

Generación de energía eléctrica en sistemas de generación distribuida de pequeña escala usando bioenergía en Nicaragua

Electric Power Generation in small-scale distributed generation systems using bioenergy in Nicaragua

Napoleón Vicente Blanco Orozco¹

Forma de citar: Blanco Orozco, N. (2021). Generación de energía eléctrica en sistemas de generación distribuida de pequeña escala usando bioenergía en Nicaragua. Revista fuentes, el reventón energético, 19(1), 21–31. <https://doi.org/10.18273/revfue.v19n1-2021003>

Resumen

En este artículo se presentan los resultados de un estudio que indagó sobre la posibilidad de generar electricidad en sistemas de generación distribuida utilizando los residuos agrícolas a pequeña escala en la región del oeste de Nicaragua; se utilizaron sistemas de información geográfica (SIG) para evaluar el potencial de energía eléctrica de la biomasa realizando un análisis espacial que permitió determinar la cantidad de residuos disponibles. Además, se obtuvo un modelo conceptual de localización de biocentrales de generación y se calculó el potencial energético teórico disponible. Se utilizó el programa HOMER para simular la generación de energía eléctrica, considerando el potencial energético determinado de las regiones en estudio, y se determinó su posibilidad técnica; no obstante, se comprobó que el costo nivelado de la generación usando biomasa residual tiene un valor mayor al de la red, y, por lo tanto, su empleo para la generación de electricidad no es rentable en las condiciones actuales del mercado energético nicaraguense.

Palabras clave: biomasa, residuo agrícola, generación de energía eléctrica, sistemas de información geográfica.

Abstract

In this article the results of a study that sought to investigate whether it is technically possible to generate electricity in distributed generation systems using small-scale agricultural waste in the western region of Nicaragua are presented, for which Geographic Information Systems (GIS) were used to assess the electrical energy potential of biomass by performing a spatial analysis that made possible to determine the quantity of available waste. In addition, a conceptual model for the location of power plants was obtained and the theoretical available energy potential was calculated. On the other hand, the HOMER program was used to simulate the power generation considering the determined energy potential of the regions under study and also its technical feasibility was completed; however, it was found that the levelized cost of generation using residual biomass has a higher value than that of the grid and therefore, its use for electricity generation is not profitable under the current conditions of the Nicaraguan energy market.

Keywords: biomass, agricultural residue, electric power generation, Geographic Information Systems.

¹ Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Electrotecnia y Computación, Universidad Nacional de Ingeniería. Apartado postal 5595, Managua, Nicaragua. E-mail: napoleon.blanco@fec.uni.edu.ni

Introducción

Ante los cambios climáticos que se observan en el planeta se plantea una discusión para adoptar nuevas formas de uso de los recursos naturales, dada la problemática mundial de crecimiento poblacional, la escasez de fuentes de energía y las convulsiones en los sistemas económicos. Particularmente, la búsqueda de fuentes de energía sostenibles obliga a dirigir esfuerzos académicos que lleven a la optimización de la explotación de los recursos energéticos, y, en el caso particular de este estudio de la biomasa residual agrícola, a la generación de energía eléctrica.

La motivación de esta investigación fue disponer de un estudio que explore la implementación de sistemas de producción de energía basados en la utilización de biomasa sólida de desechos de producción agrícola con criterios de sostenibilidad en la región del oeste de Nicaragua. Además, este estudio puede ser empleado para que los agentes del sector energético, con la posibilidad de participar en la producción de energía utilizando la biomasa, tengan a su disposición información que indique la viabilidad técnica de utilizar este tipo de energía y la disponibilidad de suficiente residuo de producción agrícola para la generación de energía eléctrica de manera rentable y sostenible.

Por lo anterior, este trabajo de investigación pretendió responder si es posible técnica y rentablemente generar electricidad en sistemas de generación distribuida utilizando los residuos de producción agrícola a pequeña escala en la región del oeste de Nicaragua. Para cumplir el fin previsto se evaluó el potencial de generación de energía eléctrica de este tipo de biomasa y se valoró la factibilidad técnica y financiera de su empleo para la generación de energía eléctrica en sistemas de generación distribuida a pequeña escala, empleando herramientas de simulación en casos de estudio.

Metodología

El estudio desarrollado fue de tipo explicativo, no experimental, con enfoque integrado o mixto, y se empleó razonamiento inductivo basado en el estudio de casos y la simulación, para evaluar el potencial de generación de energía eléctrica de la biomasa residual, procedente de la producción agrícola considerada en este estudio. Además, para cumplir el propósito de este trabajo de investigación, inicialmente, se procedió a desarrollar una revisión documental para evidenciar los métodos y herramientas empleados en este estudio. Para evaluar el potencial de la biomasa proveniente de residuos de la producción agrícola disponible y

analizar la factibilidad de su empleo para la generación de energía eléctrica en sistemas de generación distribuida a pequeña escala, se recopiló información de la cantidad y tipo de residuos agroindustriales disponibles en Nicaragua y, específicamente, en la zona de estudio de los departamentos del occidente León y Chinandega. Se obtuvo información de los sitios web de las siguientes instituciones: Ministerio de Energía y Minas (MEM), Empresa Nicaraguense de Electricidad (ENEL), Instituto Nicaraguense de la Energía (INE), Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (Marena), Instituto Nacional Forestal (Inafor), Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (Ineter) y del Comité Nacional de Productores de Azúcar (CNPA).

La información recopilada se obtuvo en forma de índices técnicos sobre el potencial para la conversión energética de la biomasa en cuestión, y se recopiló información cartográfica de áreas de cultivos agrícolas con potencial de desechos que pueden ser empleados para generar energía eléctrica.

Por otro lado, se emplearon sistemas de información geográfica (SIG) para evaluar el potencial de energía eléctrica en sistemas de generación distribuida a pequeña escala de la biomasa sólida proveniente de residuos de producción agrícola. De esta forma, se hizo un análisis espacial geográfico para la ubicación de las áreas donde está disponible el tipo de biomasa en estudio, a través del examen de fuentes cartográficas; se obtuvieron mapas temáticos considerando restricciones económicas, sociales y ambientales.

Además, con el uso de SIG se estudió la localización óptima de las centrales de generación usando el recurso biomásico para lograr un aprovechamiento sustentable. Se realizó un modelo conceptual de localización del recurso energético en el territorio con base en variables de estudio relevantes como ubicación de residuos y áreas de cobertura con potencial de residuos agrícolas. Adicionalmente, se consideraron variables restrictivas de ubicación de redes de distribución, ubicación de carreteras principales y secundarias y la ubicación de ciudades.

Las posibles ubicaciones óptimas se obtuvieron como resultado del análisis de las variables restrictivas sobre las áreas de ubicación de los recursos energéticos, utilizando las herramientas de geoprosesos del programa informático QGIS. En específico, se utilizaron buffer de distancias óptimas de ubicación cercanas a las redes de distribución y carreteras principales y lo más próximas posibles de los recursos, pero lejos de los centros poblacionales en las ciudades principales como restricción ambiental, para evitar

las posibles emisiones de gases contaminantes. Finalmente, se presenta un análisis geográfico del potencial del recurso en estudio reflejado en mapas temáticos de localización y ubicación posible de centrales de generación de energía con base en el energético en estudio.

Por otro lado, con el fin de valorar la factibilidad técnica del uso de residuos agrícolas en plantas de generación de energía, se aplicó la simulación de estudios de caso de proyectos tipo, usando el programa HOMER y generando escenarios de análisis técnico y financiero. Finalmente, se elaboró un reporte final con las conclusiones del estudio, lo que se presenta en el actual artículo.

Resultados y discusión

Las áreas de potencial de residuos biomásicos de producción agrícola fueron determinadas con base en un análisis espacial empleando el programa

informático libre QGIS; esto permitió, ubicar las áreas de cultivos como maíz, sorgo, maíz, y la identificación de tierras de descanso que tienen el potencial para utilizarse en la siembra de cultivos energéticos, lo que puede observarse en las figura 1 y 2. De esta forma, la ubicación geográfica de los residuos biomásicos de los departamentos de Chinandega y León se determinó con base en el análisis cartográfico de mapas obtenidos del Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria (INTA). A partir de los mapas obtenidos fue posible georeferenciar y determinar las áreas específicas de cada cultivo.

Así mismo, se ubicaron las ciudades, carreteras principales y secundarias que sirven de referencias para determinar las rutas de transporte de los residuos agrícolas hacia la posible ubicación de las plantas de gasificación y generación de energía eléctrica (véase figura 1 y figura 2). A continuación, se detallan los mapas temáticos generados con QGIS:

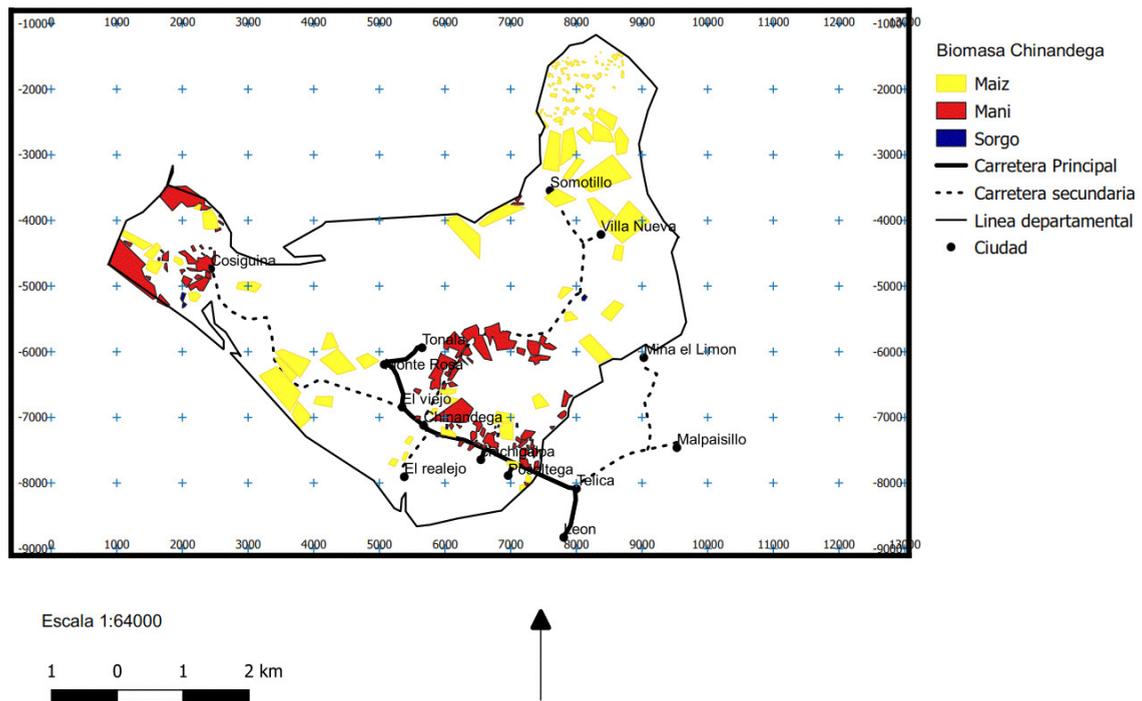


Figura 1. Mapa de áreas de cultivos con residuos agrícolas aptos para la generación de energía eléctrica en el departamento de Chinandega.

El área de producción agrícola fue georeferenciada y estimada usando las herramientas de localización espacial de QGIS. Luego, la producción agrícola o rendimiento se obtuvo a partir de índices de producción

recopilados de publicaciones oficiales de organismos gubernamentales nicaragüenses y publicaciones científicas relacionadas; estos índices se expresan en la tabla 1.

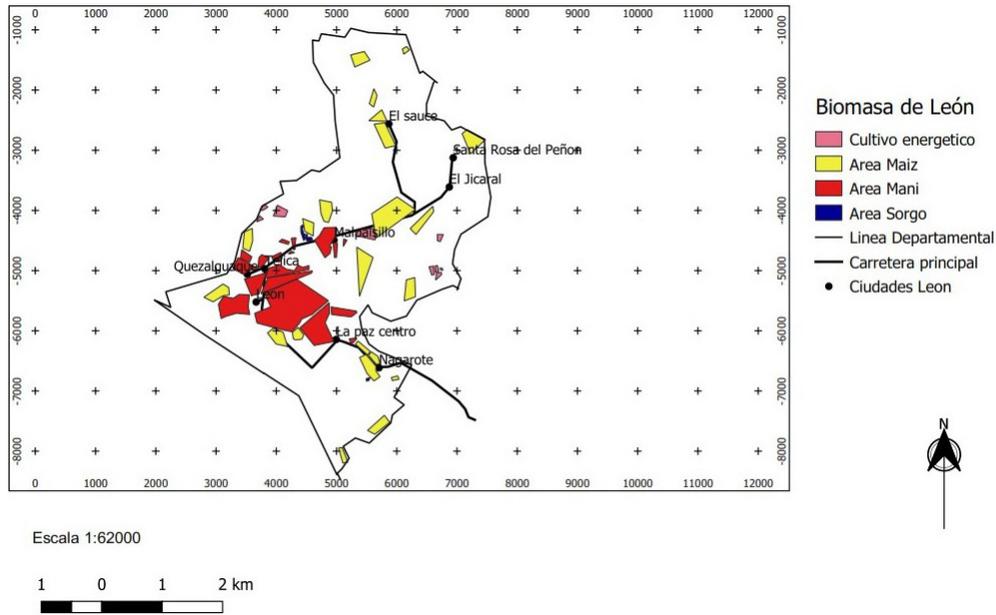


Figura 2. Mapa de áreas de cultivos con residuos agrícolas aptos para la generación de energía eléctrica en el departamento de León.

Algunos autores como Asprilla (2016) realizan la evaluación del recurso biomásico con base en información de índices de potencial energético de residuos agrícolas, proporcionados por instituciones nacionales y centros de investigación; este proceso coincide con el empleado en este escrito. De la misma forma, Domínguez (2002) estimó el potencial biomásico de una área empleando mapas e información estadística que procesó para obtener mapas temáticos que describen la energía disponible; enfoque muy similar al utilizado en el estudio.

En el mismo sentido, la metodología que combina el uso de SIG y el empleo de índices productivos para originar mapas temáticos que describan el potencial biomásico en la región de occidente de Nicaragua coincide parcialmente con Natarajan et al. (2015), quienes utilizaron el análisis documental, la observación de campo y el análisis de mapas usando SIG para determinar el potencial biomásico y el uso de este recurso en los sectores residenciales, comercial e industrial en los estados Maharashtra (MH), Madhya Pradesh (MP), y Tamil Nadu de la India.

Igualmente, Parhizkar y Smith (2006) usaron SIG, específicamente un programa SIG de mapeo gráfico, para la localización e identificación de la disponibilidad de residuos biomásicos del sector forestal, vertederos y de madereras de Virginia (USA). Adicionalmente, emplearon información de campo en forma de encuestas para determinar la cantidad de residuo disponible, lo

que posteriormente fue integrado en el SIG para que las ubicaciones y las cantidades de residuos pudieran ser representadas en mapas temáticos; una perspectiva similar se empleó en este trabajo.

Tabla 1. Índices de producción de residuos agrícolas.

| Tipo de recurso | Índice producción (t/ha*) | Referencia |
|---|---------------------------|---|
| Sorgo | 18 a 27 | Burgos y Oporta, 2011 |
| Maní | 4,39 | BCN, 2019 |
| Maíz | 1,85 | Hernandez y Zuniga, 2016; Castillo y Bird, 2013 |
| Cultivos energéticos oleaginosos, p. ej.: jatrofa | 11,5 | Velázquez, 2019 |

*Tonelada por hectárea.

Una vez obtenidas las áreas de producción y con la información sobre el rendimiento agrícola asociado a cada cultivo, se determinó la cantidad de residuo disponibles; esto se logró considerando un factor de residuo técnico asociado a cada cultivo específico. En este sentido, la cantidad de residuo considerado de la producción agrícola se infiere a partir de lo planteado por algunos autores como Ravera et al. (2008), quienes estiman el residuo biomásico considerando un factor entre el 25 al 30 % del peso total. Otros autores como

Poveda (2003) consideran el 60 % del total de materia seca dejada en campo; Barriga et al. (2014) razonan un 68 % de residuo agroindustrial.

Por lo tanto, para este estudio se desea aprovechar el 60 % de la capacidad de producción agrícola de las áreas georeferenciadas, consideradas como cantidad de materia biomásica dejada en campo por hectárea en los ciclos de producción agrícola, que para el estudio de caso se considera como un total anual. De esta manera, se obtuvo la cantidad disponible de residuos anuales que se describen en las tabla 1 y 2.

Tabla 2. Residuos agrícolas en el departamento de Chinandega.

| Tipo de cultivo | Área (ha) | Cantidad residuos, índice 60 % (t) |
|-----------------|-----------|------------------------------------|
| Maíz | 267 | 494 |
| Maní | 148 | 650 |
| Sorgo | 2,24 | 60 |

Tabla 3. Áreas de residuos agrícolas en el departamento de León.

| Tipo de cultivo | Área (ha) | Cantidad residuos, índice 60 % (t) |
|----------------------------------|-----------|------------------------------------|
| Maíz | 115,5 | 213,675 |
| Maní | 149,67 | 657,35 |
| Sorgo | 1,89 | 51,03 |
| Tierra para cultivos energéticos | 11,10 | 127,65 |

Una vez determinada la cantidad de residuos biomásicos disponible fue posible obtener el potencial energético teórico disponible a ser empleado en la generación de energía eléctrica, mediante un proceso intermedio de gasificación y su posterior disposición en un generador eléctrico. El potencial energético se obtuvo de referencias de índices de la literatura consultada; se consideró el poder calorífico de la biomasa residual en estudio. En la tabla 4 se proporcionan valores de referencia para el cálculo del potencial energético teórico de la biomasa en estudio.

A partir del poder calorífico de los residuos biomásicos, fue posible determinar el potencial energético teórico, considerando que este representaría la energía contenida en esta materia en condiciones teóricas de humedad del 15 %; por lo tanto, el poder calorífico determinado en la tabla 4 se aplica a las cantidades de residuos biomásicos calculados. El potencial teórico energético con base en los residuos agrícolas considerados se muestra en la tabla 5. Este equivale,

para el departamento de Chinandega, a 4.689.146 MWh anuales, y para el departamento de León, a 3.401.48 MWh anuales, para un total de 8.090.6311 MWh anuales.

Tabla 4. Poder calorífico de algunos tipos de biomasa.

| Tipo biomasa | PCI* (kcal/kg) humedad del 15 % | PCI (kcal/kg) | Fuente |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------|--|
| Cáscara de Maní | 3260 | 4205 | Fuente: IBERDROLA |
| Paja de cereales | 3300 | 4420 | Fuente: IBERDROLA |
| Arroz | 3314,93 | 4293,74 | Fonseca <i>et al.</i> , 2017; Quintero y Quiroga, 2017 |
| Maíz | 3431,17 | | Quintero y Quiroga, 2017 |
| Sorgo | 3632,41 | | Quintero y Quiroga, 2017 |
| Cultivo energético: eucalipto | 4373,8 | 4684 | Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina, 1995 |

*Poder calorífico inferior.

Tabla 5. Potencial energético teórico de los departamentos de Chinandega y León.

| Tipo cultivo | Cantidad de residuos (t) | PCI (kcal/kg) | Potencial Energético (kcal/año) | Potencial energético (MWh) anuales |
|---|--------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Chinandega | | | | |
| Maíz | 494 | 3431,17 | 1 694 997 980 | 1971,28 |
| Maní | 650 | 3260 | 2 119 000 000 | 2 464,397 |
| Sorgo | 60 | 3632,41 | 217 944 600 | 253,469 |
| Subtotal | | | | 4 689,146 |
| León | | | | |
| Maíz | 213,675 | 3431,17 | 733 155 249,75 | 852,65 |
| Maní | 657,35 | 3260 | 2,142,961,000 | 2 492,263 |
| Sorgo | 51,03 | 3 632,41 | 96 446,7 | 0,1121 |
| Tierra agrícola para cultivos energéticos | 11,10 | 4373,8 | 48 549 180 | 56,46 |
| Subtotal | | | | 3 401,48 |
| Total de Chinandega y León | | | | 8 090,6311 |

Localización de las centrales de generación de energía eléctrica

Por otra parte, una actividad que incide en la factibilidad técnico-económica del aprovechamiento de los residuos biomásicos es la logística de la gestión, que inicia con la recolección y pretratamiento inicial en campo, que incluiría embalar los residuos para su disposición en el centro de acopio dentro de zonas cercanas. Por esto, optimizar las distancias de recolección y la ubicación del centro de acopio y de la central de generación son aspectos por estudiar con detenimiento para lograr su optimización.

En este estudio se desarrolla un modelo conceptual de localización (véase figura 3) que tiene como entrada las áreas de ubicación de los recursos energéticos, y se opera con variables restrictivas como la cercanía a las carreteras principales que son recorridas por redes de distribución con circuitos primarios trifásicos con facilidad para la interconexión. Lo anterior se logró usando la herramienta de geoprocursos de buffer con una área de influencias de 400 m, donde es factible la ubicación de las centrales (véase figura 4).

Sobre el uso de restricciones para el análisis espacial con el propósito de determinar áreas con potencial para el uso y explotación de recursos energéticos como las empleadas en este artículo, y con el propósito de obtener mapas temáticos con áreas de cultivos con residuos biomásicos y los lugares posibles de ubicación de plantas de generación en el occidente de Nicaragua, algunos autores como Quijano y Botero (2010) emplearon un enfoque similar con SIG para establecer un marco de análisis y referencia espacial y establecieron restricciones físicas para determinar zonas no aptas, tales como las cercanías a centros urbanos y aquellas con restricciones ambientales como áreas protegidas, para el emplazamiento de proyectos energéticos usando a la vez un modelo de simulación: modelo espacial de potencial de energías renovables sostenibles (MODERGIS).

En este mismo sentido, Paz y Pérez (2013) utilizaron SIG y la evaluación multicriterio, incluyendo la consideración de restricciones, para determinar el potencial y el emplazamiento de centrales de biomasa forestal. Como resultado, obtuvieron mapas de zonas de mayor aptitud y localización óptima de las centrales. Adicionalmente, se consideró la restricción ambiental

de alejarse de las ciudades principales y unir a esta la cercanía a carretera, por lo que se utilizó la herramienta de corte para lograr obtener las áreas de influencia cercana a las redes y, por tanto, a las carreteras principales, pero lejanas (en un buffer de 400 m) de las ciudades principales (véase figura 4). El resultado de las zonas óptimas para la ubicación de los centros de acopio y central de generación se muestra en la figura 4, identificada como buffer de carretera principal, por lo que estas zonas serían óptimas considerando las restricciones descritas para la localización de la central de generación.

De forma similar, con el enfoque de uso de restricciones para la ubicación óptima de las centrales de biomasa, Muñoz et al. (2016) determinaron áreas óptimas de instalaciones de plantas de generación eólica utilizando SIG y estableciendo un modelo espacial de optimización que incluye variables y criterios de ubicación. Igualmente, Amador (2000) utilizó un análisis espacial para determinar cuáles son los parámetros que más influyen en la ubicación de centrales de generación usando energías renovables; este le permitió determinar la distribución de potencial de electrificación rural para Lorca, España.

De la misma forma, Tsikalakis et al. (2016), con el propósito de encontrar el mejor sitio para la ubicación de un sistema de generación fotovoltaica, usaron SIG analizando mapas digitales con la aplicación de restricciones como áreas a excluir, distancias de obstáculos. Este procedimiento es similar al empleado en este escrito, pues usa QGIS para determinar posibles ubicaciones de central de gasificación de biomasa, considerando la exclusión de áreas cercanas a los núcleos poblacionales para evitar posible contaminación aérea y condiciones de cercanía a red eléctrica y a carreteras.

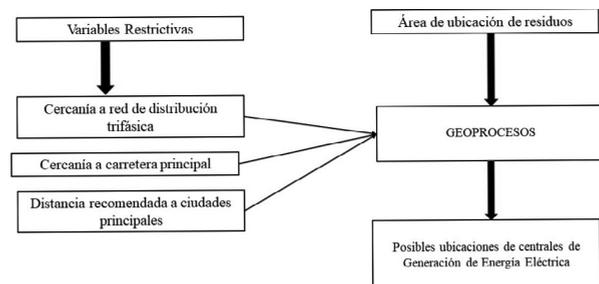


Figura 3. Modelo espacial de ubicación de centrales de generación de energía con residuos biomásicos.

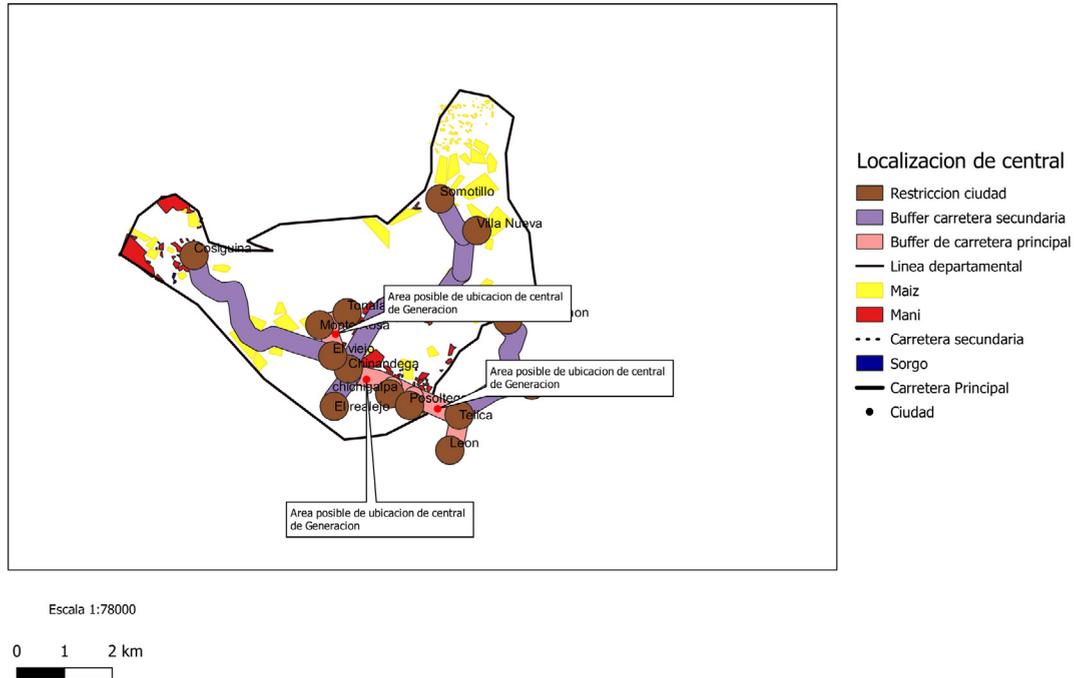


Figura 4. Mapa de localización óptima de posibles áreas de ubicación de central de generación usando biomasa en el departamento de Chinadega.

Factibilidad técnica de la generación de energía eléctrica usando residuos agrícolas

$$P_s = \frac{E * n}{8760 * fp} \tag{1}$$

Con el propósito de evaluar la factibilidad técnica del empleo de residuos biomásicos para la generación de energía eléctrica, se utilizó el programa de simulación HOMER: un modelo de optimización de sistemas de generación de energías conectados o no a la red y que permite simular diferentes configuraciones de sistemas de generación de energías convencionales y alternativas, seleccionando la opción con mayor factibilidad desde el punto de vista técnico y económico.

Donde:

- P_s = potencia de suministro MW
- E = es la energía generada anualmente MWh
- FP = factor de planta
- n = es la eficiencia del sistema de generación.

El objetivo de la simulación de este caso de estudio era determinar la factibilidad técnica y económica de operar un sistema de generación de energía con un motor de combustión alimentado con gas pobre, producto de la gasificación de los residuos agrícolas de cultivos de maíz, maní y sorgo del departamento de Chinandega. El potencial energético es de 4689 MWh anuales para Chinandega y de 3401 MWh anuales en el caso de León.

En el caso de Chinandega, el potencial de generación de energía eléctrica usando residuos biomásicos se refleja en una potencia de suministro de 0,440 MW para Chinandega y 0,3191 MW para el caso de León. El generador de energía eléctrica opera con combustible derivado de biomasa sólida en forma de gas, producto de un proceso de gasificación; es decir, se debe emplear un gasificador que tiene como salida un gas pobre que luego se suministra directamente al generador.

Para los casos de estudio se consideró que el sistema está conectado a la red; la potencia de suministro (P_s) se calcula con la ecuación uno. Además, se asume un factor de planta de 0,73 como dato promedio para plantas de cogeneración, y se estima una eficiencia de generación ideal de un 60 %.

Se debe considerar el potencial de generación teórico; en el caso de Chinandega se dispondría de un generador de 500 kW de capacidad nominal y en León, de uno de 405 kW. La evaluación se realizó considerando un horizonte de planeamiento de 15 años y una tasa interna de retorno del 20 %. Así mismo, para la simulación se consideran 15.000 horas de operación y una relación de carga mínima del 30 %. Adicionalmente, la simulación de biomasa se realiza

suponiendo que todos los residuos se gasifican y al final lo que se obtiene es un gas pobre (con un PCI de 5,5-5,9 MJ/kg). El sistema de generación distribuido se considera conectado a la red y el precio de venta promedio a la red se calcula según el precio promedio de compras mayorista del año 2020 de 0,15 USD/KWh; el precio promedio de venta de energía de la empresa distribuidora nicaraguense Disnorte- Dissur considerado fue de 0,2 USD/KWh.

Para Chinandega

El equipo generador de gas a emplear es de 500 kw con un costo de USD 1.500.000. Se considera que el generador tiene un consumo de 50 litros por hora. El costo del gas pobre es de USD 1 por litro, por tanto, el costo es de USD 50 por hora a capacidad máxima.

Para León

Se utiliza un equipo de generador equivalente a gas natural de 405 kW con un costo de USD 324.000. El gas tiene un valor aproximado de USD 1 por litro, por tanto, se considera un costo de USD 56 por hora a capacidad máxima.

Con los datos suministrado, el programa HOMER determina que para el caso de Chinandega resulta factible técnicamente la generación usando biomasa gasificada. No obstante, el costo nivelado de la generación con biomasa es mayor al de la red: 0,5 USD/KWh comparado con los USD 0,10/KWh. Por lo anterior, al simular el sistema con una carga base, la optimización del despacho de la generación a partir de la biomasa disponible diariamente da como resultado que el 88 % de la energía se suministraría por el generador de biomasa y el 12 % provendría de la red.

En el caso de León, el programa HOMER indica que resulta técnicamente factible la generación usando biomasa gasificada. No obstante, el costo nivelado de la generación a partir de biomasa es mayor al de la red de 0,3 USD/kWh comparado con los USD 0,10/kWh. Por lo anterior, al simular el sistema con una carga base, la optimización del despacho de la generación a partir de biomasa disponible diariamente da como resultado que el 87,2 % de la energía se suministraría por el generador de biomasa y el 12,8 % provendría de la red. Los altos costos nivelados de generación usando biomasa obtenidos en este estudio se deben principalmente al costo de inversión de las centrales de generación al usar biomasa por un efecto de mercado; se esperaría que, al aumentar la demanda de

estos equipos, los costos de inversión disminuyeran y por ende las plantas de gasificación pudieran ser rentables financieramente.

La demanda de energía eléctrica crece continuamente y, por lo tanto, se hace necesario la búsqueda de nuevas fuentes de energías alternativas al empleo del petróleo; en este sentido, la gasificación de la biomasa con fines energéticos tiene un potencial.

Dado que la demanda energética crece en relación con el aumento poblacional y su consumo per cápita, ha despertado interés por el empleo de energías renovables como la solar y la biomásica (Arias, Abregú y Rodríguez, 2019). Así mismo, el desarrollo del sector energético es clave en el progreso socioeconómico de un país, por consiguiente, la mejora de este sector a través de la introducción de fuentes renovables impacta en el crecimiento económico y en la inversión privada (Blanco-Camargo et al., 2020).

Los resultados de este estudio indican que a pesar de la factibilidad técnica del uso de residuos biomásicos para la generación de electricidad, se necesita el fomento del Estado para crear condiciones financieras que permitan la inversión del sector privado en este tipo de fuentes de energía renovables. Este punto es compartido por Vidal y Fontalvo (2018) cuando refieren que “las energías renovables son un desafío ingenieril”; estos autores concluyen que el uso de las tecnologías asociadas a las energías renovables “requiere un compromiso para el desarrollo de estas a través inversión financiera y políticas favorables”.

El empleo de fuentes alternas de energía requiere del apoyo gubernamental a través de políticas que establezcan un clima favorable para la disposición de recursos financieros para la inversión en nuevas tecnologías. Tal es el caso del empleo del gas natural, que es el combustible alternativo más limpio y respetuoso con el medio ambiente (Acevedo et al., 2013), sin embargo, requiere de inversión para que esté a disponible en el mercado y fomenta políticas públicas que motiven al sector privado a su gestión (Calderón, 2002).

Conclusiones

En este artículo se indagó sobre la posibilidad técnica y financiera del uso de biomasa residual agrícola proveniente de cultivos de maíz, sorgo y cultivos energéticos en la generación de energía eléctrica en centrales que utilicen gas pobre producto de la gasificación de la biomasa.

Empleando SIG se evaluó el potencial de energía eléctrica de la biomasa sólida proveniente de residuos de producción agrícola realizando un análisis espacial y un modelo conceptual para ubicar y determinar las áreas de cultivos. Se obtuvieron mapas de áreas de cultivos con residuos agrícolas, georeferenciando los sitios de producción agrícola. Además, a partir de índices técnicos se calculó la cantidad de residuos disponible en los departamentos de León y Chinandega. Se obtuvo un modelo conceptual de localización que permitió obtener zonas óptimas para la ubicación de los centros de acopio y central de generación.

Así mismo, se calculó el potencial energético teórico disponible, que puede ser empleado en la generación de energía eléctrica mediante un proceso intermedio de gasificación y su posterior disposición en un generador eléctrico. El potencial teórico energético con base en los residuos agrícolas considerados es, para el departamento de Chinandega, de 4.689.146 MWh anuales con una potencia de suministro de 0,44 MW y para el departamento de León, de 3.401.48 MWh anuales con una potencia de suministro de 0,32 MW.

Como resultados de simulación se obtuvo que para el caso de Chinandega resulta factible técnicamente la generación usando biomasa gasificada; no obstante, el costo nivelado de la generación es mayor al de la red. Similares resultados se obtuvieron para el caso de León, donde resulta técnicamente factible la generación, pero con un costo nivelado de la mayor al de la red.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Nacional de Ingeniería, pues a través de una beca de investigación fue posible obtener la licencia HOMER para utilizarla en este estudio.

Bibliografía

Acevedo, L., Jaramillo, E. y Blanco H. (2013). Estimación de emisiones de GEI (CO₂ y CH₄) generadas durante el transporte de gas natural en Colombia, aplicando metodología IPCC. *Revista Fuentes: El Reventón Energético*, 11(2), 43-51.

Amador J. (2000). Análisis de los parámetros técnicos en la aplicación de los sistemas de información geográfica a la integración regional de las energías renovables en la producción descentralizada de electricidad. [Tesis de doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales]. E.T.S.I. Industriales (UPM).

Arancibia M. (2008). El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación estratégica de los recursos energéticos. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, 7(20), 227-238.

Arias, W; Abregú, N. y Rodríguez, D. (2019). Evaluación experimental de la eficiencia de un colector solar de tubos evacuados sin y con tubo de calor. *Revista Fuentes: El Reventón Energético*, 17(1), 7-17.

Asprilla, D. (2016). Estudio de sistemas híbridos de energía renovable (solar – gasificación de biomasa) como alternativa para satisfacer necesidades energéticas en zonas no interconectadas del departamento del Chocó. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia.

Banco Central de Nicaragua (BCN). (2018). Sinópsis de Productos de Exportación. <https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/historico/sinopsis/index.php>

Banco Central de Nicaragua. (2019). Plan de producción, consumo y comercio ciclo 2018-2019. https://www.bcn.gob.ni/estadisticas/estudios/2014/DT-33_Documento_final_Caracterizacion_del_maiz.pdf

Balderrama, S., Luján Álvarez, C., Lewis, D., Ortega Gutiérrez, J., De Jong, B., Nájera Ruiz, T. (2011). Factibilidad de generación de electricidad mediante gasificación de residuos de aserradero en el norte de México. *Madera y Bosques*, 17(2), 67-84. <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=15782dec-225a-4e63-8a97-e1887c27a26d%40sessionmgr4005&hid=4114>

Barriga, A., Delgado, E., Guevara, J., Peralta, J. (2014). Introducción al Estudio de Fuentes Renovables de Energía. Guayaquil: Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos (LATIn).

Baxendola et al. (2015). SIG en la investigación científica actual. Universidad de Sarmiento.

Blanco Camargo, D., Henríquez Orozco, S., Fajardo-Ortíz, E. y Romero-Valbuena, H. (2020). Consumption of Energy, Economic Growth, and Carbon Dioxide Emissions in Colombia. *Revista Fuentes: El Reventón Energético*, 18(1), 41-50.

Blanco, N., Arce, E., y Zúñiga, C. (2015). Evaluación integral financiera, económica, social, ambiental y de productividad del uso de bagazo de caña y combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica en Nicaragua. *Tecnología en Marcha*, 28(4) 94-107. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v28i4.2447>

Borja, M. (2011). La biomasa residual de las plantaciones agrícolas como energía renovables.

- Agrónomos: Órgano Profesional de los Ingenieros Agrónomos, 41, 18-27.
- Burgos, F. y Oporta C. (2011). La biomasa como fuente de energía sustentable. Universidad Austral de Chile.
- Caldeón, A. (2002). El futuro de la producción de Gas Natural en Colombia. Fuentes: El reventón energético, 2(1).
- Canova, F. (2014). Los SIG en las ciencias sociales. Universidad de la Cuenca. repositorio. educacionsuperior.gob.ec/.../10/Anexo%2011.%20FCG_SIG_CCSS.pdf
- Castillo, R. y Bird, R. (2013). Caracterización del cultivo de Maíz en Nicaragua : un análisis de la varianza de los determinantes del rendimiento. <https://www.bcn.gob.ni>
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de la biomasa. Cuadernos económicos de ICE, 83, 117-140. http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_117-140_78E2E154C2BB213409D09C083013930C.pdf
- Cruz, O., Jáuregui, S., Hernández, H., Knudsen, J. (2001). Exportación de electricidad en el central Mariana Grajales. Centro Azúcar, 28(3), 30-37. <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=15782dee-225a-4e63-8a97-e1887c27a26d%40sessionmgr4005&hid=4114>
- De la Paz C., Domínguez, J., Pérez M.a. Metodología SIG para la Localización de Centrales de Biomasa mediante Evaluación Multicriterio y Análisis de Redes. Modelos de Localización-Asignación para el Aprovechamiento de Biomasa Forestal. Departamento de Energía – CIEMAT.
- Domínguez, F. (2002). La integración económica y territorial de la energía renovable y los Sistemas de Información Geográfica. [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio Universidad Complutense de Madrid.
- Franca, R., Miranda, V., Pereira, A., Fernández, I., Cisneros, P., Atilano, A., Garrón, M., Altomonte, H., Ruchansky, B., Ventura, H., Rincón, H., Belza, J., Monticelli, J., Lambrides, M., Hernández, G., Garcés, P., Luna, N., Piña, G., Vera, M., Cruz, E. (2013). Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina. CEPAL, CAF. <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/51428/Energiavisionsobrelosretos.PDF>
- Fonseca, S., Rodríguez, H. y Camargo, G. (2017). Caracterización de residuos de maíz del municipio de Ventaquemada, Colombia. Avances en Ciencias e Ingeniería. 8(2), 29-36.
- García, A. (2010). Evaluación del potencial energético de los bosques de Teruel mediante teledetección y SIG. [Tesis de doctorado. Consejo Económico y Social de Aragón].
- García, R., Wegertseder, P., Baeriswyl, S. y Tribolca, M. (2014). Mapa energético solar de Concepción: cartografía urbana del consumo energético y captación solar de edificaciones residenciales de Concepción, Chile. Revista de Geografía Norte Grande, 59, 123-133.
- Guerra, J. (2000). Análisis de los parámetros técnicos en la aplicación de los SIG a la integración regional de la energía renovable en la producción descentralizada de energía eléctrica. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid].
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (1995). Manual para Productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. Grupo Forestal, EEA. INTA.
- Instituto Nicaraguense de la Energía, INE. (2017). Estadísticas de la dirección general de electricidad, 2017. http://www.ine.gob.ni/DGE/estadisticas/serieHistorica/capacidad_instalada_a_2006-2015_actagost16.pdf
- Martínez, S. (2009). Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. [Tesis de doctorado, Universidad de Girona].
- Moratorio, D., Rocco, I. y Castelli L. (2012). Conversión de residuos sólidos urbanos en energía. Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica. 10, 115-126. <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=15782dee-225a-4e63-8a97-e1887c27a26d%40sessionmgr4005&hid=4114>
- Muñoz, D., Cuatini, M. y Pantoja, A. (2013). Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del Cauca, a partir del poder calorífico inferior. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 11(2) 156 -163.
- Muñoz, J. y Chávez, F. (2016). Determinación de áreas óptimas para instalaciones de energía solar y eólica en Quevedo, provincia de Los Ríos, aplicando SIG. Revista Interamericana de Ambiente y Turismo. 2(2), 129-138.
- Muñoz, J., Chávez, F., Boza, J. y Tachong, L. (2016). Determinación de áreas óptimas para instalaciones de energía solar y eólica en el Cantón Quevedo, aplicando sistemas de información geográfica. Revista Caribeña de Ciencias Sociales. <http://www.eumed.net/rev/caribe/2016/08/energia.html>
- Muto, D., Hernández, G., Do Rosario, J. y Mamade, B. (2014). Disponibilidad de biomasa como fuente de productos químicos y energía en Cabinda, Angola. Revista Centro Azúcar, 41.
- Natarajan, K., Latva-Käyrä, P., Zyadin, A., Chauhan, S., Singh, H., Pappinen, A. y Pelkonen. (2015).

- Biomass Resource Assessment and Existing Biomass Use in the Madhya Pradesh, Maharashtra, and Tamil Nadu States of India. *Challenges*. 6, 158-172. doi:10.3390/challe6010158.
- Nava, F. y Doldán, X. (2014). Cultivos energéticos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 11(1), 25-34.
- Palma, J. (2015). Sistemas de información geográfica y metodologías de evaluación multicriterio en la búsqueda de alternativas para el mejoramiento socioespacial del área urbana popular de la ciudad de Comayagua. *Revista Ciencias Espaciales*, 8(2).
- Posso, F., Acevedo, J. y Hernández, J. (2014). El impacto económico de las energías renovables. *Revista de Investigación en Administración e Ingeniería*. 2(2). <http://service.udes.edu.co/revistas/index.php/aibi/>
- Poveda, D. (2003). Estimación de potencial biomásico para la generación de electricidad procedente de residuos forestales en el municipio de Rosita, RAAN, Nicaragua. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Universidad Nacional Agraria. <http://repositorio.una.edu.ni/1130/1/tnp06p879.pdf>
- Pucha, F., Fries, A., Cánovas, F., Oñate, F., González, V. y Pucha, D. (2017). Fundamentos de SIG: aplicaciones con ArcGIS. Ediloja Cía. Ltda
- Quijano, R. (2010). Análisis multicriterio con LEAP de la sustentabilidad del sector energético de Colombia. CEPAL, Ciemat.
- Quijano, R., Domínguez, J. y Botero, S. (2010). Aplicaciones del modelo ModerGIS en el uso sostenible de la dendroenergía y los biocombustibles para países en vía de desarrollo – caso Colombia. En: Ojeda, J., Pita, M. F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos* (pp.1053-1073). Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Ravera, C., Bettera, C., Fernández, M., Estive, E. y Piñeda, H. (2008). Aprovechamiento de los residuos agrícolas. Procesamiento de la caja del maní, su conversión biológica y productos. I Simposio Iberoamericano I Simposio Iberoamericano de dede de Ingeniería de Residuos.
- Rivera, D., Méndez, J., Herrera, L. (2015). Estudio de Factibilidad para la implementación de una planta generadora de energía eléctrica en la UNAH utilizando celdas combustibles a base de gas metano. *Revista Ciencia y Tecnología*. 3. Obtenido desde <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/Honduras/dicu-unah/20120802025110/cyt3.pdf>
- Rodríguez, N. y Zambrano, D. (2010). Los subproductos del café: fuentes de energía renovables. *Avances Técnicos*. 393. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/351/1/avt0393.pdf>
- Tsikalakis, A., Routsis, D., Pafilis, A., Kalaitzakis, K. y Stavrakakis, G. (2016). A methodology exploiting geographical information systems to site a photovoltaic park inside a sustainable community, *Revista Internacional de Energía Sostenible*. 35(2), 132-147. [10.1080/14786451.2013.873799](https://doi.org/10.1080/14786451.2013.873799)
- Valencia, M. y Cardona, C. (2013). Evaluación ambiental para procesos que usan residuos de la industrial de los biocombustibles como materia primas. *Revista EIA*, 10(9), 103-111. <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=19aa1686-304a-4e60-9bcf-37be53f4672b%40sessionmgr112&hid=118>
- Vidal, E. y Fontalvo, C. (2018). Alternativa para la generación de gas natural sintético a partir de una fuente de energía renovable mediante tecnología “Power to Gas” en Colombia. *Revista Fuentes: El Reventón Energético*. 16(1), 71-79.
- Zórzano, P. (2015). Herramienta de planificación de generación distribuida renovable mediante SIG. [Tesis de doctorado, Universidad de la Rioja].

Abreviaturas

| Símbolo | Descripción |
|----------|---|
| MWh | Unidad de energía mega watts por hora |
| PCI | Poder calorífico inferior |
| kcal/kg | Kilo calorías por kilogramos |
| SIG | Sistemas de información geográfica |
| MW | Mega watts |
| MJ/kg | Megajoule por kilogramo |
| USD/ KWh | Dólares americanos por cada kilo watts hora |
| USD | Dólar americano |

Fecha de recepcion: 16 de octubre de 2020

Fehca de aceptación: 13 de mayo de 2021