



EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CO-COMBUSTIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO

Adriana Domínguez^a, Alejandro Zaleta^b

^aInstituto Tecnológico Superior de Irapuato, Irapuato, Gto., adriana.dominguez@itesi.edu.mx

^bUniversidad de Guanajuato, azaleta@ugto.mx

RESUMEN

Actualmente las centrales de generación eléctrica que utilizan recursos fósiles se enfrentan al reto de disminuir las emisiones contaminantes. Una estrategia para lograrlo, es incrementar la participación de las energías renovables. En este sentido, es necesario que el sector eléctrico Mexicano realice una planeación estratégica con el objetivo de modernizar y eficientar su estructura, incorporando las energías renovables. La utilización de biomasa para co-combustión es una alternativa viable para las centrales termoeléctricas en México. La viabilidad técnica de la co-combustión está ampliamente probada en diversas partes del mundo, además de que presenta ventajas medioambientales y socioeconómicas que conforman un sustento para que las energías renovables penetren cada vez más en el sector energético. En este trabajo se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1) El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitió una asignación exacta del recurso de Biomasa Residual Agrícola (BRA) a cada una de las centrales y en general se presentó un excelente potencial energético en cada una de las plantas.
- 2) La estimación de la disponibilidad de biomasa residual agrícola muestra en total un potencial de generación eléctrica de 54,852 GWh en México, de los cuales 10,699 GWh podrían ser implementados a través de co-combustión indirecta o 19,477 GWh a partir de co-combustión directa. Por lo tanto, se abre un enorme campo de oportunidades tecnológicas y económicas para el mejor aprovechamiento de esta fuente de energía renovable.
- 3) La C.T. Salamanca genera 2546 GWh eléctricos anuales y la biomasa disponible es 37347 GWh térmicos, considerando una eficiencia del 30% se tiene que el potencial de co-combustión por disponibilidad de biomasa para esta central es mayor al 100%, por lo que la aplicación de una u otra opción de co-combustión dependerá de factores técnicos y económicos.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de la biomasa como energético ha surgido como una posibilidad más para la mitigación del cambio climático; en este sentido, el aprovechamiento de residuos agrícolas ha adquirido cada vez mayor importancia debido también al aumento en los precios y consumo de los combustibles fósiles. La estimación de la biomasa, su distribución geográfica y su contenido energético son los aspectos importantes a considerar cuando se evalúa la factibilidad de utilizarla como energético.

Por otro lado, la co-combustión ha surgido como una alternativa más para mitigar los efectos de la emisión de GEI (Yin et. al., 2010), además de que su implementación está respaldada por más de 150 plantas a nivel mundial, tanto en prototipo como a nivel comercial.

La distribución geográfica del potencial de biomasa de diferentes tipos se ha analizado en varios estudios, por ejemplo, la evaluación de la biomasa forestal realizada en Portugal donde se utilizaron análisis en SIG para identificar la disponibilidad geográfica y la localización de plantas de biomasa (Viana et. al., 2010), en Punjab, India se calculó el potencial energético de la BRA utilizando también SIG (Singh et. al., 2008), en la Isla de Creta, Grecia se evaluó el

potencial de biomasa para producción eléctrica considerando costos de producción (Voivontas et. al., 2001), en la Unión Europea se analizó la disponibilidad de residuos agrícolas, su potencial y limitaciones para su uso energético (Scarlat et. al., 2010), así como la evaluación del potencial de co-combustión (Fouad and Jaroslaw, 2010). En España se han realizado diversos estudios del potencial no sólo en cuanto a estimación de la BRA a nivel municipal (García et. al, 2007) sino también en cuanto a potencial de co-combustión en centrales de carbón (García et. al., 2010). La compilación y análisis de los estudios mencionados, conforman la pauta para realizar un análisis similar en México, donde se evalúe no sólo el potencial de biomasa disponible, sino también la aplicación del mismo en el sector eléctrico a través de la tecnología de co-combustión.

1.1 Análisis del sector eléctrico Mexicano

El 65.2 % de la generación de energía eléctrica en México se basa en hidrocarburos. Las termoeléctricas convencionales producen el 29.5% de electricidad a partir de combustóleo y/o gas natural del total de generación nacional.



Figura 1. Ubicación de las centrales termoeléctricas en México. Fuente: CFE.

La Figura 1 es un mapa de México con la localización de las centrales termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles, entre las que se encuentran las térmicas convencionales que utilizan combustóleo y gas natural, las de carbón, las duales que funcionan con combustóleo o carbón, los ciclos combinados que trabajan con gas natural y las de combustión interna que pueden utilizar combustóleo o en su defecto diesel. Debido a la disponibilidad limitada de este tipo de combustibles fósiles así como los problemas ambientales asociados al uso extensivo de los mismos se ha motivado la constante búsqueda de nuevos combustibles para producir energía. En México la bioenergía representa el 8% del consumo final de energía (Masera O. et. al. 2005), por lo que constituye una fuente importante de energía renovable. Este recurso aunado al uso de las tecnologías de co-combustión puede ser un detonador más para diversificar el sector eléctrico mexicano. El potencial de bioenergía en México proveniente de los 41 millones de toneladas de residuos agrícolas disponibles para uso energético, que se estima pueden producir 6,847 PJ anuales.

1.2 Alternativas de co-combustión en México

Las principales consideraciones a tener en cuenta al momento de implementar la co-combustión en cualquier central son la disponibilidad del combustible, las modificaciones en planta necesarias, el marco legislativo así como los aspectos económicos. La tendencia

general en la co-combustión es adaptar dicha tecnología con las mínimas modificaciones posibles en la planta ya existente, para evitar que las centrales estén fuera de servicio por periodos prolongados y disminuir los costos de inversión. Dependiendo del tipo de generador de vapor, será necesario realizar diferentes adecuaciones con el fin de llevar a cabo la co-combustión en las centrales termoeléctricas que funcionan con combustible líquido o gaseoso, éstas modificaciones también estarán influenciadas por el tipo y forma de la biomasa introducida, puesto que al sustituir parcialmente el combustible fósil por biomasa se ve implicada la necesidad de llevar a cabo una adecuación de la misma dependiendo del tipo de conversión termoquímica que se realice.

Existen varias alternativas para utilizar la biomasa en este tipo de centrales. Así, se pueden aplicar procesos termoquímicos que permitan obtener combustibles gaseosos o líquidos a partir de biomasa sólida, los cuales ya podrían introducirse en los quemadores de estas centrales que están diseñados para quemar combustibles gaseosos y líquidos, en este caso las modificaciones en los mismos serían mínimos. Sin embargo, se tiene el inconveniente económico de esta transformación, al ser un tipo de co-combustión indirecta. Otra alternativa es la co-combustión directa, la cual consiste en utilizar la biomasa en estado sólido en la misma central a través de diferentes configuraciones: 1) introducir la biomasa por algún conducto libre del mismo quemador de gas o combustóleo, lo que implicaría una reforma del quemador y un grado de pre-tratamiento mayor para adecuar el tamaño de partícula a las dimensiones del quemador, esta modificación ha sido empleada con éxito en la planta de Studstrup en Dinamarca, donde se removió el conducto del combustible de su posición inicial para dejar libre el conducto central para alimentar la biomasa de forma neumática (Overgaard et. al. 2004), 2) introducir la biomasa en un quemador especial, para lo cual se podrían instalar nuevos quemadores adicionales a los ya existentes y 3) introducir la biomasa por la parte inferior de la caldera a través de parrillas fijas o móviles, con lo que el costo de los sistemas de pre-tratamiento se reduciría respecto a las otras alternativas, no así la inversión necesaria para realizar esta reforma. Esta opción permitiría integrar un sistema que permita introducir pacas por medio de un pistón hidráulico como el diseño Cigar Burner en Dinamarca (Sander B. 2007).

2. EVALUACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA (BRA)

Esta evaluación constituye un primer esfuerzo hacia la estimación de biomasa residual agrícola como energético en México, puesto que las estimaciones se realizaron de manera muy general y con limitaciones en términos de acceso a información estadística y geográfica, así como de tasas de producción de residuos locales, los resultados obtenidos son preliminares y por lo tanto requieren de la implementación de mejoras a partir de estudios más elaborados que proporcionen mayor certeza y confiabilidad.

2.1 Metodología

La metodología para la estimación de biomasa residual agrícola (BRA) y densidad energética superficial de la Figura 2 considera las siguientes variables: 1) Producción agrícola por tipo de cultivo, 2) Ratios de generación de residuo por unidad de producto (RRP), 3) Coeficientes de disponibilidad de la biomasa (C_d) y 4) Características energéticas de los distintos tipos de biomasa.

La información estadística y geográfica utilizada en el cálculo del potencial energético de los residuos agrícolas se obtuvieron de las siguiente fuentes: Comisión Federal de Electricidad (CFE), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Censo agrícola, ganadero y forestal, INEGI y Coberturas geográficas – Infraestructura de datos espaciales México, INEGI.

Una vez obtenidos los datos e información necesaria se utilizan Sistemas de Información Geográfica (SIG) como ARGIS o GVSIG para obtener mapas de densidad energética.

2.1.1 Producción agrícola por tipo de cultivo y entidad federativa

Los principales cultivos en las 32 entidades federativas de la Republica Mexicana que fueron considerados para realizar esta evaluación son: avena forrajera, cebada, frijol, maíz amarillo, maíz blanco, maíz forrajero, sorgo forrajero, sorgo de grano y trigo. Se consideró un año agrícola, es decir las dos temporadas tanto otoño/invierno y primavera/verano.



Figura 2. Metodología para la estimación de BRA.

2.1.2 Estimación de la cantidad de BRA

Debido a que la cantidad de residuos agrícolas está directamente relacionado con la producción, la estimación de la cantidad de BRA se realiza a través de cualquiera de los dos ratios que relacionan la cantidad de biomasa con la cantidad de producto obtenido (RPR, kg de biomasa por kilogramo de grano) o con la cantidad de superficie plantada (RSR, kg de biomasa por hectárea). El RPR se utiliza comúnmente para los residuos herbáceos. Para estimar la cantidad de BRA a partir de los valores RPR o RSR se utilizan las ecuaciones (1) y (2).

$$BRA_i = \sum_i Y_i \cdot RPR \quad (1)$$

$$BRA_i = \sum_i A_i \cdot RSR \quad (2)$$

Donde Y_i es la cantidad de productos agrícolas (ton) y A_i es la superficie cosechada (ha), al multiplicarse por sus respectivos ratios se puede obtener la BRA para cada tipo de producto. Los RPR se ven afectados principalmente por tres tipos de variables; variantes agroclimáticas, técnicas de cultivo empleadas y ubicación geográfica, por lo que existen variaciones en los mismos como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores RPR (kg de residuos /kg de producto).

	CULTIVO	AVENA	CEBADA	FRIJOL	MAÍZ	SORGO	TRIGO
1	IPCC	1.3	1.2	2.1	1	1.4	1.3
2	García- D. et. al. 2009	0.9	0.94		0.85		0.96
3	Graham, R. et. al. 2007	2	1.5		1		1.3
4	SENER, 2005		2.3	1.5	1.5	1.5	1.5
5	Moreno J. et. al. 2008	1.75	1.75		1.1	1.25	1.75
	PROMEDIO	1.49	1.54	1.8	1.09	1.38	1.36

Existe una considerable dispersión en los valores RPR, pudiendo llegar a sobreestimaciones que duplican la producción real. En este trabajo se han seleccionado valores promedio, debido a que los datos presentados por la SENER de México son superiores y para mantener un cálculo conservador se ha decidido promediar los valores. Aunque los ratios siguen siendo altos, es importante mencionar que México cuenta con climas propicios para este tipo de cultivos. Aplicando los valores RPR promedio a la producción de cultivos agrícolas se obtiene una cantidad de BRA producida en México de aproximadamente 82 millones de toneladas.

2.1.3 Estimación de la cantidad de BRA disponible

Para realizar la estimación real del potencial de BRA debe introducirse el concepto de “disponibilidad”, que relaciona la biomasa potencialmente existente con la que realmente puede ser aprovechada. Esto se realiza mediante un coeficiente de disponibilidad (C_d), el cual incluye el uso alternativo de la BRA para fines distintos a la generación energética. En este trabajo se ha optado por la utilización de un coeficiente de disponibilidad estándar de 0.5 para los residuos seleccionados, el cual aplicado a la estimación de BRA da como resultado 41 millones de toneladas.

2.1.4 Estimación del potencial de la BRA disponible

Para evaluar el potencial energético de la BRA es necesario considerar las características energéticas particulares de los distintos tipos de biomasa, tales como PCI, humedad, contenido de cenizas, etc., estas variables afectarán del proceso de conversión energética, por lo que las modificaciones y adecuaciones de las plantas donde se vaya a realizar la co-combustión tendrán que considerarlas. Para calcular la cantidad de energía térmica disponible a partir de los residuos agrícolas se consideraron los PCI (GJ/ton) que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. PCI de la BRA. Base de datos Phyllis (<http://www.ecn.nl/phyllis/>)

	AVENA	CEBADA	FRIJOL	MAÍZ	SORGO	TRIGO
PCI (GJ/ton)	17.011	17.563	16.24	16.509	14.265	18.028

Utilizando estos valores en la ec. 3, se tiene que el potencial energético a partir de BRA en México es de 6,846.97 PJ.

$$Q_i = \sum_i^n BRA_i \cdot PCI_i \quad (3)$$

donde Q_i representa el potencial energético por producto en (PJ/año) térmico. El potencial energético se encuentra distribuido en las 32 entidades federativas como se muestra en la Fig. 3, creada en GVSIG para visualizar más fácilmente su distribución. Los estados de color azul oscuro tienen mayores recursos de BRA disponible y por tanto mayor potencial energético, mientras que los de color verde claro presentan una menor cantidad, las cantidades que se muestran en la leyenda están en PJ para unificar la diferencia de poder calorífico entre los distintos tipos de residuos agrícolas. En esta misma figura se puede observar la distribución geográfica de las plantas de potencia consideradas en este trabajo, las cuales están representadas por los puntos rojos que a su vez está rodeado por un círculo naranja que indica el área de influencia de dicha central. De esta manera se tiene un panorama general de los estados que tienen mayor potencial de BRA y de la ubicación de las centrales donde pudieran emplearse dichos recursos.

2.2 Evaluación del potencial de BRA para co-combustión

Una vez realizada la evaluación general de BRA en México, se utilizó GVSIG, para llevar a cabo el cálculo del potencial energético de la BRA disponible para co-combustión en una área delimitada alrededor de las 24 centrales termoeléctricas convencionales del país, como se muestra en la Figura 3. Para estimar el potencial específico de BRA para una central térmica en particular, se ha procedido a utilizar un área de influencia (buffer) de 50 km. Se ha supuesto

una distribución homogénea de la BRA mediante un mapa de densidad energética (PJ/m^2). También se debe considerar la cercanía entre varias centrales, ya que al adjudicar el área de los 50 km a cada una de ellas pueden presentarse traslapes de sus respectivas áreas de influencia, o bien, puede presentarse la situación en que dentro de un mismo estado estén ubicadas total o parcialmente dos o más plantas, en ambos casos será necesario repartir el potencial energético de los estados donde se ubiquen dichas centrales a través intersectar las áreas, de esta manera se podrá asignar a cada planta el porcentaje del potencial energético equivalente al área que ocupa dentro del estado. En esta misma figura, se han dimensionado los puntos rojos que representan a las plantas de potencia, de esta manera se puede apreciar fácilmente las centrales con mayor o menor capacidad efectiva así como su ubicación respecto a las zonas de mayor potencial de BRA.

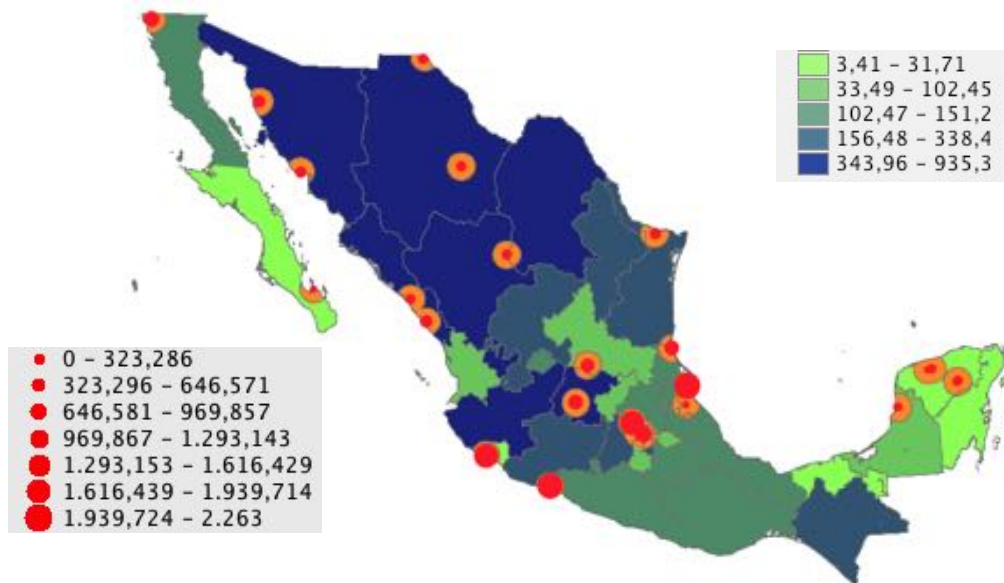


Figura 3. Potencial de co-combustión en México (MW).

3. POTENCIAL DE CO-COMBUSTIÓN EN MÉXICO

La Tabla 3 muestra los resultados del potencial disponible en energía térmica a partir de la BRA para cada central en GWh, considerando una eficiencia de la central del 30%. El recurso energético a partir de BRA es tan abundante para algunas centrales, que el porcentaje disponible de co-combustión es mayor al 100%. En este estudio se proponen dos opciones:

- 1) Co-combustión directa con un porcentaje de sustitución de 12% en energía.
- 2) Co-combustión indirecta con un 30% de sustitución en energía.

La elección de una u otra opción dependerá entre otros factores del potencial de BRA disponible para cada central, en la Tabla 3 la columna de generación de energía muestra la generación bruta por central en GWh anuales, en la siguiente columna se indica el límite máximo que podría generar una central en función de la cantidad de biomasa disponible en el área de 50 km alrededor de la misma, finalmente la columna del límite técnico para llevar a cabo la co-combustión muestra la generación de energía máxima que podría ser producida al sustituir el 12% o el 30%, las filas que están resaltadas indican que determinada central no tiene la suficiente cantidad de biomasa para realizar la co-combustión en una o ambas opciones.

En la Tabla 3 se puede observar que en la mayoría existe la biomasa disponible para implementar la co-combustión directa o indirecta, a excepción de la C.T. Adolfo López Mateos ubicada en Tuxpan, Veracruz, debido a tres factores, primero el hecho de que está cerca de la playa por lo que su círculo de 50 km abarca menor superficie terrestre, el segundo factor es el hecho de que compite por los mismos recursos de BRA con la central de Poza Rica ubicada en el mismo estado y el tercero quizá el de mayor peso es el hecho de que es la segunda central de mayor generación eléctrica con 12,589 GWh, que representa el 14% del total de la energía generada por las centrales analizadas.

Tabla 3. Límites técnicos del potencial de co-combustión en México.

NO.	C.T.	GENERACIÓN DE ENERGÍA (GWh)	LÍMITE POR CANTIDAD DE BIOMASA		LÍMITE TÉCNICO (GWh)	
			(GWh)	(%)	CO-CO DIR.	CO-CO INDIR
17	FCO. PÉREZ RÍOS	11,703	3,996	34.14	1,404	3,511
18	VALLE DE MÉXICO	4,760	1,813	38.09	571	1,428
19	JORGE LUQUE	647	1,813	>100	78	194
20	MANZANILLO I Y II	10,177	1,694	16.65	1,221	1,694
22	SALAMANCA	2,546	11,204	>100	306	764
23	VILLA DE REYES	3,243	3,287	>100	389	973
24	ALTAMIRA	3,776	957	25.35	453	957
25	ADOLFO LÓPEZ M.	12,589	1,492	11.85	1,492	1,492
26	EMILIO PORTES GIL	1,513	1,853	>100	182	454
27	FCO. VILLA	1,479	1,229	83.11	177	444
28	SAMALAYUCA	1,560	519	33.29	187	468
29	GPE. VICTORIA	2,305	1,775	77.02	277	692
30	PUERTO LIBERTAD	3,518	1,677	47.67	422	1,055
31	CARLOS RODRÍGUEZ	1,358	1,251	92.11	163	407
32	JÓSE ACEVES	3,694	7,394	>100	443	1,108
33	PRESIDENTE JUAREZ	3,772	544	14.41	453	544
34	LERMA	729	381	52.23	87	219
35	MÉRIDA II	1,017	156	15.37	122	156
36	JUAN DE DIOS BÁTIZ	2,094	7,394	>100	251	628
37	FELIPE CARRILLO P	1,514	297	19.65	182	297
44	PLUTARCO ELÍAS	14,275	1,669	11.69	1,669	1,669
51	POZA RICA	591	2,244	>100	71	177
52	PUNTA PRIETA	634	66	10.47	66	66
57	NACHI-COCOM	264	145	54.93	32	79
	TOTAL	89,758	54,852		10,699	19,477

Las C.T. Manzanillo I y II tienen las mismas restricciones mencionadas anteriormente, primero su cercanía con la playa, segundo que ambas centrales están prácticamente juntas y la tercera es que entre ambas tienen un potencial de 10,177 GWh, equivalente al 11.33% del total. La C.T. Plutarco Elías Calles al ser la de mayor potencial eléctrico con 14,275 GWh, es decir 15.9% del total de energía, y estar situada en la playa, no alcanza ninguno de los límites técnicos propuestos para implementar la co-combustión en dicha central. La C.T. Punta Prieta además de estar ubicada en la playa tiene como mayor desventaja estar situada en la región con menor producción de BRA, como se mostró en la Figura 3. Mientras que las C.T. Altamira, C.T. Mérida y la C.T. Felipe Carrillo Puerto tienen intersección con alguna otra central dentro de su radio de 50 km, y por lo tanto no es suficiente la cantidad de BRA para alcanzar el 30% de sustitución en energía necesario para realizar la co-combustión indirecta. Caso aparte es la C. T. Presidente Juárez la cual tiene gran parte de su radio de 50 km en la frontera con Estados Unidos de América.

4. CONCLUSIONES

El uso de los SIG permitió una asignación exacta del recurso de BRA a cada una de las centrales y en general se presentó un excelente potencial energético en cada una de las plantas, en los casos en los cuales el potencial de co-combustión fue inferior, puede mejorarse ampliando el radio de 50 km, puesto que como están en la playa, los costes de transporte no se verían incrementados respecto al radio inicial.

La estimación de la disponibilidad de biomasa residual agrícola muestra en total un potencial de generación eléctrica de 54,852 GWh en México, de los cuales 10,699 GWh podrían ser implementados a través de co-combustión indirecta o 19,477 GWh a partir de co-combustión directa. Por lo tanto, se abre un enorme campo de oportunidades tecnológicas, económicas y políticas para el mejor aprovechamiento de esta fuente de energía renovable.

La C.T. Salamanca genera 2546 GWh eléctricos anuales y la biomasa disponible es 37347.08 GWh térmicos, considerando una eficiencia del 30% se tiene que el potencial de co-combustión por disponibilidad de biomasa para esta central es mayor al 100%, por lo tanto se puede considerar que no existe restricción alguna sobre la disponibilidad de biomasa, y que la aplicación de una u otra opción de co-combustión directa o indirecta dependerá de factores técnicos y económicos, como los considerados en los análisis de sensibilidad realizados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Basu et. al. Boilers and Burners "Design and Theory". USA, 2000.
2. CFE. Informe Anual, 2007 y 2008. www.cfe.gob.mx
3. Fouad A, Jaroslaw Z. An evaluation of biomass co-firing in Europe. Biomass and Bioenergy (34) 620-629, 2010.
4. García D, Sebastián F, Royo J. Current Spanish biomass cofiring in coal power stations. 5th. Dubrovnik Conference SDEWES, 2010.
5. García D, Pasucal J, Asín J, García A. Variability and confidence interval in the estimation of agricultural residual biomass at municipality level in Teruel province (Spain). 15th. European Biomass Conference. Berlín, Germany, 2007.
6. Graham R, Nelson R, Sheehan J, Perlack R, Wright L. Current and Potential U.S. Corn Stover Supplies. Agronomy Journal (99), 2007.
7. Kermes, V., Belohradsky, P., Oral, J., Stehlik, P. Testing of gas and liquid fuel burners for power and process industries. Energy 33, 1551 – 1561, 2008.
8. Maserá O, Aguillón J, Gamino B. Estimación del Recursos y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa como Energético Renovable en México. UNAM, 2005.
9. Overgaard P, Sander B, Junker H, Friborg K, Hede-Larsen O. Two years operational experience and further development of full-scale co-firing of straw. 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Rome, Italy, 10-14 May 2004.
10. Royo J. Material de clase de Combustión y co-combustión de biomasa. Análisis económico de co-combustión. Universidad de Zaragoza, 2010.
11. Sander B. Bioenergy for electricity and heat – experiences from biomass-fired CHP plants in Denmark. Energy. October, 2007.
12. Scarlat N, Milan M, Jean D. Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use. Waste Management, 2010.
13. Secretaría de Desarrollo Económico Sustentable. Inventario de Biomasa del Estado de Guanajuato, 2004.
14. SENER. Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México, 2006.
15. Singh J, Panesar B, Sharma S. Energy potential through agricultural biomass using geographical information system: A case study of Punjab. Biomass and Bioenergy (32) 301-307, 2008.
16. Viana H, Cohen W, Lopes D, Aranha J. Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal. Applied Energy, 2010.
17. Voivontas D, Assimacopoulos D, Koukios E. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. Biomass and Bioenergy (20) 101-112, 2001.
18. Yin, C., Kaer, S., Rosendahl, L., Hvid, S. Co-firing straw with coal in a swirl-stabilized dual-feed burner: Modelling and experimental validation. Bioresource Technology 101, 4169–4178, 2010.
19. INE. Instituto Nacional de Ecología, México, 2007. www.ine.gob.mx
20. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. www.inegi.gob.mx
21. IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. www.ipcc.ch
22. SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. www.sagarpa.gob.mx
23. www.ecn.nl/phyllis/