

RELEVAMIENTO DE LA BIOMASA DISPONIBLE EN URUGUAY UTILIZABLE COMO MATERIA PRIMA EN LA PRODUCCIÓN DE QUÍMICOS

S. Gutiérrez^{1*}, C. Philippi¹, R. Kreimerman², P. Ures¹, A.I. Torres¹

¹Grupo de Ingeniería de Sistemas Químicos y de Procesos ²Departamento de Proyecto Industrial, Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República

Resumen. Uruguay es un país con alta dotación de recursos naturales. Una estrategia de desarrollo en este contexto incluye la valorización de estos recursos para producción de químicos y energía. El presente trabajo representa la primera etapa de un Proyecto que busca valorizar el recurso biomasa y los residuos de su explotación para obtener productos de mayor valor agregado. Se entiende aquí por biomasa toda materia orgánica de origen animal o vegetal susceptible de ser valorizada. El objetivo de esta primera etapa fue: 1.- evaluar el stock de biomasa uruguaya, 2.- identificar su distribución geográfica, su disponibilidad y tasa de generación 3.- consignar el destino actual de estos residuos, y 4.- estimar su composición química. Se analizaron datos de diversas fuentes bibliográficas y organismos nacionales, y se creó una base de datos. Luego, se profundizó en aquellas biomásas que se generan en cantidades considerables (> 10000 ton/año), y/o son de importancia estratégica, y/o se producen de forma geográficamente concentrada y/o su destino actual tiene bajo valor agregado, y/o tienen una composición química particular. Para ello, se identificó la ubicación geográfica de los sitios de generación y se elaboraron mapas cuantitativos. A modo de ejemplo, se identificaron los rastrojos de soja como los producidos en mayor cantidad (6E6 ton/año), los residuos sólidos urbanos y el suero de leche como los producidos de forma geográficamente concentrada y los residuos de frigoríficos como ricos en fuentes de proteínas (posible materia prima de productos de muy alto valor agregado). La información recabada será empleada en la evaluación de la factibilidad de producción de un conjunto seleccionado de químicos en el contexto uruguayo.

1. Introducción

Uruguay es un país con alta dotación de recursos naturales. La actual coyuntura económica y la creciente preocupación por el medio ambiente mundiales han puesto en evidencia la necesidad de reducir la dependencia con las fuentes fósiles para la obtención de energía y productos químicos. La industria química ha sido vista tradicionalmente como una de las mayores fuentes de impactos ambientales negativos por décadas [1], y por otro lado considerada una de las herramientas más importantes para resolver problemas ambientales y desarrollar de forma sostenible la sociedad a través de la química verde [2].

Existen a nivel mundial iniciativas de evaluar los recursos a nivel país o sub-regiones y generar reportes que permiten hacerse una idea del potencial de producción de *energía* a partir de biomasa. Son ejemplo de esto, los trabajos de Suiza [3], Noruega [4] e India

* soledadg@fing.edu.uy

[5] entre otros. Siguiendo las mismas líneas, en el Uruguay, también existen iniciativas gubernamentales a efectos de evaluar las fuentes disponibles de biomasa. En ese sentido, se destaca el Proyecto Biovalor (MIEM, MVOTMA, MGAP), cuyo objetivo es “la transformación de residuos generados a partir de actividades agro-industriales y de pequeños centros poblados en energía y/o subproductos.” [6]

Otra iniciativa en ese sentido es PRO-BIO (Producción de electricidad a partir de biomasa, MGAP-MIEM-MVOTMA). [7]

El presente trabajo forma parte del Proyecto: Bio-refinerías en Uruguay: Evaluación tecno-económica de la producción de combustibles y químicos a partir de biomasa (ANII-FSE_1_2015_1_109976) en el cual se busca valorizar el recurso biomasa y los residuos de su explotación para obtener productos de mayor valor agregado, desarrollando el concepto de bio-refinería. Una segunda etapa del mismo proyecto se presenta en [8]. En esta primera etapa se persiguen como objetivos: evaluar el stock de biomasa uruguaya, seleccionar a partir de éste un conjunto de residuos relevantes, consignar el destino actual de esos residuos, estimar su composición química e identificar su distribución geográfica

La conversión de biomasa en productos útiles, y la obtención de los mismos de forma integrada están asociadas al término bio-refinería, que implica la conversión de biomasa en un conjunto amplio de productos, desde productos de consumo masivo como combustibles, plásticos, etc. hasta compuestos químicos especiales. Este concepto es análogo a una refinería de petróleo, ya que en ella se producen múltiples combustibles y químicos a partir del crudo. La bio-refinería permite aprovechar los diferentes componentes químicos e intermediarios de la biomasa y maximizar así el valor derivado de esa materia prima. ([9], [10]). Son intermediarios primarios los componentes resultantes de la separación física o química (hidrólisis) de la biomasa. Como primera aproximación [11] propone que se tome como intermediarios primarios de una bio-refinería a las fracciones ricas en carbohidratos (celulosa, hemicelulosa, glucosa, lactosa..) lípidos, lignina, y proteínas.

Dado el contexto del Proyecto, ampliamos el alcance del término **biomasa**, que en otros ámbitos refiere a la materia orgánica susceptible de generar *energía*, y consideramos como tal toda materia orgánica de origen animal o vegetal susceptible de *ser valorizada*. Por esta misma razón, se contabilizan en este trabajo las corrientes de líquidos y cantidades de sólidos generadas en las actividades productivas, incluyendo los materiales generados y las corrientes que tienen actualmente un destino no residual. Esto es particularmente relevante para el caso de residuos lácteos y de frigorífico, cuyo destino actual es por ejemplo alimento animal como forma de evitar el tratamiento o disposición de la corriente generada.

No hemos encontrado referencias de relevamientos de biomasa teniendo por objetivo la producción de químicos de manera general a nivel nacional, por lo que entendemos que este trabajo contribuye a complementar la información relacionada con la biomasa nacional y su potencial aprovechamiento para el agregado de valor. Entendemos que esta tarea es factible de realizarse en Uruguay, aprovechando las dimensiones de nuestro país y la posibilidad de acceso a la información confiable. La información recabada será utilizada como insumo de la Herramienta computacional descrita en [8] y

permitirá realizar evaluaciones tecno-económicas de factibilidad de productos/procesos candidatos a ser producidos en el país.

2. Stock de biomasa y destino actual de residuos

Para la evaluación del stock de biomasa se procedió de forma secuencial, de la siguiente manera:

2.1 Identificación y cuantificación de biomásas nacionales.

Se realizó una búsqueda exhaustiva de todas las fuentes generadoras de biomasa, y se relevaron sus cantidades, distribución geográfica y caracterización química. Para ello, se efectuó una revisión de antecedentes de relevamientos a nivel nacional y, dado que la calidad de los datos encontrados no es uniforme, se analizó críticamente la información de múltiples fuentes. Se destacan particularmente los siguientes informes, que están orientados a la obtención de *energía* a partir de residuos¹:

- el informe elaborado por Bioproa para el Proyecto Biovalor (MIEM, MVOTMA, MGAP), (2015), “Identificación de residuos en el Uruguay pasibles de ser valorizados por digestión anaerobia y estimación de su potencial de metanización”. [12]
- el informe elaborado por INIA-PNIPF, para el Proyecto Pro-Bio (MVOTMA), (2014-2015) “Mejoramiento en la calidad de la información vinculada con la utilización de la biomasa forestal”. [13]
- informe de consultoría elaborado por Ing. Agr. Carlos Faroppa – Energy Consulting Services S.A. para el Proyecto “Fortalecimiento de la estrategia Nacional Energética 2030”, (2010), Este informe está orientado a la obtención de energía a través de la incineración de residuos. [14]

Cruzando información de estas y otras referencias, creamos una base de datos conteniendo tasas de generación, destino actual, destinos alternativos, ubicación geográfica y composición de las biomásas de los siguientes sectores:

1.- Industria: frigorífica, láctea, sucro-alcoholera, lavaderos de lana, avícola, procesadora de pescado, chacinados, tabacalera, vitivinícola, aserraderos, malterías y cervecerías, aceitera y curtiembres. 2.- Cadena agroindustrial: frutas y hortalizas, 3.- Sector urbano: efluentes domésticos y residuos sólidos urbanos, y 4.- Sector agropecuario: cultivos, silvicultura, cría de porcinos, engorde a corral, tambos.

2.2.- Selección de fuentes relevantes.

Del pool de biomásas nacionales estudiadas, se seleccionaron algunas fuentes particularmente relevantes a nuestro proyecto. La relevancia refiere al potencial que a priori tienen estos sectores para la obtención de químicos de alto valor agregado. Fueron

1

Los datos incluidos en este trabajo fueron relevados (y parcialmente incluidos en el informe elevado a la ANII en Enero de 2017). fecha en la cual no contábamos con acceso al informe Cuantificación de residuos generados en sectores agroindustriales uruguayos, elaborado por la Unidad de Gestión del Proyecto Biovalor, MIEM, MVOTMA y MGAP. Nuestros datos y los publicados en el informe anterior son comparables en la mayoría de los casos. La excepción la constituye la industria láctea y frigorífica, debido al alcance diferente del término biomasa como se detalla en el texto.

seleccionadas por cumplir con alguno o varios de los siguientes criterios: se generan en cantidades considerables (> 10000 ton/año) y/o son de importancia estratégica, y/o su producción es geográficamente concentrada, y/o su destino actual es de bajo valor agregado (oportunidad de valorización) y/o poseen composición química particular (oportunidad de valorización). La lista de los residuos seleccionados junto con las fuentes de información sobre la que se basan los resultados de cada biomasa se consignan en la Tabla 1.

Industria Sucoalcoholera	Cantidad, Importancia Nacional (ley 18.195)
Industria Frigorífica	Composición (proteínas, lípidos)
Industria Arrocerá	Destino actual, Cantidad, Concentración
Residuos Sólidos Urbanos	Cantidad, Concentración Geográfica
Cultivos	Cantidad, Destino actual
Aserraderos	Cantidad, Destino actual, Concentración
Silvicultura	Importancia Nacional, Perspectiva nueva planta

Tabla 1: Biomosas seleccionadas, criterios por los que se seleccionaron y fuentes de información consultadas para la estimación de tasas de generación

2.2.1 Industria Láctea. Dentro de las biomosas disponibles del procesamiento de lácteos se seleccionó el suero de queso, o sus corrientes derivadas, tanto de tambos queseros como de procesamiento industrial. Se considera su interés por su alta tasa de generación

contenido valioso en cuanto a proteínas y lactosa. El destino actual para el suero de queso depende de la escala de producción y equipamiento disponible. La solución para la disposición del suero de queso generado a nivel de quesería artesanal es derivarlo como alimento animal. En el caso de la quesería industrial, algunos establecimientos separan la grasa y proteína del suero para su venta como alimento en seco. El resto de la corriente, es derivada al tratamiento de aguas residuales o eventualmente a alimento animal. Tal como se mencionó, en función del alcance del término biomasa se consigna todo el suero de queso obtenido, que potencialmente puede constituir una fuente para la producción de productos de mayor valor a partir de él, incluyendo el actualmente se deriva a consumo animal. La estimación con base a la producción 2016 es de 530.000 m³ anuales de suero, que se estiman en 31200 ton en base seca/año. (Fuentes: www.inale.org, <http://urunetmercosuronline.com/> (datos 2016), coeficientes de [12])

2.2.2 Industria Suco-alcoholera. Las biomosas consideradas son las siguientes: bagazo, vinaza y cachaza. La Ley n° 18195 de Fomento y regulación de la producción comercialización y utilización de agro-combustibles, establece que esta actividad es de importancia nacional, por lo que se considera estratégica su inclusión por constituir una contribución a la sustentabilidad de esta actividad. Actualmente el bagazo, que representa largamente el mayor de los residuos, se emplea como combustible para la co-generación de energía. La vinaza se emplea como fertilizante. Según nuestra estimación se generaron en 2015, 63700, 16300 y 8800 ton de bagazo, vinaza y cachaza (en base seca). Los datos recabados corresponden únicamente a la planta de Bella Unión (Fuentes: <http://www.alur.com.uy/agroindustrias/bella-union/> (datos 2015). Índices de generación de [12].)

2.2.3 Industria Frigorífica. Se consideran relevantes los sólidos contenidos en aguas verdes, las cuales se generan durante el lavado de corrales y en parte de la evisceración, y sólidos de aguas rojas, las cuales se generan desde el sangrado hasta el lavado de carne.

Los sólidos separables de aguas rojas por medios físicos son dispuestos en terreno, mientras una porción no conocida se destina a alimento animal [15]. Los residuos de aguas verdes se disponen en terreno, una proporción menor se incorpora a la fabricación de ladrillos. Al igual que con el caso lácteo, se contabilizan no solamente las aguas rojas cuyo destino es el tratamiento sino también aquellas cuyo destino es la alimentación animal. Se estiman entonces 12900 ton/año corresponden a sólidos de aguas verdes y 1500 ton/año a sólidos de aguas rojas. Se considera que las aguas rojas son una fuente potencial de proteínas que permite incrementar el valor actual de destino, por lo que se incluye especialmente estos sólidos en la lista de potencial relevancia. (Fuentes: [16], (datos 2015) índices de generación [12]))

2.2.4 Industria Arrocería. La biomasa considerada se compone fundamentalmente de cáscara de arroz. Actualmente más del 50% de la cáscara generada a nivel nacional se quema para cogeneración de energía eléctrica y vapor. La quema genera igualmente ceniza de cáscara de arroz. El remanente de cáscara o ceniza se dispone en terreno. Gran parte de la producción está geográficamente concentrada en el este del país. Su alto costo de disposición debido a su cantidad y baja densidad así como su concentración geográfica, justifican su inclusión en la lista de biomásas relevantes. Se estima que se produjeron en 2015 280,000 ton en base seca de cáscara de arroz. (Fuentes: [17], índices de generación [12]))

2.2.5 Residuos sólidos urbanos (RSU). El destino actual de la mayoría de los RSU es su disposición en Relleno. En Montevideo y Maldonado se extrae biogás del mismo relleno. Se estima que se generan 1,176,000 ton en base seca. La cantidad y concentración de RSU justifican su inclusión como biomasa de interés. (Fuentes: <http://www5.ine.gub.uy/censos2011/index.html>, [18], [19])

2.2.6 Rastrojos de Cultivos. Los rastrojos constituyen la proporción de la biomasa aérea no cosechada del cultivo. Se analizaron por su importancia los cultivos de trigo, avena, maíz, soja y girasol. Actualmente se mantienen en el sitio como cobertura de suelos, o se los recoge como alimento animal. Existen diferentes recomendaciones a la cantidad que se pueden extraer sin comprometer los suelos. Sin embargo, es importante recordar que no se recomienda la recolección del 100% de los rastrojos generados en el campo. De acuerdo con [20], se pueden extraer hasta un 25% de los rastrojos generados sin que haya impacto negativo, en cambio [21] plantea que es posible remover hasta el 40%. La inclusión de los rastrojos en la lista de biomásas relevantes se justifica en la medida que su aprovechamiento parcial representa una oportunidad de mayor valorización. La Figura 1.- resume las cantidades aprovechables considerando el 100%, 40% y 25% de la generación de rastrojos para el año 2015.

Puede verse que la cantidad correspondiente a la soja es por lejos la más importante, seguido de arroz, trigo y maíz. Fuentes: [22] y estimación del índice de cosecha de [23].

2.2.7 Residuos de Aserraderos. El residuo considerado se compone de corteza, costaneros, aserrín, viruta, despuntes, finos. Actualmente algunas empresas lo incineran para generación de energía, otros lo venden o disponen a terreno. Este residuo se encuentra geográficamente concentrado, se genera en cantidad relevante y su destino actual puede mejorarse en cuanto al agregado de valor, por lo que se lo incluye como potencial candidato como biomasa relevante. Se estima que se generaron 412000 ton en base seca de estos residuos. (Fuentes: Coeficientes de [13], [14] y [24] , Datos de 2015)

2.2.8 Residuos de Silvicultura. Consisten en corteza, ramas, hojas y punta para la cosecha de Eucaliptus y hojas, ramas y punta para Pinos. Actualmente una fracción de estos residuos se incinera para generar energía en plantas industriales y una proporción mayoritaria se deja en el campo como bio-abono.

Tanto la cantidad como el destino actual sub-aprovechado, así como la perspectiva de un incremento en la generación en virtud de la instalación de una nueva planta de producción de pasta de celulosa justifican que se incluya este residuo en la lista biomasa de potencial interés.

Se estima (base de datos 2015) que se generaron 1,755,500 ton base seca de residuos de Eucaliptus con destino a celulosa, 234,000 ton base seca de residuos de Eucaliptus con destino madera sólida, y 419,000 ton base seca de residuos de Pinos para madera sólida. Como en el caso de los rastrojos, desde el punto de vista de la sustentabilidad del cultivo no es recomendable remover el total de los residuos generados. (Fuentes: Coeficientes de [13], [14] y [24], Datos de 2015)

2.3.- Resultados globales

Los resultados globales se muestran en la Figura 2.- en la que se asume aprovechable el 40% de rastrojos y residuos de cosecha de madera.

Se observa que el 75% de los residuos expresados en las condiciones referidas corresponde a biomasa generada de cultivos o tala de árboles y los residuos de potencial valor como fuente de proteínas: aguas rojas, suero de queso, se encuentran dos órdenes de magnitud por debajo en cuanto a sus tasas de generación.

3. Distribución geográfica de biomasa

En los últimos años se registran numerosos estudios de evaluación tecno-económica de alternativas de producción de productos no combustibles a partir de biomasa. A modo de ejemplo se cita [25]. Estas evaluaciones ponen de manifiesto que, la baja densidad de la biomasa, en particular de la producción agrícola y/o la baja concentración en las corrientes disponibles de las materias primas agroindustriales de interés constituyen variables clave que afectan la rentabilidad de proyectos. En particular ambas variables afectan los costos de transporte y requieren ser especialmente estudiados, así como la definición de la escala de producción. Por este motivo la distribución geográfica de las materias primas constituye una información de suma importancia para facilitar futuras evaluaciones tecno-económicas referidas.

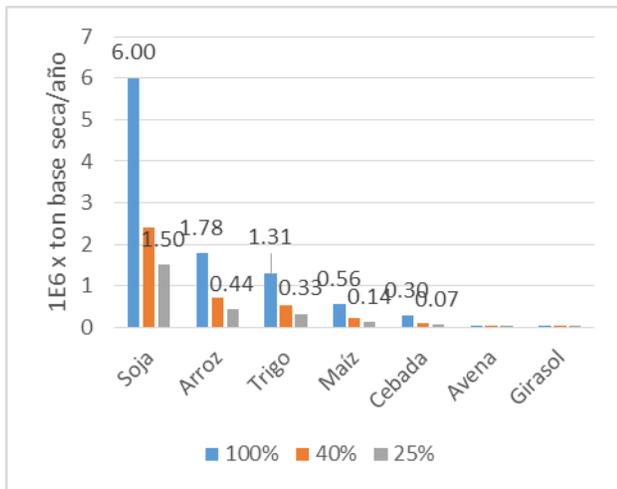


Figura 1 : Rastrojos desagregados por cultivo. Los porcentajes son grados de aprovechamiento de la biomasa

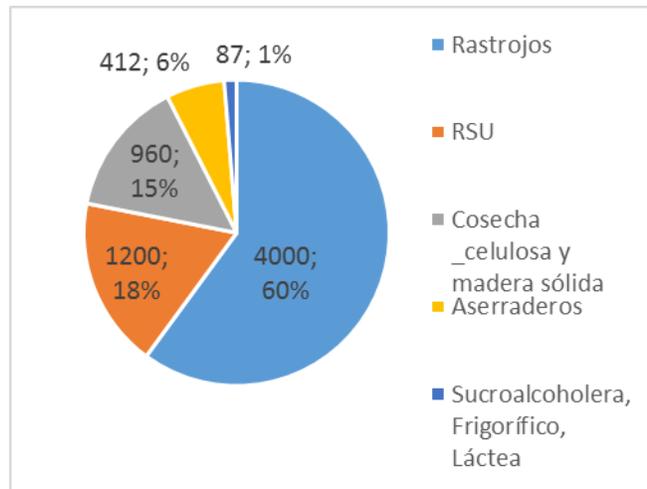


Figura 2.- : Cantidades generadas de biomasa seleccionadas x 1000 ton base seca por año, asumiendo un 40% de aprovechamiento potencial para rastrojos y cosecha madera

Para cada uno de los residuos identificados como potenciales materias se elaboraron mapas de distribución en Uruguay cruzando datos de las fuentes anteriores con las industrias presentes en cada región obtenidas a través de: reportes on-line municipales, datos web de las siguientes instituciones: INAC, INALE, ALUR, Encuestas Agropecuarias DIEA, Base datos Urunet, Dirección Nacional Forestal, Asociación cultivadores de arroz, y búsquedas on-line propias. En base a la información recolectada se generó un programa en el software MATLAB que permite ingresar las cantidades disponibles de cada residuo en un mapa de Uruguay para ilustrar la distribución geográfica de los distintos residuos. La Figura 3.- resume los datos encontrados. Las mismas se crearon con propósito de ilustrar densidad de generación de determinado residuo y puede no corresponder exactamente con la localización de una fuente en particular.

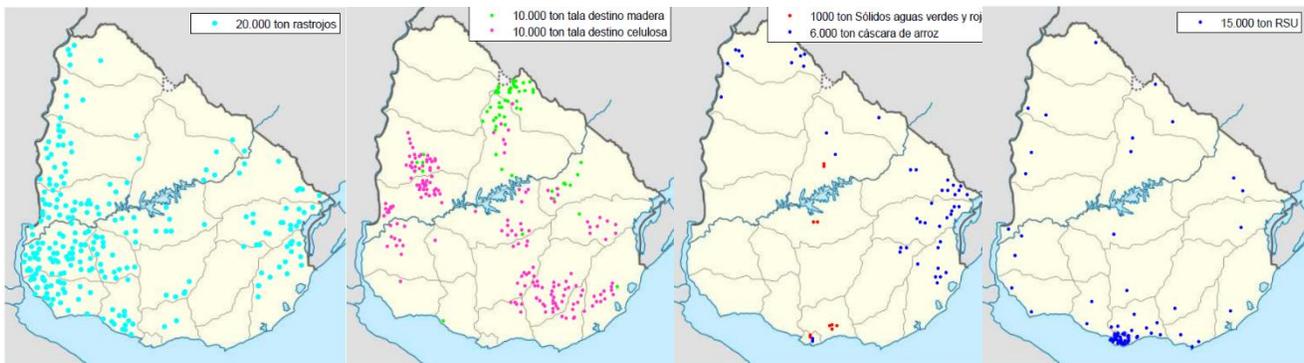


Figura 3.- : Ubicación geográfica de las biomasa. de izquierda a derecha , rastrojos de cultivos (todos, 100% del residuos generado), residuos de tala de árboles (todos), RSU, sólidos aguas verdes y rojas de frigorífico, y cáscara de arroz

Los rastrojos se concentran en el litoral y sur oeste del país, lo que habilita la consideración de transporte fluvial de los mismos. Los residuos forestales presentan zonas claras de concentración, una ubicada en Paysandú/Río Negro, otra Rivera/Tacuarembó y otra menos concentrada Rocha/Maldonado/Lavalleja. La cáscara

de arroz muestra fuerte concentración en el oeste del país, mientras los RSU se concentran como era esperable en la zona metropolitana Montevideo.

4. Composición de biomasa y mapa de intermediarios primarios

El concepto de bio-refinería habilita la integración de la biomasa disponible en función de su composición. Esto representa una oportunidad de considerar una bio-refinería que procese varias materias primas ricas en componentes específicos para la obtención de productos valiosos. Para evaluar la cantidad potencial de intermediarios de cada tipo, se buscaron las composiciones de las distintas biomásas y se crearon mapas de ubicación por componente.

En el presente trabajo nos hemos focalizado en la generación de modelos para biomásas cuyo contenido principal son azúcares. Para el modelado de las biomásas hemos recabado datos de composición de: materias primas forestales (Eucalyptus Grandis, Eucalyptus Globulus y Pinus Taeda), residuos sólidos urbanos, residuos de la industria láctea (suero de queso), residuos de la industria azucarera (bagazo, cachaza), rastrojos (arroz, cáscara de arroz, paja de trigo, avena, cebada, maíz, soja, girasol, sorgo). Con estos datos se generó una base de datos de composición de cada biomasa recabada, en el programa ASPEN PLUS. En la Figura 4.- se presentan los resultados.

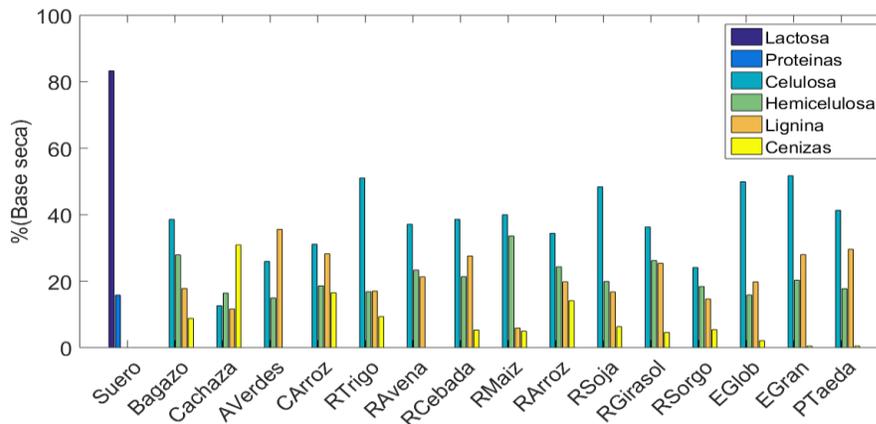


Figura 4.-: Composición de las materias primas (% m/m en base seca)

Se presentan en la Figura 5.- mapas de los siguientes intermediarios primarios: celulosa, lignina hemicelulosa, tomando en consideración la totalidad de los residuos, y de lactosa industria, la cual se ha estimado en 80% del total, que excluye la corriente de lactosa proveniente de la generación de suero de tambos queseros.

Estos mapas tienen por fin ilustrar la densidad de generación de intermediarios y se utilizará como insumo para proponer diferentes problemas de optimización de localización/diseño de bio-refinerías.

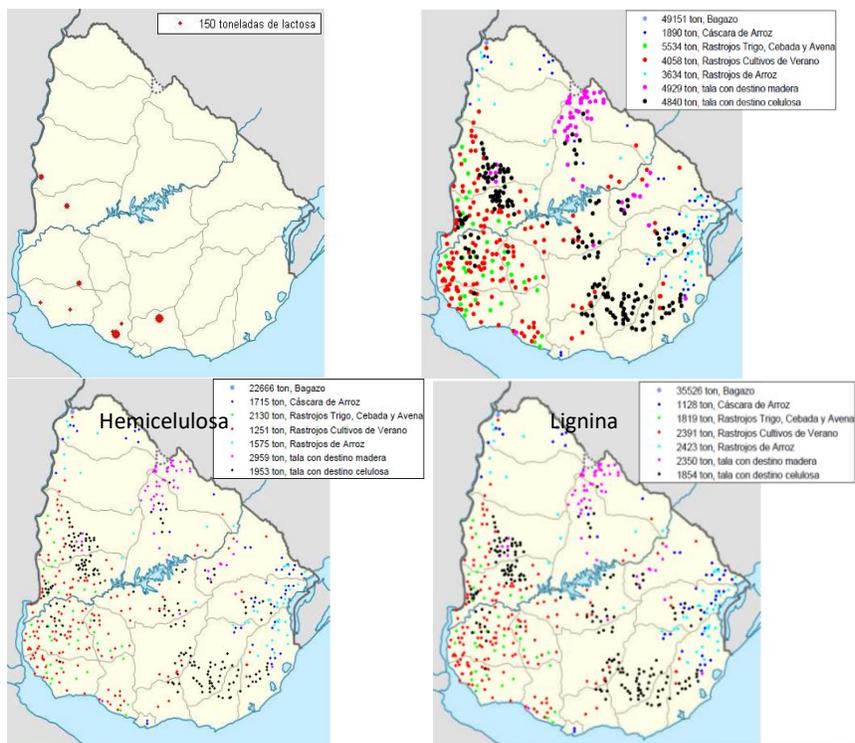


Figura 5.- : Ubicación geográfica de intermediarios primarios. Arriba izquierda, ubicación de generación de lactosa industria, arriba derecha, ubicación de celulosa, abajo izquierda hemicelulosa, abajo derecha lignina.

Los valores de la leyenda corresponden a la contribución de tamaño de referencia (lactosa) y a la contribución por punto (las demás)

5. Conclusiones

En este trabajo se sintetiza la generación de una base de datos que integra las tasas de generación de biomásas, su composición en componentes relevantes, y su ubicación geográfica. Esta información que podrá ser actualizada y enriquecida permitirá proponer la investigación y evaluaciones económicas a nivel nacional de diversos procesos de conversión de estas biomásas a productos de mayor valor agregado. En especial en el presente Proyecto se empleará para estudiar la factibilidad de producción de productos químicos seleccionados en el contexto uruguayo. Pretende ser, en definitiva, una herramienta de acceso al conocimiento acumulado sobre la composición y disponibilidad de biomasa para la producción de químicos en Uruguay, que habilitará el planteo de problemas de optimización de localización/diseño de bio-refinerías como parte de un cambio estructural hacia cadenas de valor, nacionales y posiblemente regionales.

Agradecimientos. La investigación que da origen a los resultados presentados recibió fondos de ANII, FSE_1_2015_1_109976, y es administrada por la Fundación Ricaldoni.

Bibliografía

- [1] R. Massey, M. Jacobs, L.A. Gallagher, A. Dlugolecki, K. Geiser, S. Edwards. Towards Sound Management of Chemicals, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland (2012)
- [2] P. Anastas. Twenty years of green chemistry *Chem. Eng. News*, 89, pp. 62–65, (2011)
- [3] B. Steubing , R. Zah , P. Waeger , C. Ludwig. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 14, pp. 2256–2265, 2010.

- [4] N. Scarlat , J.F. Dallemanda, O.J. Skjelhaugenb, D. Asplundc, L. Nesheimd. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 15 pp. 3388– 3398, 2011.
- [5] A. Kumar, N. Kumar, P. Baredar, A. Shukla *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 45 pp. 530– 539, 2015.
- [6] Proyecto BioValor (MIEM, MVOTMA, MGAP). www.biovalor.gub.uy
- [7] Proyecto Pro-Bio (MGAP, MIEM, MVOTMA). www.probio.dne.gub.uy/
- [8] Torres, A.I., Ures, P., Philippi, C., Kreimerman, R., Gutiérrez, S, 2017. Creación de herramienta computacional para la simulación de procesos de conversión de biomasa. Presentado en el VI Encuentro Regional de Ingeniería Química, Montevideo, Uruguay.
- [9] A.R. Morais, R. Bogel-Lukasik. *Sustainable Chem. Processes*, 1, pp. 18-19, (2013).
- [10] F. Cherubini *Energy Convers. Manage.*, 51 pp. 1412-1421, (2010).
- [11] A. I. Torres, I. Cybulska, C. J. Fang, M. H. Thomsen, J. E. Schmidt y G. Stephanopoulos, *Computer Aided Chemical Engineering*, vol. 37, pp. 1175-1180, 2015.
- [12] Bioproa, BioProcesos para el Ambiente, Facultad de Ingeniería, Udelar. «Identificación de residuos en el Uruguay pasibles de ser valorizados por digestión anaerobia y estimación de su potencial de metanización,» 2015, disponible en <http://biovalor.gub.uy/documents/20182/34669/Identificaci%C3%B3n+de+residuos+en+Uruguay/8e36c715-075b-4588-b2a3-672d6d7d49a8>
- [13] INIA, 2015:, “Mejoramiento en la calidad de la información vinculada con la utilización de la biomasa forestal” informe elaborado por INIA Programa Nacional de Investigación en Producción Forestal – PNIPF para el Proyecto Pro-Bio (MVOTMA) http://www.probio.dne.gub.uy/cms/images/pdf/Informe_INIAPROBIO_Final_Resumen_Ejecutivo.pdf
- [14] C. Faroppa – Energy Consulting Services S.A. Informe de Consultoría para el Proyecto “Fortalecimiento de la estrategia Nacional Energética 2030”, (2010), «Evaluación de la disponibilidad de residuos o subproductos de biomasa a nivel nacional».
- [15] Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana ANEXO: Residuos Sólidos Industriales TERCERA ETAPA SUBPROYECTO – B, Estudios Básicos, Fischner, LKSur, 2004. Disponible on line http://www.cempre.org.uy/docs/biblioteca/plan_director/etapa1_estudios_basicos/Anexo_RSI.PDF
- [16] INAC, «Series de faena por departamento», 2015, disponible en <https://www.inac.gub.uy/innovaportal/v/5539/10/innova.front/series-de-faena>.
- [17] DIEA, MGAP, «Encuesta Agrícola Invierno 2015», 2015 <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/estadisticas/produccion-vegetal/agricultura-de-secano/invierno-2015>
- [18] I. López, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, pp. 1580-1591, 2015.
- [19] Censo Nacional de Foreto Industria 2013. Disponible on line http://www.probio.dne.gub.uy/cms/images/pdf/Informes/CSFM_8nov2013_CensoForetoIndustria.pdf
- [20] M. Hoogwijk, A. Faaij, R. Broek, G. Berndes, D. Gielen, W. Turkenburg *Biomass and Bioenergy*, vol. 25, pp. 119-133, 2003.
- [21] S. Kim, B. Dale, *Biomass and Bioenergy*, vol. 26, pp. 361-375, 2004.
- [22] DIEA, MGAP, «Anuario estadístico agropecuario, 2015», 2015, disponible en <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario2015> .
- [23] C. Ruiz, M. Wolff, M. Claret Boletín INIA N° 308, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile, 2015, disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40196.pdf>
- [24] Dirección General Forestal, estadísticas de extracción (2015) Disponible on line <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/direccion-general-forestal/informacion-tecnica/estadisticas-y-mercados/extraccion-produccion-consumo>
- [25] Clauser, N, Gutiérrez S, Area, M. Felissia, F., Vallejos, *Chemical Engineering Research and Desing* vol. 107, pp 137–146, 2016.