

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COM BIOMASA RESIDUAL DE PROCESOS PRODUCTIVOS: PROVINCIA DE CORRIENTES-ARGENTINA

LUIS HORACIO VERA (UNNE) - luis.horacio.vera@comunidad.unne.edu.ar

Hector Lorenzo (Instituição - a informar) - hlorenzo@comunidad.unne.edu.ar

Manuel Cáceres (Instituição - a informar) - mcaceres@ger-unne.com.ar

Andrés Firman (Instituição - a informar) - afirman@ger-unne.com.ar

ARTURO BUSSO BUSSO (GER - FaCENE UNNE) - ajbusso@gmail.com

Resumo:

Actualmente, existe en ejecución un plan de la Secretaría de Energía de la Provincia de Corrientes con el objetivo de la diversificación de la matriz energética provincial, buscando superar el aporte renovable de energía estipulado en la ley Nacional 27.191. Uno de los recursos a utilizar, para alcanzar este objetivo, es el aprovechamiento de la biomasa residual en los procesos productivos de la Foresto Industria correntina. En el presente trabajo se evalúa la oportunidad de uso de la biomasa como combustible para la generación de energía eléctrica en la provincia de Corrientes, mediante la identificación, localización y cuantificación de la disponibilidad de dicho recurso. Se ha realizado un análisis de caso de generación de energía utilizando la biomasa residual de una industria, identificando tecnología utilizada y considerando el volumen de residuos que produce, interés en los dueños en participar del mercado energético y que está en situación de punta de línea con una saturación en la capacidad de transporte. Se ha evaluando la instalación de una central de biomasa de 10 MW eléctricos, a través de un financiamiento de entes multilaterales (tasa bajas) y asumiendo que el valor de venta de energía es igual al costo que paga la industria la energía eléctrica de red, se observa que la planta de generación de energía con biomasa de 10 MWe, a través de un ciclo Rankine, posee un payback en 8,1 años, un VPL positivo y que el costo nivelado de energía se encuentra entre los valores obtenidos en la última licitación para generación eléctrica con biomasa en la argentina.

Palavras-chave: *biomasa*

Área temática: *Outras fontes renováveis de energia*

Subárea temática: *Caracterização, análise, equipamentos e sistemas de conversão energética da biomassa*

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COM BIOMASA RESIDUAL DE PROCESOS PRODUCTIVOS: PROVINCIA DE CORRIENTES-ARGENTINA

Vera, Luis H. – luis.horacio.vera@comunidad.unne.edu.ar

Lorenzo, Héctor G. - hlorenzo@comunidad.unne.edu.ar

Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ingeniería. Departamento de Termodinámica. Argentina.

Firman, Andrés D. – afirman@ger-unne.com.ar

Cáceres, Manuel – mcaceres@ger-unne.com.ar

Busso, Arturo J. – ajbusso@gmail.com

Universidad Nacional del Nordeste, FaCENA. Grupo en Energías Renovables. Argentina.

Resumen. Actualmente, existe en ejecución un plan de la Secretaría de Energía de la Provincia de Corrientes con el objetivo de la diversificación de la matriz energética provincial, buscando superar el aporte renovable de energía estipulado en la ley Nacional 27.191. Uno de los recursos a utilizar, para alcanzar este objetivo, es el aprovechamiento de la biomasa residual en los procesos productivos de la Foresto Industria correntina. En el presente trabajo se evalúa la oportunidad de uso de la biomasa como combustible para la generación de energía eléctrica en la provincia de Corrientes, mediante la identificación, localización y cuantificación de la disponibilidad de dicho recurso. Se ha realizado un análisis de caso de generación de energía utilizando la biomasa residual de una industria, identificando tecnología utilizada y considerando el volumen de residuos que produce, interés en los dueños en participar del mercado energético y que está en situación de punta de línea con una saturación en la capacidad de transporte. Se ha evaluando la instalación de una central de biomasa de 10 MW eléctricos, a través de un financiamiento de entes multilaterales (tasa bajas) y asumiendo que el valor de venta de energía es igual al costo que paga la industria la energía eléctrica de red, se observa que la planta de generación de energía con biomasa de 10 MWe, a través de un ciclo Rankine, posee un payback en 8,1 años, un VPL positivo y que el costo nivelado de energía se encuentra entre los valores obtenidos en la última licitación para generación eléctrica con biomasa en la argentina.

Palavras-chave: Biomasa, Ciclo Rankine, Residuos Foresto-Industriales

1. INTRODUCCIÓN

La Provincia de Corrientes está avanzando sostenidamente en el desarrollo foresto industrial, mediante políticas públicas que apuntan a tal fin. En el marco del Plan Estratégico Foresto Industrial, se pretende generar un uso más intensivo de la madera, el aprovechamiento de los subproductos para la producción energía y el uso más eficiente del recurso forestal a través del agregado de valor de primera y segunda transformación, en la industria.

Actualmente, existe en ejecución un plan de la Secretaría de Energía de la Provincia de Corrientes buscando la diversificación de la matriz energética provincial, buscando superar el aporte renovable de energía estipulado en la ley Nacional 27.191 (Secretaría de Energía, 2019). Uno de los recursos a utilizar, para alcanzar este objetivo, es el aprovechamiento de la biomasa residual en los procesos productivos de la Foresto Industria correntina.

En el presente trabajo se evalúa la oportunidad de uso de la biomasa como combustible para la generación de energía eléctrica en la provincia de Corrientes, mediante la identificación, localización y cuantificación de la disponibilidad de dicho recurso.

En cuanto a los objetivos específicos planteados para este estudio se pueden enumerar los siguientes.

1. Cuantificar la cantidad de establecimientos transformadores de la madera. Se establecerá a partir de cruzamientos de información de las diferentes instituciones relevadas.
2. Cuantificar la cantidad y tipo de biomasa disponible como subproducto de las foresto industrias y sector primario.
3. Análisis de caso de generación de energía utilizando la biomasa residual de una industria, identificando tecnología utilizado, también se evaluará las variables financieras que permitan determinar su viabilidad económica.

1.1 Marco de Referencia Geográfico y Ambiental

Corrientes, localizada en la región Noreste de Argentina, tiene una superficie de 88.199 km², que representa el 2,4% del total del área del país, está dividida en 25 departamentos y subdividida en 74 municipios.

En 2010, Corrientes contaba con una población de 993.338 habitantes y una densidad de 11,2 habitantes/km². un 76% de los hogares de la provincia está localizado en áreas urbanas, y un 87% está conectado a la red eléctrica.

Corrientes presenta abundantes y frecuentes lluvias, que superan los 1.500 mm anuales en el Noreste y descienden gradualmente hasta menos de 1.000 mm en el sudoeste. La principal característica del régimen de lluvias es su irregularidad, con la época más lluviosa en otoño y la más seca en invierno.

El clima correntino se define como subtropical. La temperatura media varía entre 21,5 °C al norte y 19,5 °C al sur. En verano se registran máximas absolutas de 42 a 46 °C, según las zonas, y en invierno, mínimas absolutas de -1 a -5,5 °C. Una característica general de su fisonomía es la presencia de vastas áreas inundables, ya sea por lluvias o por desbordes de sus cursos de agua. Se estima que estas áreas cubren el 45% de la superficie provincial.

En relación con la disponibilidad de recursos bio-másicos con fines energéticos, en Corrientes se destaca la producción forestal, cuyo aporte se calculó en base al manejo de las dos especies mayoritarias, pino y eucalipto (Ministerio de Hacienda, 2016).

2. INDUSTRIA FORESTAL EN CORRIENTES

Corrientes cuenta en la actualidad con la mayor superficie de bosques cultivados del país, con un ritmo creciente en los últimos años. Según el Inventario Forestal realizado por la Dirección de Recursos Forestales (DRF, 2015) de la provincia, actualizado en 2015, tiene actualmente alrededor de 500.000 hectáreas de bosques implantados. Se contabilizaron los dos géneros forestales predominantes, 354.000 has corresponden al género Pinos, 138.200 has al género Eucaliptus y 7.000 has a otros géneros como Grevillea, Toona Acacia, etc.

Con una tasa de cosecha anual de unas 12.000 has, lo que representa un total anual de aproximadamente 4.000.000 de toneladas de madera. El stock de bosques implantados supera los 2.500 millones. Pese a esto, el grado de industrialización y de valor agregado sigue siendo muy bajo, en términos de la producción anual y del potencial futuro del sector.

La Tab. 1 resume la oferta directa de biomasa en (tn/año) y su tipo de acuerdo con cada departamento de la provincia correntina.

Tabla 1- Oferta directa de biomasa en (tn/año) y su tipo de acuerdo con cada departamento de la provincia correntina (recopilación de datos de entes gubernamentales).

Departamentamentos	Pino	Eucalipto	Otra Forestación	Arroz	Citrus	Té	Yerba	Tabaco	Total (tn/año)
Bella Vista	1099,7	2847,4	-	10815,4	10424,1	-	-	-	25186,6
Berón de Astrada	231	262,1	-	84390,7	-	-	-	-	84883,8
Capital	1295,3	255,9	-	-	-	-	-	-	1551,2
Concepción	85243,3	23715,8	398,7	7102,1	5225	-	-	-	121684,9
Curuzú Cuatiá	1467,1	5119	-	135710,4	1271,5	-	-	-	143568
Empedrado	374,8	879	-	2748,5	473,8	-	-	-	4476,1
Esquina	32237,1	2333,7	13609,1	20260,8	721,1	-	-	-	69161,8
General Alvear	42750,2	6694	18,5	4118,4	781,7	-	-	-	54362,8
Gereneral Paz	961,1	8123,6	4,5	15372,5	-	-	-	-	24461,7
Goya	4645,6	11349,7	-	2773,4	24,9	-	-	585,4	19379
Itatí	324,7	301,7	-	7042,6	-	-	-	-	7669
Ituzaingó	255591,7	31865,5	3978,8	11205,1	424,5	11332,8	12211,1	-	326609,5
Lavalle	3915,8	4113,5	80,1	10361,3	92,3	-	-	97,1	18660,1
Mburucuyá	562,4	3336	306,9	-	2373	-	-	-	6578,3
Mercedes	838,8	3103,2	-	116265,6	-	-	-	-	120207,6
Monte Caseros	1077,3	47218	2882,3	18275,5	50832,7	-	-	-	120285,8
Paso de los Libres	34289,8	77499,8	-	53509,4	631,6	-	-	-	165930,6
Saladas	899,4	9746,2	-	7615,7	4865,4	-	-	-	23126,7
San Cosme	707,9	432	-	-	-	-	-	-	1139,9
San Luis del Palmar	25,3	-	-	-	-	-	-	-	25,3
San Martín	148097,5	7613,6	110,3	35424	120,6	-	-	-	191366
San Miguel	87385,7	8353	-	-	36,1	-	-	-	95774,8
San Roque	15841,1	10780,4	51,5	12515,5	2539,4	-	-	-	41727,9
Santo Tomé	398232,5	39153,2	1394,4	7342,1	-	43080	10098,8	-	499301
Sauce	-	2371,5	-	17916,5	-	-	-	-	20288
Total provincial	1118095,1	307467,8	22835,1	580765,5	80837,7	54412,8	22309,9	682,5	2187406,4

Los principales mercados locales que consumen rollizos de la provincia son los aserraderos de Corrientes, Entre Ríos, Misiones y otras provincias. Estas industrias producen principalmente madera aserrada para la construcción, muebles, embalajes, pallets etc. También se destina a las industrias del debobinado, que principalmente emplea rollizos de gran diámetro y calidad (madera libre de nudos).

Según el Censo foresto industrial 2015 la Provincia de Corrientes (Laharrague, 2018), cuenta con aproximadamente 255 foresto industrias de diferente tamaño que producen 413.711.937 pie²/año de madera. Existen localidades con menos de 3 foresto industrias y otras localidades que concentran un mayor número de estos, como lo son las localidades de Saladas, Santa Rosa, Mocoreta, Juan Pujol, entre otras.

En Corrientes, la oferta indirecta (biomasa que resulta de un proceso de transformación industrial) está determinada por subproductos como los residuos de la industria forestal. Al evaluar la disponibilidad de la biomasa de oferta indirecta de subproductos o residuos de las actividades mencionadas es posible determinar la capacidad para producción de energía recuperando un subproducto no utilizado y que, por razones ambientales, debe tener un proceso de deposición final.

Para obtener el volumen de biomasa de oferta indirecta es necesario evaluar la cantidad de materia prima procesada en las foresto industrias y determinar el porcentaje que conforma al producto final. Es decir, a las toneladas de rollos con corteza que ingresan y son procesados se aplicó los porcentajes que se muestran en Fig. 1 para obtener los subproductos. Los porcentajes ahí presentados fueron proporcionados por el Ing. agrónomo Francisco Torres Cayman, gerente de la Asociación de Foresto Industrias de Corrientes (APEFIC). De la Fig. 1 se observa que el producto final obtenido es menor al 25%, en base gravimétrica, del producto bruto que ingresa a la industria. Con estos datos es posible estimar los volúmenes de biomasa que no son utilizados en las distintas etapas del proceso de producción (rechazos).

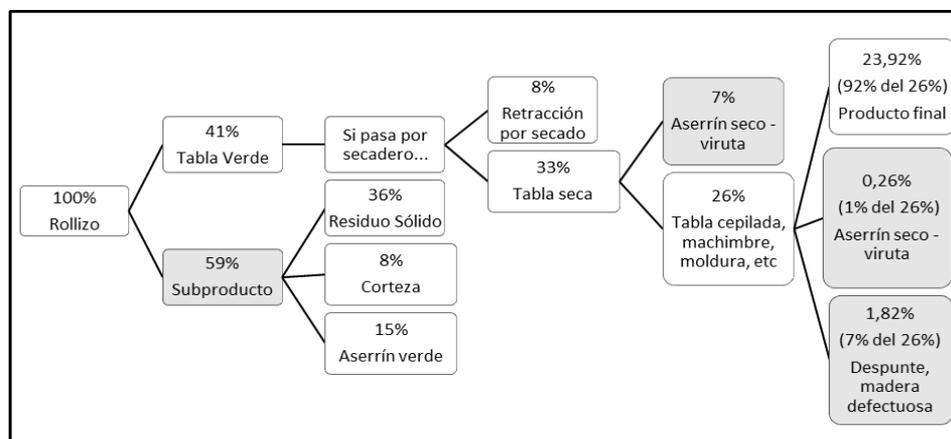


Figura 1: Porcentajes gravimétricos de biomasa aplicados según la cantidad de madera procesada.

2.1 Sistematización de Datos por Región

Considerando la cantidad, diversidad de datos y la necesidad de vincularlos al momento de su utilización para realizar un proyecto de generación de energía a base de biomasa se propuso obtener una plataforma de información georreferenciada de la provincia que serviría para decidir la ubicación óptima de una planta de generación de energía de ciclo térmico alimentado con biomasa seca (desechos forestales y de industrias de la madera).

Para crear la plataforma, se partió de datos existentes. Se procedió a sistematizar los datos relacionados con el relevamiento de foresto industrias, líneas de transmisión, demanda, etc. y darles el formato para ser representados según los requisitos del GIS (*Geographic Information System*).

De esta manera se obtuvieron capas de información georreferenciada en formato .kmz, propio del *software Google Earth*. Las mismas están compuestas por infraestructura eléctrica, potencial biomásico, industrias y demanda de energía, actual y futura.

La disponibilidad rápida, intuitiva y gráfica de la información en diferentes capas en un software sencillo para el usuario, y la posibilidad de crear otras capas de interés, se considera útil como elemento de decisión para los proyectos en curso y a futuro.

Las capas de información georreferenciada se presentan en formato .kmz, propio del software Google Earth. Se decidió por este software de tratamiento de información GIS por la simpleza y disponibilidad del mismo para cualquier tipo de usuario.

Datos transferidos al GIS: El procedimiento para crear cada capa, estuvo en función de la información disponible, de la capacidad de relevarla, y la posibilidad de conseguirla en instituciones gubernamentales. Seguidamente mediante sistematización de datos secundarios existentes, se pudo elaborar un mapa geográfico (GIS) general de la provincia en lo referente a su infraestructura eléctrico-energética y su correlación con el potencial de generación biomásico y demanda de energía, actual y futura, del sector Foresto-Industrial.

Las capas que se han desarrollado, son:

- Red eléctrica
- Líneas de transmisión y distribución (de 500 kV hasta 7,6kV)
- Sistemas eléctricos de localidades puntuales (detalle de transformadores hasta 33kV)
- Consumo MWh 2015
- Estimación consumo MWh 2020
- Potencia instalada
- Datos Biomasa
- Potencial biomásico por foresto industria

En la Fig. 2 se presentan algunas de las capas desarrolladas en formato .kmz con los datos relevados.

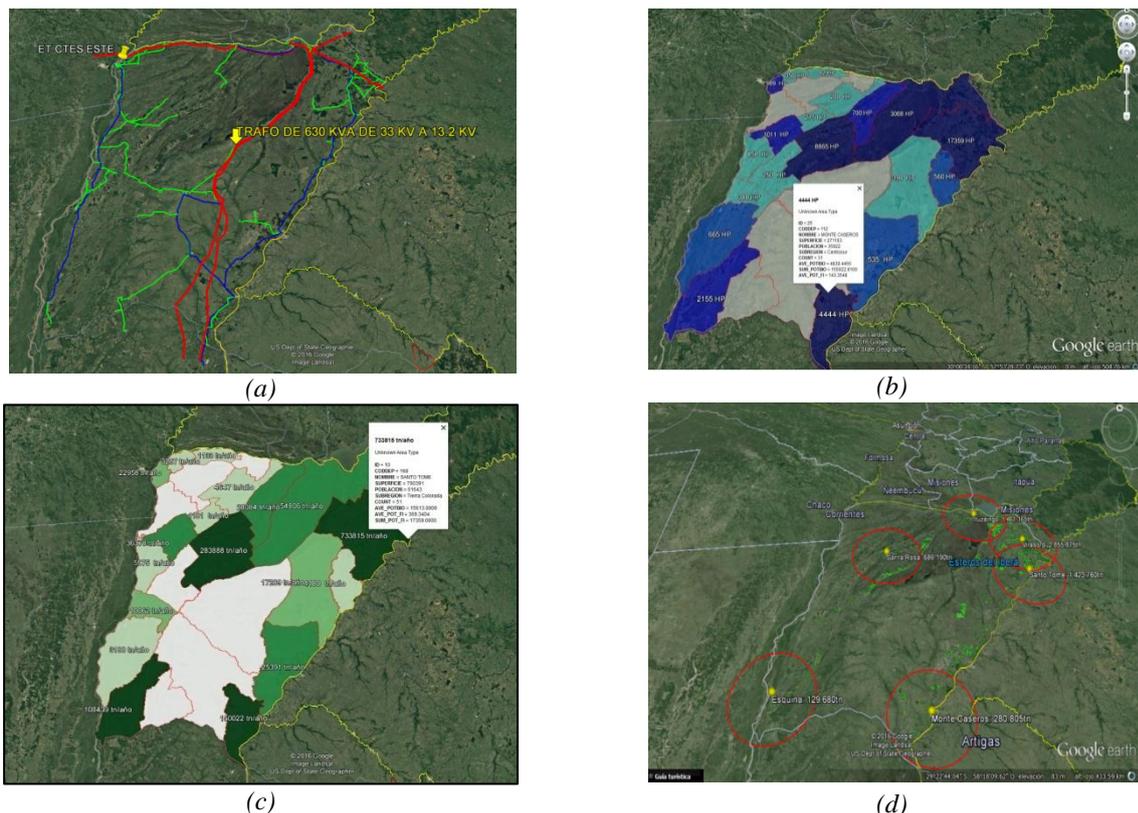


Figura 2- Capa de Google Earth de la a) Red eléctrica en Líneas Generales. 500kV rojo, de 132kV azul y 33kV verde b) potencia eléctrica, en HP, instalada en las foresto industrias de cada departamento, c) biomasa residual disponible por departamento, d) polos identificados con mayor disponibilidad de biomasa forestal en toneladas, en la provincia de Corrientes.

La cantidad de biomasa determinada para cada uno de los 6 (seis) polos considera un radio de 50 km haciendo centro en el polo. Se tomó 50 km de radio porque es el radio máximo económico para potencias de 5 a 10 MWe (Mileski, 2016). Esto quiere decir que es viable recolectar la biomasa hasta un radio de 50 km a la redonda para una planta de 5 a 10 MWe, debido a costos de transporte de biomasa no densificada. A menor distancia el balance económico es mejor. En conclusión, los polos forestales son posibles puntos de colocación de plantas de energía de 5 a 10 MWe, donde podría recolectarse la cantidad de biomasa necesaria. Se aclara que en las zonas donde las áreas de influencia se superponen (Ituzaingó, Virasoro y Santo Tomé), se ha considerada cada una individualmente. Es decir que las zonas en común, se contabilizaron para ambos polos.

2.2 Identificación y selección de las industrias de la Provincia de Corrientes

Según el Censo foresto industrial 2015 la Provincia de Corrientes, cuenta con aproximadamente 255 aserraderos. Estas foresto industrias fueron divididas en 3 niveles en función del volumen de biomasa procesada, por volúmenes de residuos, usando aserrín y viruta; recortes y costaneros; y el total.

Las industrias seleccionadas tienen continuidad en el tiempo, capacidad de producción, responsabilidad con sus empleados, intención de expansión de su línea productiva y su proceso productivo genera más de 1000 tn/mes en residuos de biomasa (Tab. 2). El tercer nivel, no presentado, son las foresto industrias con volumen de residuos menor a 1000 tn/mes.

Tabla 2- Detalle de las Foresto Industria con volúmenes de residuos producidos, cálculo de la energía térmica y eléctrica derivada de la biomasa residual del proceso productivo.

Grandes Usuarios de BIOMASA	id encuesta	razon social	Posee secadero	Cantidad Procesada en el último mes [ton]	Total Aserrín + Viruta	Total residuos solidos	Calor producido por aserrín	Calor producido por residuos solidos	Potencia eléctrica equivalente de aserrín	Potencia eléctrica equivalente e con residuos solidos	Potencia eléctrica equivalente e total residuo
					tn/mes	tn/mes	MWt	MWt	MWe	MWe	MWe
1	705	Enrique R Zeni SA	si	14000	2466.4	6460.8	12.3	31.2	2.5	6.2	8.7
2	1710	Forestadora Tapehucua SA	si	13600	2395.9	6276.2	11.9	30.3	2.4	6.1	8.4
3	1708	Forestal Las marías	no	12000	1800.0	5280.0	8.6	25.1	1.7	5.0	6.7
4	111	Madevir SA	si	10000	1761.7	4614.8	8.8	22.3	1.8	4.5	6.2
5	466	Virasoro Maderas SRL	si	10000	1761.7	4614.8	8.8	22.3	1.8	4.5	6.2
6	1832	Garrucho sa	si	9000	1585.5	4153.3	7.9	20.0	1.6	4.0	5.6
7	465	ASECOR SRL	no	8000	1200.0	3520.0	5.7	16.7	1.1	3.3	4.5
8	377	Aserradero Euca-o srl	no	4500	675.0	1980.0	3.2	9.4	0.6	1.9	2.5
9	1833	TC Rey	si	4500	792.8	2076.7	3.9	10.0	0.8	2.0	2.8

Usuarios Medios de BIOMASA	id encuesta	razon social	Posee secadero	Cantidad Procesada en el último mes [ton]	Total Aserrín + Viruta	Total residuos solidos	Calor producido por aserrín	Calor producido por residuos solidos	Potencia eléctrica equivalente de aserrín	Potencia eléctrica equivalente e con residuos solidos	Potencia eléctrica equivalente e total residuo
					tn/mes	tn/mes	MWt	MWt	MWe	MWe	MWe
1	430	ISO MAD SA Madera Platenses	si	3300	581.4	1522.9	2.9	7.3	0.6	1.5	2.0
2	1309	Aserradero Spina	si	3200	563.7	1476.7	2.8	7.1	0.6	1.4	2.0
3	376	Madera Mesopotamia	no	3047	457.1	1340.7	2.2	6.4	0.4	1.3	1.7
4	80	Imprecor SA	no	3000	450.0	1320.0	2.1	6.3	0.4	1.3	1.7
5	472	Tony Maderas S.A.	si	3000	528.5	1384.4	2.6	6.7	0.5	1.3	1.9
6	844	Aserradero Spina	no	3000	450.0	1320.0	2.1	6.3	0.4	1.3	1.7
7	326	Silvestri Madera SRL	no	2640	396.0	1161.6	1.9	5.5	0.4	1.1	1.5
8	1277	Dercol	no	2500	375.0	1100.0	1.8	5.2	0.4	1.0	1.4
9	1292	Aserradero El Otoñf±o	no	2500	375.0	1100.0	1.8	5.2	0.4	1.0	1.4
10	390	Ragone SRL	no	2000	300.0	880.0	1.4	4.2	0.3	0.8	1.1
11	577	Los Copihue	si	1825	321.5	842.2	1.6	4.1	0.3	0.8	1.1
12	524	Penñnsula SRL de Makinnesi	si	1800	317.1	830.7	1.6	4.0	0.3	0.8	1.1
13	426	TAP Maderas SRL	si	1600	281.9	738.4	1.4	3.6	0.3	0.7	1.0
14	470	Madeco SA	no	1600	240.0	704.0	1.1	3.3	0.2	0.7	0.9
15	871	Aserradero El Litoral	no	1600	240.0	704.0	1.1	3.3	0.2	0.7	0.9
16	1304	Aserradero Gonzñlez	no	1600	240.0	704.0	1.1	3.3	0.2	0.7	0.9
17	109	Don Josñ T Hnos SRL	no	1500	225.0	660.0	1.1	3.1	0.2	0.6	0.8
18	1287	Aseerradero Donn Miguel	no	1500	225.0	660.0	1.1	3.1	0.2	0.6	0.8
19	1312	Aserradero Los Parientes	no	1500	225.0	660.0	1.1	3.1	0.2	0.6	0.8
20	772	Key West	no	1483	222.5	652.5	1.1	3.1	0.2	0.6	0.8
21	1280	Aserradero	no	1440	216.0	633.6	1.0	3.0	0.2	0.6	0.8
22	142	Forestal Santo Tomñ SRL	si	1300	229.0	599.9	1.1	2.9	0.2	0.6	0.8
23	848	Almar SRL de Scherf, Martñ	no	1300	195.0	572.0	0.9	2.7	0.2	0.5	0.7
24	1289	Aserradero Morlio	no	1300	195.0	572.0	0.9	2.7	0.2	0.5	0.7
25	751	ñctor R Leonardi SRL	no	1250	187.5	550.0	0.9	2.6	0.2	0.5	0.7
26	370	Aserradero la esquina	no	1200	180.0	528.0	0.9	2.5	0.2	0.5	0.7
27	462	Singer, Ricardo	si	1200	211.4	553.8	1.1	2.7	0.2	0.5	0.7
28	984	Madervis srl	si	1200	211.4	553.8	1.1	2.7	0.2	0.5	0.7
29	1278	Aserradero Ave Fenix	si	1200	211.4	553.8	1.1	2.7	0.2	0.5	0.7
30	1286	Las 3 hermanas	no	1200	180.0	528.0	0.9	2.5	0.2	0.5	0.7
31	1288	Aserradero Don Miguel SRL	no	1200	180.0	528.0	0.9	2.5	0.2	0.5	0.7
32	1297	L.I.D. Aserradero S.H	no	1056	158.4	464.6	0.8	2.2	0.2	0.4	0.6

Para elaborar alternativas iniciales, se analizaron en función de la información relevada, las producciones y la cantidad de residuos de la industrialización de la madera, con los porcentajes de aprovechamiento ya mencionados. Para establecer qué efecto “Térmico” se puede lograr con dichos subproductos, se ha usado la ec. (1) para determinar el Poder calorífico Inferior (PCI):

$$PCI=PCS*(1/(1+h))-665*((0,54+h)/(1+h)) \text{ [kcal/kg]} \quad (1)$$

En la ec. (1) se ha utilizado un Poder Calorífico Superior (PCS) de 4750 kcal/kg como valor medio, un valor intermedio entre el del Pino, y el Eucalipto obtenido de mediciones realizadas en residuos obtenidos de 2 (dos) de los polos foresto industriales determinados. Los valores de las humedades, también medidos, son del 40% sobre base seca. Para los establecimientos con secaderos, se tomó con los valores ya definidos de “retracción por secado”, llevados a

humedad final de secado, para la humedad de recepción, nos da una humedad final de 12,5%. Sumando el total de los residuos de la industrialización (aserrín, viruta, recortes, costaneros) y estableciendo en los casos con secaderos, la humedad de la mezcla de residuos, se elaboró la Tabla 2, partiendo que la humedad promedio para aserrín y virutas de 35%, y de recortes y costaneros del 38%, siempre con la de humedad inicial de referencia de 40% antes del secado.

De esta manera se obtiene la primer estimación de las potencias como calor (MWt) obtenibles por combustión, y lo que se podría obtener como potencia eléctrica (MWe) se considera un rendimiento estimado de un ciclo térmico del 20% (valor conservador para tecnologías más bien simples de obtención).

Se puede ver en la tabla que se ha discriminado lo obtenible, usando solo aserrín y viruta, y usando solo recortes y costaneros, y el total.

También se puede ver que las potencias obtenibles por cada industria con sus residuos en el caso de las más grandes (grandes usuarios), van de 8,7 MWe a 2.5 MWe, y entre las industrias medianas, van de 2 a 0,7 MWe. En todos los casos se superan hasta en 8 veces, la energía posible de producir respecto a la consumida.

En relación a las demás foresto industrias presentadas anteriormente (255 en total), se ha calculado que con los residuos que se generan, su capacidad de transformación en energía eléctrica está por debajo de la potencia de las tecnologías que comercialmente consolidadas se encuentren disponibles.

En este punto es importante destacar que, aunque la tecnología de gasificación es la más promisoría para transformación de biomasa en Energía eléctrica, para bajas potencias (200 kW a 1 MW), que representan un 65% de las industrias no presentadas en la Tab. 2, pero no es posible conseguir financiamiento para esta tecnología debido a que no ha sido probada exhaustivamente como los ciclos de vapor. Por esta razón no ha sido evaluada esta tecnología en un caso de estudio.

3. CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Es importante destacar, aunque no sea tratado específicamente en este análisis, existe un problema de intereses encontrados entre el aprovechamiento energético de la biomasa forestal y la industria maderera de trituración. Concretamente, las fábricas de tableros y de fibras son una competencia y se oponen a los subsidios existentes para el uso de residuos forestales como combustible para generación de energía.

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los objetivos principales de este estudio es la definición de proyectos industriales viables para la utilización de residuos de biomasa en las foresto industrias presentadas. Residuos obtenidos del proceso productivo en la planta (ya sea obtención de muebles, tirantes, molduras, etc.). No se evalúa en esta etapa la recolección y adecuación de los residuos que quedan en el monte, que son otro potencial activo para la generación de energía.

Esto último se debe a que en la definición de un proyecto de biomasa en una determinada zona es esencial optimizar los costes a los que la biomasa llega al sitio o sitios de demanda y esta logística tiene variantes importantes que conducen a diferentes tecnologías y costos del tratamiento y transporte de la biomasa.

Para la ubicación definitiva de las posibles instalaciones de biomasa se ha tenido en cuenta la capacidad de generación de energía eléctrica presentada en la Tab. 2, proximidad a centros de demanda, acceso a la red eléctrica y agua, existencia de posibles infraestructuras a las que se les va a suministrar la energía, vías de comunicación, etc. y que la tecnología de ciclo de vapor (Rankine) cuenta con financiamiento externo a tasas preferenciales.

Cuando se habla de ciclo Rankine el factor de escala tiene un rol muy importante ya que, para plantas de 10 MW, o mayores, existen más variantes tecnológicas y ofertas comerciales en relación a generación de una planta de 1 MW. Para determinar los costos iniciales de los componentes nacionales utilizados en los ciclos Rankines, se utilizó la base de datos del Registro de Proveedores de energías Renovables (INTI, 2018). En el país no hay proveedores para la totalidad de los componentes de un ciclo Rankine así que algunos elementos como la turbina y generador son importados.

3.1 Definición de Foresto Industria

Se destaca que se ha estimado la creación de plantas de generación eléctrica puras y considerando lo expuesto sobre el factor de escala y que será utilizada solo la biomasa de residuos de procesos productivos de la planta, la aplicación de la biomasa en la planta de la empresa ZENI en la ciudad de Esquina (Lat: 29°57'40.10"S, Long: 59°28'55.02"O) se presenta como la más adecuada ya que permite, con residuos propios, instalar una planta de generación de energía de 10 MW con turbinas a vapor.

En la Fig. 3 se presenta la foto satelital de la empresa Zeni - Esquina. En la misma se observan las montañas de residuos, del proceso productivo, que ocupan aproximadamente 10 Hectáreas y su altura varía de los 3 a 5 metros. Sobre dicha foresto industria serán realizadas las etapas de simulación para determinar la viabilidad técnica y económica de la implementación de una central eléctrica de Biomasa.



Figura 3: Foto satelital del lugar de simulación, empresa Zeni - Esquina. En la misma se observan las montañas de residuos, del proceso productivo, que ocupan aproximadamente 10 Hectáreas y su altura varía de los 3 a 5 metros.

4. RESULTADOS

Se realizó el análisis termodinámico de un ciclo Rankine con Sobrecalentamiento, utilizando un Generador de Vapor para quemar biomasa (aserrín y chips). Los valores calculados son utilizados para el análisis y determinación de condiciones técnicas de los componentes del sistema y auxilian a cálculo económico. En la Tab. 3 se presentan las variables principales utilizadas para calcular el comportamiento termodinámico del ciclo Rankine utilizando como combustible los residuos de procesos productivos.

Tabla 3- variables principales utilizadas para calcular el comportamiento termodinámico del ciclo Rankine.

Variable	Valor
Presión de Trabajo del Generador de Vapor	$p_v = 60 \text{ bar a}$
Temperatura del vapor sobrecalentado	$T_{vs} = 410^\circ\text{C}$
Temperatura de trabajo del Condensador	$T_{cond} = 35^\circ\text{C}$
Temperatura del agua de alimentación de la caldera	$T_{AAC} = 102^\circ\text{C}$
Temperatura del aire para la combustión	$T_{aire} = 250^\circ\text{C}$
Temperatura ambiente de diseño	$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$
Temperatura de salida de los gases en la chimenea	$T_{ch} = 175^\circ\text{C}$
Potencia eléctrica de salida	$P_{ot.elec} = 1\text{MWe}$
Rendimiento del Grupo Generador -Turbina (rendimiento mecánico de la turbina)	$\eta_{Gen} = 95\%$
Rendimiento de expansión de la Turbina	$\eta_{exp} = 76\%$
Rendimiento del Generador de Vapor (Con precalentador de aire y economizador)	$\eta_{GV} = 90\%$
Humedad supuesta de la Biomasa	$Hum = 25\%$
Exceso de aire supuesto para óptimo quemado	$E_A = 25\%$

Se hará el análisis para una potencia unitaria de forma tal de poder ampliar la escala con los mismos parámetros de funcionamiento.

4.1 Características del combustible (Análisis elemental)

Se ha realizado un programa computacional que permite realizar variantes sobre las características del combustible y del ciclo. Los porcentajes gravimétricos de la biomasa son los siguientes: carbono (C) 37,65%, hidrógeno (H) 5,25%, oxígeno (O) 31,50%, cenizas 0,60% y agua 25,00%. Con esta composición el PCS es de 14900 kJ/kg y e PCI de 13110 kJ/kg.

Es importante destacar que existe gran variación en la eficiencia del ciclo si se considera variación de porcentaje de humedad en la biomasa.

Se ha observado que en la mayoría de las calderas el aserrín o chip ingresa con una humedad mayor al 40%, situación que plantea grandes pérdidas por calor latente, comprobado en calderas torsionales, razón por la cual aquí se hace un pre secado donde se disminuye el consumo de biomasa en un 60 %. De esta forma el ingreso de la biomasa es con una humedad del 25%.

Estimase que el agua que voy a utilizar para el enfriamiento del vapor estará a 27°C y la devuelvo al curso de agua a 31°C, que el consumo interno para servicios auxiliares de potencia eléctrica será del orden del 5% de lo generado y que el consumo de combustible se verá incrementado en un 5% por inquemados (aparición de residuo combustible en la ceniza).

4.2 Resumen de valores calculados

En la Tab. 4 se presentan los resultados obtenidos de la simulación del comportamiento termodinámico del ciclo Rankine utilizando como combustible los residuos de procesos productivos.

Tabla 4: Resultados obtenidos de la simulación del comportamiento termodinámico del ciclo Rankine utilizando como combustible los residuos de procesos productivos.

Variables	Valores
Consumo de vapor por MWe	4,21 tn/h de vaporización
Consumo de agua de reposición (para purga del 3%)	130 lts/h
Consumo de agua de enfriamiento	542000 lts/h
Consumo de combustible	965 kg/h
Consumo específico	0,965 kg _{comb} /kW-H
Rendimiento teórico del ciclo	28,4%

Considerando los consumos de electricidad propios del ciclo, estimándolos en un 5 %, el rendimiento global del ciclo baja a 27%, quedando un consumo específico de aproximadamente 1 kg_{comb} /kW-h.

Si añadimos una pérdida por inquemados del 5%, el rendimiento queda cercano al 25 %.

El presente cálculo es para una central de 1MW por lo cual será multiplicada por un factor de escala de 10 para una central de 10 MW.

4.3 Viabilidad Económica

El detalle de los aspectos económicos de un proyecto es tan importante en cuanto al análisis de viabilidad técnica. La definición de cada etapa y su participación en los costos finales debe estar presente en el levantamiento de las cargas financieras necesarias para el análisis de viabilidad del proyecto. En vista de las inversiones realizadas en este tipo de proyecto, estos pueden dividirse en tres etapas diferentes: los costos iniciales del proyecto, los costos anuales de operación y mantenimiento y los costos periódicos de reposición de piezas del sistema. A su vez estas etapas se encuentran subdivididas

Indicadores financieros. Una hoja de ruta para analizar los costos asociados a un proyecto de generación de energía utilizando biomasa se puede encontrar en el programa *RETSscreen International* (Natural Resources Canada, 2019). Este programa es una herramienta computacional de análisis de proyectos de energía limpia, desarrollada con la contribución de diversos especialistas del gobierno, industria y universidad.

En la Tab. 5 se presentan los principales inputs utilizados para calcular los indicadores financieros para planta de biomasa de 10 MW.

Utilizando los Inputs financieros, las hipótesis planteadas y los algoritmos recomendados por el software *RetScreen* se obtiene los indicadores financieros presentados en la Tab. 6.

Además de los principales indicadores financieros se han determinado otros parámetros de salida útiles para analizar los resultados. La Tab. 7 presenta algunos de los parámetros calculados.

Tabla 5- Principales Inputs utilizados para calcular los indicadores financieros de planta de biomasa de 10 MW.

Descripción	Unidad	Magnitud
Potencia Instalada	MW	10
Factor de Utilización	%	85
Energía Anual Producida	(MWh/año)	74.600
Costo Unitario de la Inversión	U\$\$/kW	3,588
Tasa de descuento	%	7,5
Fondos propios	%	30
Tasa de interés	%	5
Período de vida	años	20
Precio de la energía en el MEM	U\$\$/MWh	110
OyM Variable + fijo	U\$\$/MWh año	31,38
INVERSIÓN TOTAL	U\$\$	38.588.000

Tabla 6- Indicadores financieros calculados planta de 10 MW

Indicador	Unidad	Magnitud
VAN	US\$	3.688.000
TIR	%	11,8
Pay Back	AÑOS	8,1

Tabla 7- Indicadores calculados para planta de 10 MW.

Indicador	Unidad	Magnitud
Costo nivelado de producción de Energía	USD/kWh	0,104
Reducción GEI	tCO2/año	27.000
Tn CO2 absorbidas equivalentes a hectáreas de bosque	Has	2.500

5. CONCLUSIONES

La Secretaría de Energía de la provincia de Corrientes se encuentra trabajando en planificar la diversificación de la matriz energética provincial, siendo la generación de energía eléctrica a través de la biomasa uno de los principales actores en la matriz proyectada al 2025. Considerando este objetivo provincial se ha realizado el presente estudio de cual se pueden destacar los siguientes puntos a ser considerados para seguir adelante con un plan provincial de aprovechamiento de la biomasa residual:

Se realizó una base de datos compatible con el *google maps* donde es posible observar datos generales de la provincia, caminos, líneas de transmisión y distribución, establecimientos foresto industriales, potencia demandada por industria, capacidad biomásica, residuos de biomasa, entre otros.

Se ha evaluado el potencial de residuos de biomasa en la provincia y se han identificado 6 (seis) posibles polos de generación eléctrica utilizando biomasa: Virasoro, Santo Tomé, Ituzaingó, Santa Rosa, Esquina y Monte Caseros. Tres de ellos ya han sido adjudicados para contrato de energía eléctrica dentro del programa Renovar.

Se han identificado establecimientos de procesamiento de madera los cuales se han dividido en 3 (tres) grupos, alto, medio y bajo procesamiento de madera. Para el aprovechamiento y conversión de biomasa, en energía, solo el primer y segundo grupo tienen capacidad de residuos que responden a potencia de ciclos comerciales de generación de centrales de vapor, en total 9 (nueve) industrias con capacidad de generación eléctrica entre 2,8 y 8,7 MW y 32 (treinta y dos) con capacidad de 0,6 a 1,9 MW, sumando una capacidad total, utilizando solamente residuos del proceso productivo, 90 MW eléctricos. Considerando la totalidad de foresto industrias y aserraderos de la provincia el aprovechamiento del residuo del proceso productivo permitiría obtener una potencia eléctrica próxima a los 200 MWe.

En relación a componentes nacionales utilizados en el ciclo Rankine, se utilizó la base de datos del Registro de Proveedores de energías Renovables. En el país no hay proveedores para la totalidad de los componentes de un ciclo Rankine. Los componentes para ciclos de vapor son hechos a medida y existe, a nivel internacional, una mayor oferta tecnológica para ciclos de potencias de 10 MW a 700 MW.

Se escogió como caso de estudio la empresa Zeni, considerando el volumen de residuos que produce, interés en los dueños en participar del mercado energético y que está en situación de punta de línea con una saturación en la capacidad de transporte. Con una central en este punto se eleva la oferta energética y se soluciona el problema de falta de capacidad de generación en la región.

Evaluando una central de biomasa de 10 MW eléctricos en la empresa Zeni, se destaca que consigue financiamiento de entes multilaterales con tasa bajas y que asumiendo que el valor de venta de energía es igual al valor de la energía eléctrica al día de hoy, se observa que la planta posee un *payback* en 8,1 años, un VPL positivo y que el costo nivelado de energía se encuentra entre los valores obtenidos en la última licitación para generación eléctrica con biomasa en la argentina.

REFERENCIAS

- Cámara Argentina de Energías Renovables. (2015). Aportes para un sistema eléctrico eficiente y sustentable. Desarrollo industrial y de las economías regionales. Reporte Ejecutivo 2015. www.cader.org.ar
- DRF, 2015. Actualización Del Inventario De Plantaciones Forestales De La Provincia De Corrientes. Informe Técnico.
- FEDIT. (2011). "Biomasa. Oportunidades para el sector de fabricantes de Bienes de Equipo". Observatorio Industrial del Sector de Fabricantes de Bienes de Equipo. Recuperado de <http://www.minetad.gob.es>
- INTI, 2018. Registro de Proveedores de energías Renovables, lista aportada por la Directora de Energías Renovables del INTI, Bs As.

- Laharrague Nicolás, 2018. Censo Nacional De Aserraderos Informe Del Relevamiento Censal En La Provincia De Corrientes. Ministerio de Agroindustria-Argentina.
- Metodología WISDOM-Provincia de Corrientes- Análisis espacial del balance Energético derivado de biomasa. Colección documentos técnicos N°7-Recuperado de <http://www.probiomasa.gob.ar>
- MILESKI, J. C. et al. Viabilidad económica de transporte de residuos de biomasa de actividad forestal Pinus taeda. Espacios, 37(26):1-4, 2016.
- Natural Resources Canada, 2019. RETScreen is a Clean Energy Management Software, <https://www.nrcan.gc.ca/energy/retscreen/7465>
- Secretaría de Energía, 2019. Ley 27.191: Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica.

GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY WITH RESIDUAL BIOMASS OF PRODUCTIVE PROCESSES: PROVINCE OF CORRIENTES-ARGENTINA

Abstract. *Currently, there is a plan by the Corrientes Secretary of Energy with the objective of diversifying the provincial energy matrix, seeking to exceed the renewable energy contribution stipulated in National Law 27,191. One of the resources to use, to achieve this objective, is the use of residual biomass in the production processes of the Corrientina Forestry Industry. This paper evaluates the opportunity to use biomass as fuel for the generation of electricity in the province of Corrientes, by identifying, locating and quantifying the availability of said resource. A case analysis of energy generation has been carried out using the residual biomass of an industry, identifying technology used and considering the volume of waste it produces, interest in the owners in participating in the energy market and that is in a situation at the top of the line. a saturation in transport capacity. The installation of a 10 MW electric biomass plant has been evaluated, through a financing of multilateral entities (low rate) and assuming that the energy sales value is equal to the cost paid by the industry for grid electricity, it is observed that the 10 MWe biomass power generation plant, through a Rankine cycle, has a payback in 8.1 years, a positive VPL and that the levelized energy cost is among the values obtained in the last tender for biomass power generation in Argentina.*

Key words: *Biomass, Rankine Cycle, Forest-Industrial Waste*