>	<p>Horas de operación por año ingresado por el usuario.</p>

Para calcular el consumo de biomasa como materia prima

La cantidad de materia prima se calcula con base en la generación de potencia en kWh por año y en la conversión de potencia de biomasa a electricidad a través de un sistema de combustión.

$$\text{Producción de vapor} \left(\frac{t}{\text{año}} \right) = \frac{\text{Velocidad de generación de potencia (kWh)} \times 3600 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \right)}{\text{Eficiencia de la turbina (\%)} \times (\Delta H_{vap} + \Delta H_{liq}) \times \text{Horas de operación} \left(\frac{h}{\text{año}} \right)}$$

Por lo tanto, el consumo de biomasa (kg/año) es calculado por

$$= \frac{\Delta H_{caldera} \times \text{Producción de vapor} \left(\frac{t}{\text{año}} \right) \times 10}{\text{Eficiencia de la caldera (\%)} \times \text{Conversión de potencia máxima} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kg biomass}} \right) \times (1 - \text{Pérdidas de potencia (\%)})}$$

Sin embargo, para calcular el consumo de biomasa (kg/año) con base en la generación de potencia real se debe tener en cuenta “las pérdidas de potencia debidas a la operación”. Estas pérdidas son debidas a operación inapropiada del sistema de motor de combustión. Esto incluye la falta de control y monitoreo de las unidades de medición de presión de gas, composición del gas, fugas de gas, o temperaturas, etc. Por lo tanto, estas causas conducen a una salida de potencia menor que la capacidad instalada. Estas pérdidas se asumen igual al 15%.

8.1.2 Cálculo del costo de la mano de obra requerida

Este paso presenta las ecuaciones y suposiciones para calcular los costos de mano de obra y misceláneos con base en la capacidad de generación de potencia como lo muestra la Tabla 3.

Tabla 3: Ecuaciones de Costo de Mano de Obra y Misceláneos

Ítem	Ecuación y Supuesto	Observación
Número de empleados no calificados	Para capacidad de 10kW 1 persona Para capacidad de 40kW 3 personas Para capacidad de 100kW 6 personas	(Nouni et al., 2007) (Dasappa, Subbukrishna, Suresh, Paul, & Prabhu, 2011)
Número de empleados calificados	Para capacidad de 10kW 1 persona Para capacidad de 40kW 1 persona Para capacidad de 100kW 2 personas	(Dasappa et al., 2011)
Costo total de mano de obra no calificada (USD por año)	Costo unitario de mano de obra no calificada x número de empleados no calificados x horas de operación por año	Costo unitario de mano de obra no calificada (USD/persona/hora) Ingresada por el usuario en “Datos de insumos requeridos” Horas de operación por año igual que en la Tabla 2.
Costo de mano de obra calificada (USD por año)	Costo unitario de mano de obra calificada x número de empleados calificados x horas de operación por año	Costo unitario de mano de obra calificada (USD/persona/hora) Ingresada por el usuario en “Datos de insumos requeridos” Horas de operación por año igual que en la Tabla 2.
Costos misceláneos (USD por año)	Porcentaje de costos misceláneos (%) x (Costo total de mano de obra no calificada + Costo total de mano de obra calificada)	Porcentaje de costos misceláneos ingresado por el usuario. Valor por defecto 10%
Costo de mano de obra total (USD por año)	Costo total de mano de obra no calificada + Costo total de mano de obra calificada + Costos misceláneos	

Note que los costos misceláneos consisten en beneficio de la mano de obra, seguro de salud y vida, suministros de operación y/o cargos de laboratorio (si existen).

8.1.3 Cálculo de costo del transporte requerido

Este paso presenta las ecuaciones de cálculo de los costos de transporte como los presenta la Tabla 4.

Tabla 4: Ecuaciones de Costo de Transporte de la Materia Prima

Ítem	Ecuación y Supuesto	Observación
Transporte de materia prima (campo a planta) (USD por año)	Costo unitario de transporte x Distancia de transporte x QF Donde: QF es la cantidad de materia prima (t por año)	Costo unitario de transporte (USD/t/día/km) y Distancia de transporte (km) ingresados por el usuario QF se calcula en la Tabla 2.

8.1.4 Cálculo de costo de almacenamiento

En la Tabla 5 se presentan las ecuaciones de cálculo para estimar los costos de almacenamiento.

Tabla 5: Ecuaciones de Costo de Almacenamiento

Ítem	Ecuación y Supuesto	Observación
Capacidad de almacenamiento (t/año)	La capacidad de almacenamiento instalada en la hoja "Calculadora de Almacenamiento" presionando en "Calculadora de Almacenamiento"	
Costo de almacenamiento (USD por año)	Costo de almacenamiento unitario x Capacidad de almacenamiento	Costo de almacenamiento unitario (USD/t/día) ingresado por el usuario con la guía proporcionada en el manual.

8.1.5 Cálculo de costo fijo

El costo fijo consiste en el costo asociado a equipos, construcción, instalación y red de distribución. La Tabla 6 presenta las ecuaciones y supuestos aplicados para calcular los costos fijos y los costos de depreciación.

Tabla 6: Ecuaciones de Costos Fijos

Ítem	Ecuación y Supuesto	Observación
Costo de equipos (EC) (USD)	La base de datos de los costos detallados proporciona y ajusta considerando el reemplazo de los equipos que tienen un tiempo de vida menor que el tiempo de vida del proyecto. Los costos consisten en el pre-tratamiento de la biomasa, el sistema de combustión, la turbina de contrapresión y el generador. EC en el periodo actual = EC (año base) x [Índice de costo de la planta (periodo actual) / Índice de costo de la planta (Año base)]	(U.S. Department of Energy, 2012a - 2012j) Índices de costo de la planta (periodo actual) ingresado por el usuario
Costos de construcción (BC) (USD)	La base de datos proporcionada incluye: construcción del sistema de combustión, motor de gas, piscina de agua y trabajo civil. BC en el periodo actual = BC (año base) x [Índice de costo de la planta (periodo actual) / Índice de costo de la	(U.S. Department of Energy, 2012a - 2012j) Índices de costo de la planta (periodo actual) ingresado por el usuario

	planta (Año base)]	
Costos de instalación (IC) (USD)	La base de datos proporcionada incluye: Estudio de factibilidad, desarrollo e ingeniería, instalación, montaje, puesta en marcha, entrenamiento, compra, servicios, seguros, desmonte, etc. IC en el periodo actual = IC (año base) x [Índice de costo de la planta (periodo actual) / Índice de costo de la planta (Año base)]	(Nouni et al., 2007) (Buchholz et al., n.d.) Índices de costo de la planta (periodo actual) ingresado por el usuario
Costo de la red de distribución (USD)	$(27.1 \times \text{Capacidad de potencia (kW)}) + (7.5 \times 10 \times \text{Número de hogares con acceso a electricidad})$ Dónde: Conexión y toma de tierra: 27.1 USD/kW. Cable de electricidad primaria: 7.5 USD/m Longitud promedio del cable de electricidad: 10 m/hogar	(Bouffaron et al., 2012) (Wiskerke et al., 2010)
Inversión total (USD)	Costo de equipos + Costo de construcción + Costo de instalación + Costo de la red de distribución	
Depreciación de equipos (USD por año)	Costo de equipos dividido por el tiempo de vida del proyecto	Método de la línea recta para el cálculo de la depreciación
Depreciación de construcción (USD por año)	Costo de construcción dividido por el tiempo de vida del proyecto	Método de la línea recta para el cálculo de la depreciación
Depreciación de instalación (USD por año)	Costo de instalación dividido por el tiempo de vida del proyecto	Método de la línea recta para el cálculo de la depreciación
Depreciación de la red de distribución (USD por año)	Costo de la red de distribución dividido por el tiempo de vida del proyecto	Método de la línea recta para el cálculo de la depreciación
Depreciación total (USD por año)	Depreciación de equipos + Depreciación de construcción + Depreciación de instalación + Depreciación de la red de distribución	Método de la línea recta para el cálculo de la depreciación
Costo de mantenimiento (USD por año)	Porcentaje de costo de mantenimiento (%) x Depreciación total	Porcentaje de costo de mantenimiento ingresado por el usuario Valor por defecto 10%
Costos fijos totales (USD por año)	Depreciación total + Costo de mantenimiento	

Nota: El índice de costo de la planta se utiliza para actualizar los costos de equipo, construcción e instalación al periodo actual. Por favor visite esta página web para mayor información:

http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_plant_cost_indexes. El supuesto en esta herramienta es que el índice de costo de la planta puede ser aplicado a cualquier tamaño de la misma. Se ha probado una aproximación aceptable al actualizar los costos de inversión.

8.1.6 Cálculo de otros costos

Los gastos generales de la planta se definen como los cargos a la producción por servicios, comodidades, nómina de planta. Los costos generales y administrativos comprenden rentas, seguros, y salarios de directivos, administrativos y ejecutivos. La

Tabla 7 muestra las ecuaciones para calcular el costo asociado con los gastos generales de la planta, costos generales y administrativos, pago promedio de intereses pro préstamos e impuestos corporativos.

Tabla 7: Ecuaciones de Otros Costos

Ítem	Ecuación y Supuesto	Observación
Gastos generales de la planta (USD por año)	Porcentaje de gastos generales de planta (%) x (Costo total de mano de obra + Costo de mantenimiento)	Porcentaje de gastos generales dado por el usuario. Valor por defecto 30%.
Costos administrativos y generales (USD por año)	Porcentaje de costos generales & administrativos (%) x (Costo total de insumos + costo total de mano de obra + Gastos generales de planta)	Porcentaje de costo generales & administrativos ingresado por el usuario. Valor por defecto 5%.
Pago promedio de los intereses de préstamo (USD por año)	<p>Cantidad de préstamo = Relación de préstamo (%) x Costo de inversión total</p> <p>Pago de préstamo (USD/mes) = PMT([Tasa de interés de préstamo/12],[12x Plazo de préstamo], Cantidad prestada)</p> <p>Pago anual de préstamo = Pago de préstamo (USD/mes) x 12 meses</p> <p>Pago total del préstamo = Pago anual de préstamo x Plazo del préstamo</p> <p>Pago de intereses de préstamo = Pago total de préstamo - Cantidad prestada</p> <p>Pago promedio de los intereses de préstamo = Pago de intereses de préstamo dividido por el tiempo de vida del proyecto</p>	PMT es la función financiera en Microsoft Excel para calcular el pago por préstamo con base en pagos constantes y en tasas de interés constantes.

8.1.7 Cálculo del costo de producción total y unitaria de la electricidad

La Tabla 8 presenta las ecuaciones de cálculo de los costos totales de operación, costos fijos totales, y el total de otros costos. Los resultados finales de estos costos se utilizan para calcular el costo total de producción de la electricidad y el costo unitario de producción por kWh.

Tabla 8: Ecuaciones del Costo Total de Producción

Ítem	Ecuación y Supuesto	Observación
Costos totales de operación (USD por año)	Costo anual de insumos + costo anual de mano de obra + costo anual de transporte + costo anual de almacenamiento	
Costos fijos totales (USD por año)	Costo fijo de depreciación + costo anual de mantenimiento	
Otros costos totales (USD por año)	Gastos generales de planta anuales + Costos generales & administrativos + Pago anual de préstamo + impuesto sobre la renta anual	
Costos totales de producción (USD por año)	Costos totales de operación + Costos fijos totales + Otros costos totales	
Costo de producción por kWh	Costo total de producción dividido por la generación de potencia	La ecuación de generación de potencia (kWh por año) se presenta en la Tabla 3.

8.1.8 Cálculo del ingreso del proyecto

La Tabla 9 presenta las ecuaciones para calcular los ingresos potenciales del sistema de combustión.

Tabla 9: Ecuaciones de Ingreso Potencial

Ítem	Ecuación y Supuesto	Observación
Ingreso potencial (USD por año)	$[\text{Generación de potencia} - \text{Electricidad para uso propio} - \text{Pérdida de potencia en la red de distribución}] \times \text{Precio de la electricidad}$ <p>Donde,</p> $\text{Pérdida de potencia en la red de distribución (\%)} \times \text{Generación de potencia}$	<p>Generación de potencia igual que en la Tabla 3.</p> <p>Electricidad para uso propio (kWh por año) Se asume igual al 10% de la generación de potencia.</p> <p>Pérdida de potencia en la red de distribución ingresada por el usuario en el Paso 4.</p>
Precio de la electricidad (USD/kWh)	Opciones seleccionadas por el usuario: Método 1 o Método 2 para definir el precio de la electricidad pagado por el usuario	Datos ingresados por el usuario en "Datos de Insumos Requeridos"

8.2 Datos requeridos para ejecutar la herramienta

La Tabla 10 incluye los datos requeridos para ejecutar el *Componente Combustión*.

Tabla 10: Datos Requeridos para Ejecutar la Herramienta

Datos	Definición y Fuentes
Biomasa y su residuo	El usuario selecciona la biomasa/cultivo y su residuo para un análisis detallado.
Precio de la materia prima	Si el precio de la materia prima no está disponible el usuario necesitará información sobre salarios por hora para empleados calificados y no calificados (USD por empleado por hora) y el consume de combustible de la maquinaria utilizada normalmente en operaciones agrícolas o forestales para calcular un aproximado de éste valor.
Precio del agua	El usuario ingresa el precio actual del agua (USD/m ³).
Costo de almacenamiento de la materia prima (USD por ton)	El usuario identifica el costo de almacenamiento de la materia prima. El usuario puede ingresar precios actuales de almacenamiento de la de productos agrícolas en el país. Si esta información no está disponible en el país, el usuario puede estimar esto con base en la selección del tipo de almacenamiento disponible en el país que proporciona la herramienta. Además, el tamaño del sitio de almacenamiento o contenedor es estimado utilizando la calculadora de almacenamiento de biomasa.
Tasa de stock de materia prima (%)	El usuario define este valor en la calculadora de almacenamiento de biomasa. Este valor define el porcentaje de biomasa que debe reservarse para operar la planta durante periodos de escasez.
El usuario selecciona la opción para identificar el precio de la electricidad pagado por el cliente (USD/kWh).	El precio de la electricidad puede ser el precio para la red nacional que es generada por otras fuentes de energía, por ejemplo, generador de diésel, energía solar, energía hidráulica, gas natural, etc. Para estimar el precio de la electricidad utilizando el generador de diésel, el usuario ingresa la capacidad del generador de diésel (kW), las horas de operación por día, días de operación por año, costo de transporte y distancia de transporte del diésel incluyendo los costos de mano de obra y de mantenimiento en la "Calculadora de precio de electricidad".
Costo de mano de obra	Trabajadores calificados y no calificados en unidades de USD por empleado por hora.
Horas dedicadas a la recolección de la materia prima	Horas dedicadas a la recolección de la materia prima por método manual o mecanizado.
El costo de transporte de la materia prima (campo/punto de recolección a planta) en unidades de USD por ton por km	El costo de transporte de la materia prima desde el punto de recolección (o campo) a la planta de combustión, el usuario ingresa el costo de transporte en unidades de USD por t por km. Si el transporte se realiza a pie o en bicicleta, el usuario puede incluir este costo en la recolección de la materia prima. De forma alternativa, el usuario puede estimar el costo utilizando los costos de mano de obra por hora, tiempo trabajado, cantidad de material

	que puede ser transportado y los kilómetros aproximados que pueden recorrerse con el método seleccionado.
Distancia de transporte de la materia prima a la planta de combustión en kilómetros por la capacidad de generación de potencia	La distancia de transporte se determina con base en la disponibilidad de la biomasa en un área particular en relación con la cantidad requerida para operar cada capacidad de generación de potencia.
Horas de operación por día para el sistema de combustión	El usuario proporciona un número estimado de horas por día que se espera que el sistema opere. La mayoría de la literatura indica que el sistema de combustión opera solo por pocas horas durante el día, por ejemplo en casos donde el sistema de combustión supe electricidad a hogares estos operan 4 horas normalmente en la noche. El usuario puede determinar este valor con base en demandas energéticas potenciales.
Pérdida de potencia en la red de distribución (%)	Esta información puede ser la pérdida actual en la red nacional. De forma alterna, se proporciona un link a la base de datos del Banco Mundial que compila pérdidas de distribución nacionales. Por favor visite: http://data.worldbank.org/indicador/EG.ELC.LOSS.ZS
Pérdida de potencia debido a la operación (%)	El usuario estima las pérdidas debidas a la operación. Estas pérdidas se deben a una operación inapropiada del sistema motor de combustión. Este incluye falta de control y monitoreo de las unidades de medición de la presión de gas, composición de gas, fugas de aire o temperaturas, etc.
Eficiencia del motor de gas (%)	Este parámetro es proporcionado por el fabricante del motor de gas.
Parámetros de costos	El porcentaje de los costos generales de planta, los costos generales y administrativos, los costos de mantenimiento y los costos misceláneos.
Parámetros financieros	Tasa de inflación (%) Tasa de descuento (%) Porción de préstamos (%) Tasa de interés de préstamos (%) Plazo del préstamo (años), Índice de costo de planta http://base.intratec.us/home/ic-index
Demanda de electricidad por hogar	El usuario ingresa datos en el módulo <i>Estado del País</i> . El consumo de electricidad estará basado en el tipo de electrodomésticos utilizados normalmente en hogares rurales, la cantidad de estos electrodomésticos por hogar rural y las horas de operación promedio de los electrodomésticos. Note que este valor será utilizado como una aproximación para identificar el número de hogares potenciales que pueden ser electrificadas. Un análisis más detallado y localizado de acuerdo con los perfiles de demanda de energía y marco tiempo será requerido para realizar una planeación e implementación adecuadas de un sistema de combustión.

9 Referencias

- Buchholz, T., I. Da Silva, and J. Furtado. *Electricity from wood-fired gasification in Uganda—a 250 and 10kW case study*. in *Domestic Use of Energy Conference (DUE), 2012 Proceedings of the 20th*. 2012. IEEE.
- Bouffaron, P., F. Castagno, and S. Herold, *Straight vegetable oil from Jatropha curcas L. for rural electrification in Mali—A techno-economic assessment*. Biomass and Bioenergy, 2012. **37**: p. 298-308. IRENA, *Biomass for Power Generation, in Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series* 2012. p. 60.
- Nouni, M., S. Mullick, and T. Kandpal, *Biomass gasifier projects for decentralized power supply in India: A financial evaluation*. Energy Policy, 2007. **35**(2): p. 1373-1385.
- Patel, B., Gami, B., & Bhimani, H. (2011). Improved fuel characteristics of cotton stalk, prosopis and sugarcane bagasse through torrefaction. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 372–375. doi:10.1016/j.esd.2011.05.002
- Pinheiro, G., et al., *Rural electrification for isolated consumers: Sustainable management model based on residue biomass*. Energy Policy, 2011. **39**(10): p. 6211-6219.
- Quaak, P., H. Knoef, and H.E. Stassen, *Energy from biomass: a review of combustion and gasification technologies*. Vol. 23. 1999: World Bank Publications.
- U.S. Department of Energy's (DOE) and Advanced Manufacturing Office (AMO), *Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry*, 2004. p. 64.
- U.S. Department of Energy's (DOE), *Improve Your Boiler's Combustion Efficiency*, 2012a, Advance Manufacturing Office. p. 2.
- U.S. Department of Energy's (DOE), *Consider Steam Turbine Drives for Rotating Equipment*, 2012b, Advance Manufacturing Office. p. 2.
- U.S. Department of Energy's (DOE), *Use Feedwater Economizers for Waste Heat Recovery*, 2012c, Advance Manufacturing Office. p. 2.
- U.S. Department of Energy's (DOE), *Return Condensate to the Boiler*, 2012d, Advance Manufacturing Office. p. 2.
- U.S. Department of Energy's (DOE), *Benchmark the Fuel Cost of Steam Generation*, 2012e, Advance Manufacturing Office. p. 2.
- U.S. Department of Energy's (DOE), *Minimize Boiler Short Cycling Losses*, 2012f, Advance Manufacturing Office. p. 2.
- U.S. Department of Energy's (DOE), *Replace Pressure-Reducing Valves with Backpressure Turbogenerators*, 2012g, Advance Manufacturing Office. p. 2.
- U.S. Department of Energy's (DOE), *Consider Steam Turbine Drives for Rotating Equipment*, 2012h, Advance Manufacturing Office. p. 2.
- U.S. Department of Energy's (DOE), *Considerations When Selecting a Condensing Economizer*, 2012i, Advance Manufacturing Office. p. 3.

U.S. Department of Energy's (DOE), *Consider Installing High-Pressure Boilers with Backpressure Turbine-Generators*, 2012j, Advance Manufacturing Office. p. 3.

Wiskerke, W., et al., *Cost/benefit analysis of biomass energy supply options for rural smallholders in the semi-arid eastern part of Shinyanga Region in Tanzania*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010. **14**(1): p. 148-165.