



Barreras para la producción y el mercado de biocombustibles sólidos forestales en México desde la perspectiva de las empresas

Production and market barriers of solid forest biofuels in Mexico From the enterprises' perspective

Quetzalcóatl Orozco-Ramírez^{1*}, Daniel Cohen-Salgado², Teresita Arias-Chalico³, Carlos A. García⁴, René Martínez-Bravo² y Omar Masera²

¹ Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Unidad Académica de Estudios Territoriales. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

³ Naturaleza y Desarrollo NYDE A.C. Querétaro, Querétaro, México.

* Autor de correspondencia.
qorozco@geografia.unam.mx

² Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad. Morelia, Michoacán, México.

⁴ Universidad Nacional Autónoma de México. Unidad Morelia. Escuela Nacional de Estudios Superiores. Morelia, Michoacán, México.

RESUMEN

La bioenergía es una alternativa importante para la reducción del uso de combustibles fósiles y para la mitigación de gases de efecto invernadero. Existe un mercado global creciente para los transportadores energéticos forestales (TEF), tales como los *pellets* o las astillas combustibles. México cuenta con un gran potencial de recursos y residuos forestales que pueden ser utilizados como TEF de manera sustentable. Sin embargo, existen barreras importantes para la producción, comercialización y uso de estos biocombustibles. El presente estudio parte de la perspectiva de las empresas forestales para identificar las barreras a la producción y comercio de estos productos en México. Se entrevistó a representantes de 58 empresas distribuidas en las regiones forestales más importantes del país, las cuales producen o tienen el potencial de producir: carbón vegetal, leña de monte, astilla, *pellets*, leña industrial, corteza o aserrín. Los resultados indican que las barreras de mercado, como la escasa demanda actual y los precios bajos de los TEF, son las que más limitan su producción. También se encontró que la falta de estudios de mercado, así como la poca infraestructura y equipo para la producción de transportadores como la astilla o el *pellet* son otros factores limitantes. Las barreras dependen del tipo de empresa y del tipo de TEF que produzcan. Las empresas que producen más de un producto enfrentan más barreras que las que se especializan en uno, porque en la mayoría de los casos estos son subproductos de aserrío.

PALABRAS CLAVE: astillas combustibles, carbón vegetal, leña, *pellets*, transportadores energéticos forestales.

ABSTRACT

Bioenergy is an important alternative for the reduction of fossil fuel use and the mitigation of greenhouse gases (GHGs) emissions. There is a growing global market for forest energy carriers (FECs), such as wood pellets and wood chip fuel. Mexico has a large potential for forest resources to be used as sustainable FECs. However, there are important barriers for the production, commercialization, and use of these biofuels. This study is based on the perspective of forest enterprises to identify the barriers for the production and market of these products in Mexico. Representatives from 58 enterprises were interviewed. These companies operate in the country's major forest regions. They produce or have the potential to produce one or several of the following FECs: charcoal, fuelwood, wood chip, wood pellets, industrial fuelwood, bark, and sawdust. The results indicate that market entry barriers, such as the current low demand and low prices of FECs, limit their production and use. Other limiting factors include low management and technical capacities, as well as inadequate infrastructure and equipment to produce carriers (such as charcoal, wood chips, and wood pellets). Results also prove that barriers depend on the type of company and the type of TEF they produce. Enterprises producing more than one FEC face more barriers because they are generally not specialized and produce residues from the saw milling process.

KEYWORDS: wood chip fuel, charcoal, fuelwood, wood pellets, forest energy carriers.

INTRODUCCIÓN

Los recursos forestales son una fuente importante de energía a escala mundial. Entre estos, los residuos forestales son una fuente de energía renovable que puede reducir el uso de combustibles fósiles y, por tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero (Sathre y Gustavsson, 2011). La biomasa usada de forma tradicional aportó 6.9% del consumo global de energía en 2018. La biomasa utilizada en aplicaciones modernas para la generación de energía eléctrica y calor aportó cerca de 4.3% (Renewables Now [REN21], 2020). En la mayoría de los países en desarrollo, la biomasa forestal se usa intensamente en los hogares, principalmente como leña y carbón vegetal para cocinar (Bailis et al., 2015). Por otra parte, el uso de *pellets* de madera ha crecido rápidamente en Europa y Norteamérica, y las proyecciones globales indican que esta tendencia va a continuar (Heinimö y Junginger, 2009; Sikkema et al., 2011).

No obstante que el uso de la biomasa sólida como combustible en aplicaciones modernas se ha incrementado en países industrializados (REN21, 2020), aún existen barreras que impiden que su utilización aumente. Las principales barreras que se señalan son la competencia en el uso de la biomasa como combustible con la producción de papel, los combustibles fósiles (Roos et al., 1999) y los problemas logísticos presentes en la cadena de abastecimiento (Junginger et al., 2011). En países donde el mercado de la energía está dominado por los combustibles fósiles, el establecimiento de un mercado para los combustibles forestales es complicado (Mayfield et al., 2007). Rösch y Kaltschmitt (1999) han identificado cinco obstáculos para el desarrollo del uso energético de la biomasa forestal. Estos son: 1) problemas de financiamiento; 2) condiciones poco favorables para el manejo; 3) dificultades de organización; 4) falta de conocimiento y de un flujo apropiado de información; y 5) mala percepción y baja aceptación. Sin embargo, otros autores consideran que no existen las barreras absolutas, sino que las barreras son dinámicas y contexto-dependientes, y no necesariamente técnicas (McCormick y Käberger, 2007).

A pesar de que 32.7% de la superficie del país está cubierto por bosques y selvas (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2018), con un alto potencial para la producción de biocombustibles sólidos, los recursos forestales en México han recibido poca atención como fuentes de energía (García et al., 2015; Tauro et al., 2018a). En 2010, se estimó que la biomasa forestal que se podía cosechar directamente de los bosques para fines energéticos podría representar entre 638 PJ y 930 PJ, adicionales a los 26 PJ a 63 PJ de residuos de la industria de la madera (García et al., 2015; Ríos y Kaltschmitt, 2013). Estas cifras representan entre 13% y 18% del consumo final de energía en el país (5479 PJ) (Secretaría de Energía [Sener], 2017).

De acuerdo con el balance nacional de energía, el consumo actual de biocombustibles forestales en México equivale a 3.84% de la energía total consumida en el país (Sener 2019). Su uso está asociado principalmente a la cocción de alimentos y a un número importante de pequeñas industrias (Serrano-Medrano et al., 2014).

Existen residuos de la industria forestal que se utilizan como TEF, tales como el aserrín, la corteza o la leña industrial; sin embargo, no existe una estimación de su volumen. También existen algunas empresas forestales que están incursionando en la producción y comercialización de combustibles procesados, como los *pellets* y las astillas, pero aún no hay un mercado nacional bien desarrollado para ellos (Tauro et al., 2018b). Tauro et al (2018a) señalan que, en los bosques y selvas de México, 66% del volumen de madera autorizado para su explotación anualmente no es extraído; lo anterior muestra que existe un potencial importante de biomasa leñosa para ser utilizado como energía. A este volumen no cosechado hay que sumar los residuos en monte de los árboles extraídos que representan entre 20% y 60% de la madera en rollo, más los residuos de la madera procesada en los aserraderos los cuales corresponden aproximadamente a 50% de la madera en rollo procesada (Tauro et al., 2018a). En este sentido, estimaciones de Sámayo y Díaz (2017) indican que por cada metro cúbico de madera en rollo aprovechado como tabla o escuadría hay ocho metros cúbicos que quedan sin utilizar.



En 2018, la extracción autorizada de madera en México fue de 8.3 millones de metros cúbicos rollo. A madera aserrada se destinó 70.1%, 10% a celulosa, 7.4% a carbón, 5.4% a leña, 5.4% a chapa y triplay, y 1.7% a postes (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2021). Sin embargo, se ha indicado que la estimación de la producción de carbón está subestimada en 90% aproximadamente (Serrano-Medrano et al., 2014). El conjunto de industrias que procesan estos recursos forestales es muy amplio; en 2003 se registraron 3497 industrias forestales, de las cuales, 59% son aserraderos, 15% son fábricas de cajas y talleres secundarios (con el mismo porcentaje cada uno) y el resto (11%) son industrias de chapa, tablero, muebles y celulosa, entre otras (Semarnat, 2005). Algunos residuos de estas industrias como el aserrín y la corteza causan problemas de contaminación, aumentan el riesgo de incendios y su adecuada disposición final implica un gasto extra para las empresas (Fregoso-Madueño et al., 2017).

En México ocurre una situación paradójica: hay un amplio potencial para utilizar los biocombustibles forestales con fines energéticos, pero su uso todavía es incipiente, sobre todo a nivel industrial. Aunado a su aporte energético, el uso de biomasa forestal como fuente renovable de energía puede formar parte de la estrategia para cumplir el compromiso del país de reducir a la mitad las emisiones de GEI para 2050, tomando como referencia las emisiones del año 2000 (Semarnat, 2016). En 2015, México emitió un total de 683 millones de toneladas de CO₂ equivalente de los cuales 64% correspondieron al consumo de combustibles fósiles (Semarnat, 2016). Por lo tanto, es importante identificar y entender las barreras que limitan el aprovechamiento de la biomasa forestal como fuente de energía. Para el presente estudio, se define a las barreras como los obstáculos que han impedido o pueden impedir la producción de cualquier TEF, las cuales a menudo pueden ser superadas o atenuadas por medio de políticas públicas, regulaciones, desarrollo tecnológico, capacitación u otras medidas (Intergovernmental Panel on Climatic Change [IPCC], 2001; Verbruggen et al., 2010).

Para Europa y los Estados Unidos, se han realizado varios estudios sobre las barreras para el uso de energía renovable (Painuly, 2001) y para el uso energético de la biomasa forestal (Adams et al., 2011; Junginger et al., 2011; Verbruggen et al., 2010). Sin embargo, para los países de Latinoamérica con alto potencial, como México (Tauro et al., 2018a; b), Chile (Paneque et al., 2011) y Brasil (Lora y Andrade, 2009), no existen este tipo de análisis y la mayoría de los estudios se limitan a describir el potencial energético de la biomasa en sus diferentes formas. Así, Cruzado et al. (2017) estudiaron el potencial regional de biomasa para abastecer conglomerados industriales en México y encontraron estos cinco factores negativos: a) la falta de una cadena de valor para los residuos de biomasa; b) el subdesarrollo del sector rural; c) los bajos precios de los combustibles fósiles; d) la falta de estudios de mercado y planes de negocios objetivos; e) la competencia con otros usos de la biomasa; y f) la competencia con otras fuentes de energía renovable.

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio fue identificar y analizar las barreras que limitan la producción de TEF en México, para una muestra de 58 empresas forestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de la muestra y obtención de datos

Las unidades de estudio fueron 58 empresas forestales del país, entre las que se incluyeron: oferentes de materias primas forestales (ejidos, comunidades o pequeños propietarios), transformadores (como aserraderos o productores de carbón) y/o comercializadores de algún producto o subproducto forestal. El tamaño de muestra se determinó en función de los recursos del proyecto, la disponibilidad de las empresas a ser entrevistadas en cada región y la representatividad del tipo de propiedad. Por esta razón, la muestra incluyó empresas sociales (de ejidos: 28 empresas; de comunidades indígenas: 10 empresas) y privadas (20 empresas), localizadas en 11 estados, en los que se concentran las principales zonas forestales del país. En

la tabla 1 se incluyen las características de las empresas muestreadas.

El trabajo de campo se dividió en dos etapas. Primero, por medio de entrevistas estructuradas a directivos o asesores técnicos, se obtuvo información general sobre la disponibilidad de recursos forestales, el volumen de producción, el interés para producir TEF, el nivel de organización y el nivel de experiencia en la actividad de las 58 empresas. Estas se realizaron entre marzo y octubre de 2016. Durante las visitas de campo también se realizó observación participante para la identificación de problemas, la cual es un método etnográfico para obtener información cualitativa que implica la observación detallada

y activa de las actividades en su contexto natural (Kawulich, 2005). En la segunda etapa, se seleccionó una submuestra de 10 empresas que producen o utilizan TEF: 3 comunales, 3 ejidales y 4 privadas. Se seleccionaron las empresas que aceptaron un análisis a profundidad del proceso de producción incluyendo aspectos técnicos y económicos. Se identificaron problemas de producción, económicos y de comercialización de TEF. Además, la selección de estas 10 empresas siguió un proceso multicriterio que utilizó 17 variables para caracterizarlas, las cuales se presentan en el material suplementario 1. Los tipos de TEF analizados fueron: carbón vegetal, leña de monte, leña industrial, *pellets*, astillas, aserrín y corteza.

TABLA 1. Variables utilizadas para la selección de la submuestra de 10 empresas.

Área de evaluación	Variable
I. Disposición a vender madera para energía	1. Disposición a vender biomasa para energía
	2. Condición para vender residuos para energía
	3. Dará acceso a programa de aprovechamiento, autorización y SIG
	4. Aportará información para el análisis económico-financiero
II. Transparencia y administración	5. Qué hicieron con las ganancias de los últimos 3 años
	6. Las fuentes de financiamiento son
	7. Confiabilidad de la entrevista
III. Volumen	8. Volumen total autorizado, total procesado en la industria o total acopiado
	9. Volumen disponible (lo autorizado, procesado o acopiado y que no tiene otra aplicación)
	10. Volumen potencial (lo que el entrevistado indique que podría vender si se cumplen ciertas condiciones)
IV. Accesibilidad física	11. Ubicación de la materia prima en
	12. Distancia del camino de terracería a carretera asfaltada
V. Experiencia	13. Tiempo en la actividad
	14. Infraestructura
VI. Gobernanza	15. Decisiones estratégicas
	16. Decisiones operativas
	17. Forma de resolución de conflictos sobre el aprovechamiento/producción forestal



Identificación y análisis de las barreras

La identificación de barreras se realizó utilizando un proceso de dos etapas. En la primera, se analizó caso por caso la información de las 58 empresas para identificar los problemas o condiciones que impedían o limitaban la producción de TEF. Este análisis permitió, de manera preliminar, la identificación de 13 barreras, las cuales se clasificaron en cuatro grupos: 1) de regulación y políticas públicas, 2) de mercado, financieras y económicas, 3) técnicas, y 4) gerenciales, organizacionales y de información (Tabla 2). Se decidió esta clasificación por ser práctica para analizar y comunicar los resultados (McCormick y Kåberger, 2007; Shiet al., 2008) y.

El conjunto de barreras encontradas en las 58 empresas se analizó mediante un ANOVA para identificar posibles asociaciones entre las barreras y las características de las empresas, tales como tipo de propiedad, región, tamaño y número de TEF producidos. Por otra parte, las empresas se agruparon por tipo y categoría de barreras con el propósito de identificar otras posibles relaciones. Ambos análisis se realizaron en R (R Core Team, 2013).

En la segunda etapa se analizó la información detallada del proceso productivo y las variables económicas de las 10 empresas que producen y comercializan TEF. Se visitó a las 10 empresas en el verano de 2017 para obtener dicha información. Para ello, primero se identificaron los problemas específicos de cada empresa, los cuales sumaron 46. Estos problemas se resumieron y se identificaron sus barreras asociadas, considerando que una barrera es más

general que un problema específico y un problema específico puede estar asociado a una o más barreras. Con este procedimiento se identificaron 16 barreras asociadas a los 46 problemas encontrados. Posteriormente se agruparon las barreras obtenidas para la muestra de 58 empresas y la submuestra de 10 empresas. Este procedimiento permitió una identificación final de 22 barreras, debido a que algunas se repetían en ambas listas (Tabla 3).

Para realizar un análisis de percepción de las barreras, se realizó una tercera visita de campo, en el verano de 2018, en la que se entrevistó a 16 directivos de la submuestra de 10 empresas. El procedimiento consistió en reescribir, empleando un lenguaje simple, la lista final de barreras identificadas. De las 22 barreras solo se incluyeron 20, puesto que dos de ellas no aplicaban a las empresas entrevistadas. A los entrevistados se les pidió que ordenaran las barreras de menor a mayor importancia, de 0 a 6, siguiendo un esquema piramidal con siete columnas. Esta manera de agrupar enunciados con importancia similar es más fácil de hacer y analizar que la ordenación libre (Watts y Stenner, 2005). Después de ordenar las barreras, se pidió que agregaran otras barreras que no estuvieran incluidas y que también las ubicaran en la escala de valoración. Esto se realizó como una medida de validación de la lista de barreras que previamente se habían identificado. La importancia de las barreras se calculó sumando la puntuación que cada barrera obtuvo en las entrevistas con los directivos.

TABLA 2. Clasificación de barreras.

<i>Categoría</i>	<i>Definición</i>
De regulación y políticas públicas	Asociadas a las leyes y permisos necesarios para el aprovechamiento forestal, así como a la ausencia de políticas públicas para incentivar la actividad.
De mercado, financieras y económicas	Generadas por la poca demanda de TEF, los bajos precios, la falta de financiamiento y la baja rentabilidad de la producción de TEF.
Técnicas	Dependientes de la tecnología utilizada o disponible para producir TEF, los procesos productivos y las condiciones de la infraestructura actual.
Gerenciales, organizacionales y de información	Relacionadas con la capacidad de dirección y la organización al interior de la empresa, así como al conocimiento y disponibilidad de información.

TABLA 3. Barreras identificadas en las empresas forestales, clasificación y tipo de TEF al que se asocian principalmente.

No	Barrera	Cat	TEF
1	Problemas para la obtención de la autorización de aprovechamiento forestal	RPP	
2	Falta de apoyo gubernamental o de bancas de desarrollo /comerciales para el desarrollo de estas actividades (subsídios o créditos)	RPP	
3	El valor de un producto o coproducto como TEF es menor que el valor para otros usos. La misma materia prima tiene un precio más bajo si se usa como energético que si se usa para otro fin	MFE	A
4	La capacidad de inversión de la empresa forestal es insuficiente	MFE	
5	Mal historial crediticio de la empresa, lo que impide su acceso a crédito	MFE	
6	Altos costos de producción y distribución del TEF	MFE	P, C
7	Falta de mercado para un TEF disponible	MFE	P, A, Li, Co, As,
8	Precio bajo del TE que genera un margen de ganancia bajo	MFE	A, C, L, Li, Co, As
9	Rentabilidad baja de la empresa y dependencia de subsidios	MFE	C
10	El volumen manejado de subproducto con potencial de ser TEF es insuficiente para que la operación sea rentable para la empresa	Tec	
11	La materia prima es de difícil acceso, ya sea porque la Infraestructura de caminos es insuficiente y/o está en malas condiciones, o porque la distancia entre la materia prima y las instalaciones de transformación es muy grande	Tec	A
12	La empresa no tiene personal técnico capacitado y/o suficiente para producir TEF.	Tec	
13	Infraestructura y equipo deficiente o inexistente para producir TEF	Tec	P, C,
14	Insumos (coproductos) con características no apropiadas para producir TEF	Tec	P
15	Lejanía de la empresa a los demandantes de TEF lo que provoca altos costos de transporte y bajo margen de ganancia	Tec	P, A, Co, As
16	No existe interés de la empresa para vender biomasa y convertirla en TEF	GOI	
17	La empresa tiene una baja capacidad gerencial para manejar una operación comercial de algún TEF, hay poca organización del proceso productivo y/o no tiene autonomía para tomar decisiones para el desarrollo de nuevas áreas de negocio dentro de su empresa	GOI	
18	El proceso de toma de decisiones es complicado y no existe un reglamento interno que especifique las funciones de los miembros de la empresa	GOI	
19	Falta de conocimiento de que existe un mercado energético para los coproductos. Falta un estudio de mercado para los TEF	GOI	P, A
20	Falta de planes de negocios para el desarrollo de las empresas y producción de TEF	GOI	
21	Falta de análisis financieros de la producción de TEF para fijar precios	GOI	P
22	La opinión pública tiene una visión negativa del uso de los recursos forestales para la producción de TEF	GOI	C

Notas. Cat: Categoría de la barrera. RPP: Regulación y políticas públicas; MFE: Mercado, financiero o económico; Tec: Técnico; GOI: Gerencial, organizacional o de información. TEF: TEF específico al que aplica esa barrera. P: Pellet, A: Astilla, C: Carbón, L: Leña de monte, Li: Leña industrial, Co: Corteza, As: Aserrín.



RESULTADOS

Identificación de barreras

En total se identificaron 22 barreras (Tabla 3). De estas, dos fueron de regulación y políticas públicas: a) problemas para obtener la autorización de aprovechamiento forestal, y b) ausencia de apoyos gubernamentales para incentivar el uso de los residuos forestales para la producción de energía. En la categoría de barreras de mercado financieras y económicas se encontraron siete barreras. Las dos más frecuentes fueron: a) la falta de un mercado para los residuos forestales o TEF disponibles y b) el bajo precio de los residuos y TEF. Para los casos de la astilla y de la corteza, una barrera común fue la existencia de un mercado con mejores precios para su uso no energético, por ejemplo, en las plantas de celulosa y tableros (astilla) o para los usuarios de sustrato para viveros y “*mulching*” en huertas de frutales (corteza). Como resultado del análisis, se encontraron seis barreras técnicas. Las más frecuentes en las empresas fueron la lejanía de los clientes potenciales de las empresas oferentes y la falta de equipo o infraestructura para producir TEF. En la categoría de barreras gerenciales,

organizativas y de información se encontraron siete barreras, destacando entre estas la falta de conocimiento sobre el mercado energético para los coproductos del aprovechamiento forestal y la falta de planes de negocios de las empresas oferentes.

Barreras de acuerdo con las características de las empresas

El análisis de las barreras encontradas en la muestra de 58 empresas muestra la existencia de relaciones relevantes entre el número de barreras y las características de las empresas. El análisis de varianza mostró que las empresas ejidales enfrentan más barreras que las empresas privadas ($P = 0.007$); las empresas comunitarias no tienen un número diferente de barreras a las empresas ejidales o privadas (Tabla 4). Por otro lado, las empresas que producen solo un TEF enfrentan menos barreras que las que producen entre dos y cuatro. También, se encontraron diferencias significativas en el número de barreras gerenciales, organizacionales y de información ($P = 0.0002$) entre empresas comunitarias y ejidales (Tabla 4).

TABLA 4. Resultados del análisis de varianza de total de barreras de las 58 empresas agrupadas por a) tipo de propiedad, b) cantidad de TEF producidos y c) tipo de propiedad y número de barreras gerenciales, organizacionales y de información.

Variable	Valor de F	Valor de P	Categorías	Media de barreras totales	Grupo ($p = 0.05$)
a) Tipo de propiedad	5.392	0.007	Comunal (n= 10)	4.4	Ab
			Ejidal (n= 28)	4.5	A
			Privada (n= 20)	3.3	B
b) Número de TEF producidos	4.131	0.006	0	4.8	A
			1	3.0	B
			2	3.8	Ab
			3	3.3	Ab
			4	4.3	Ab
Variable	Valor de F	Valor de P	Categorías	media de barreras gerenciales, organizacionales y de información	Grupo ($p = 0.05$)
c) Tipo de propiedad	10.19	0.0002	Comunal	1.7	A
			Ejidal	2.1	A
			Privada	0.8	B

El análisis de agrupamiento jerárquico basado en el número de barreras por categoría muestra cuatro grupos de empresas (Fig. 1). El grupo 1 está conformado por ocho empresas, la mayoría privadas, que producen solo un TEF. El grupo 2 está compuesto por 10 empresas, la mayoría ejidales, que no producen TEF. El grupo 3 está conformado por nueve empresas, la mayoría privadas, las cuales producen de tres a cuatro TEF. Y el grupo 4 incluye 31 empresas, la mayoría ejidales, que producen un número variable de TEF. Ambos análisis sugieren que las compañías con menos barreras se especializan en un TEF y que estas son principalmente privadas.

Importancia y percepción de barreras

Desde la percepción de las empresas productoras, las barreras más importantes están relacionadas con el mercado

y la falta de información (Fig. 2). La barrera más importante fue el bajo precio de los TEF (aproximadamente 80 puntos). La segunda barrera en importancia fue la falta de estudios de mercado para la identificación de clientes potenciales (casi 70 puntos). La tercera barrera fue la falta actual de compradores de TEF, la cual tiene relación con la falta de estudios de mercado.

Las empresas también son conscientes de su falta de conocimiento sobre el mercado de los TEF y sobre su producto en particular. Incluso las compañías que producen o comercializan TEF con algún grado de éxito todavía enfrentan un mercado poco desarrollado. Este análisis muestra que las empresas enfrentan un panorama complejo porque padecen simultáneamente problemas técnicos, de organización y económicos.

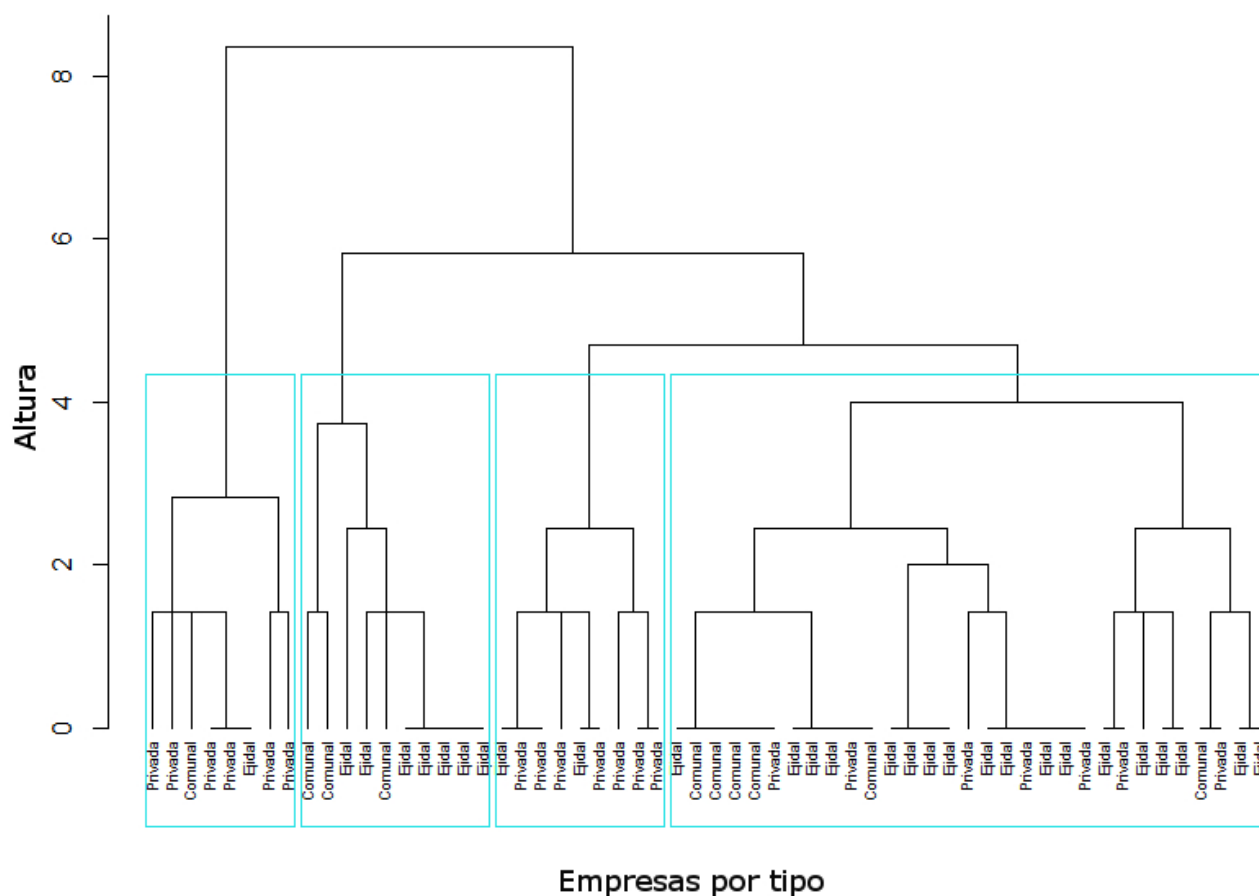


FIGURA 1. Dendrograma resultado del análisis de agrupamiento jerárquico de las compañías por número de barreras por categoría.

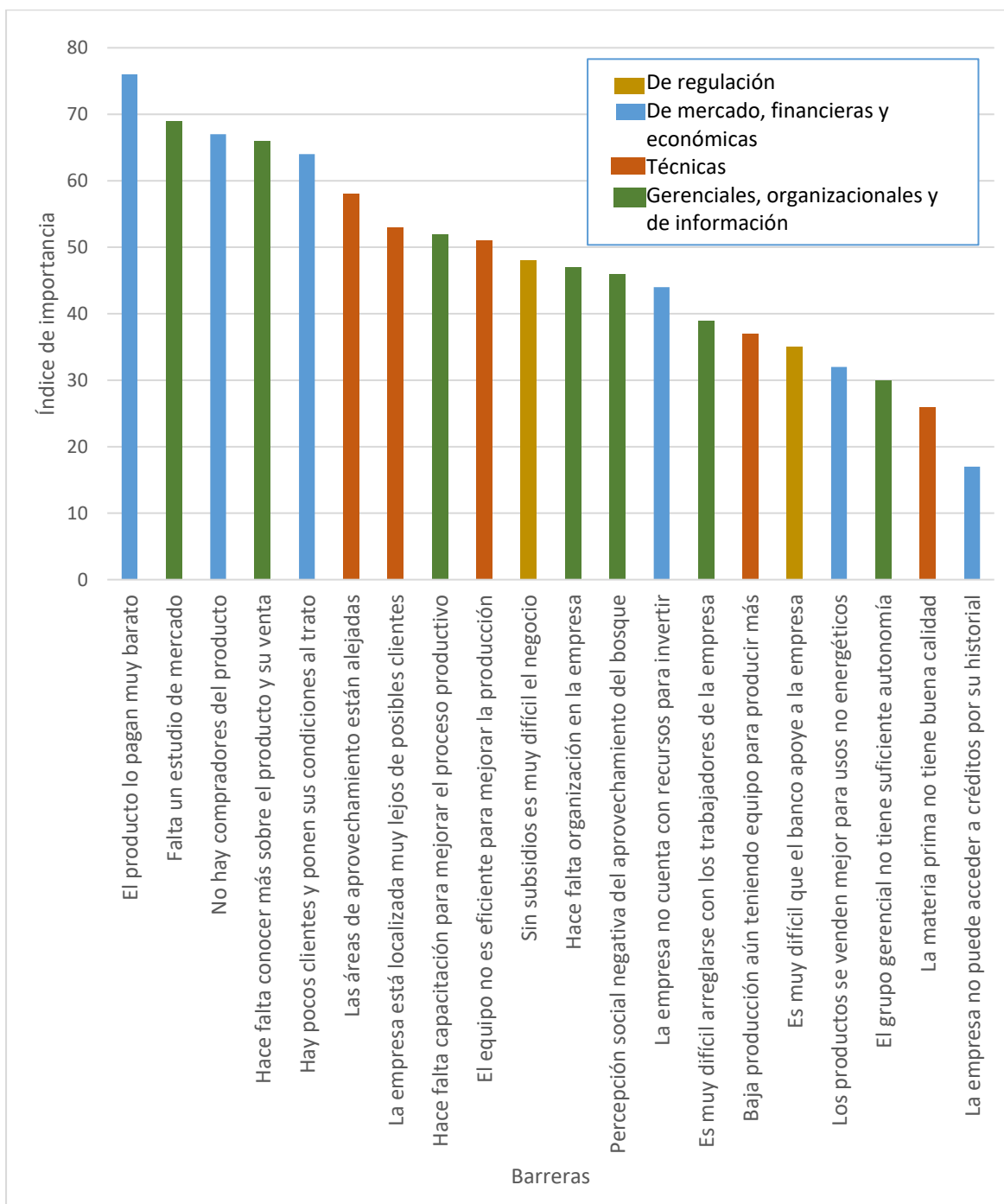


FIGURA 2. Importancia de las barreras desde la percepción de los directivos de las empresas.

Cuatro empresas mencionaron en total seis barreras que no fueron detectadas e incluidas en el análisis de importancia. Tres de esas barreras se refirieron a la falta de conocimiento de los clientes potenciales sobre los TEF. Estas barreras

fueron mencionadas por empresas que producen astillas y *pellets*, quienes consideran que los usuarios potenciales no tienen toda la información sobre los beneficios y la disponibilidad de estos TEF. Las otras tres barreras

mencionadas fueron muy específicas para cada empresa, por ejemplo, caminos de acceso en mal estado o falta de apoyo del gobierno local a la empresa.

Barreras por transportador energético forestal

a) Pellets. La única empresa que produce *pellets* tuvo siete barreras (Tabla 3; Fig. 3), entre las que destacan la falta de mercado y los altos costos de producción y distribución. Tres son barreras técnicas: a) infraestructura y equipo de producción deficiente, b) insumos con características no apropiadas para producir *pellet* y c) lejanía de los demandantes. La falta de demanda es quizá la más importante de todas porque en México no existen aún tecnologías que utilicen *pellet*. Para uso doméstico, el *pellet* es un TEF más caro que la leña. Para uso industrial puede tener potencial, sobre todo cuando las distancias de transporte son grandes, porque a cortas distancias no puede competir con la astilla.

b) Astillas de madera. Las barreras identificadas para la producción de astilla son seis en total (Tabla 3; Fig. 3). De estas, la más importante es la competencia con otros usos. La astilla limpia (sin corteza) tiene una demanda establecida

para la producción de celulosa y tableros, para los cuales los clientes pagan precios más altos que si fueran TEF. En algunas regiones, esta diferencia de valor en función del uso hace que no haya astilla disponible como TEF. Por otra parte, actualmente se tiene identificado que los clientes o usuarios de astilla para uso energético en México son principalmente las tequileras y los ingenios al inicio de la zafra, aunque podrán incrementar en los próximos años debido al interés de ciertas industrias como la alimentaria (en 2016 se contaban doce tequileras, doce ingenios, tres o cuatro plantas de fabricación de tableros). El transporte es el componente de costo más alto en el precio final de la astilla, por lo que la distancia al usuario es un factor condicionante de la viabilidad comercial (Riegelhaupt, 2016).

c) Carbón vegetal. Las empresas que producen carbón enfrentan cinco barreras (Tabla 3; Fig. 3). De entre estas destacan el alto costo de producción, la infraestructura y equipo deficientes, y los precios bajos. Un productor mencionó que existe una percepción social negativa de la producción de carbón al asociarla con la deforestación. El carbón tiene uso doméstico principalmente. Su precio está vinculado a una sobre oferta de producción de carbón no regulada.

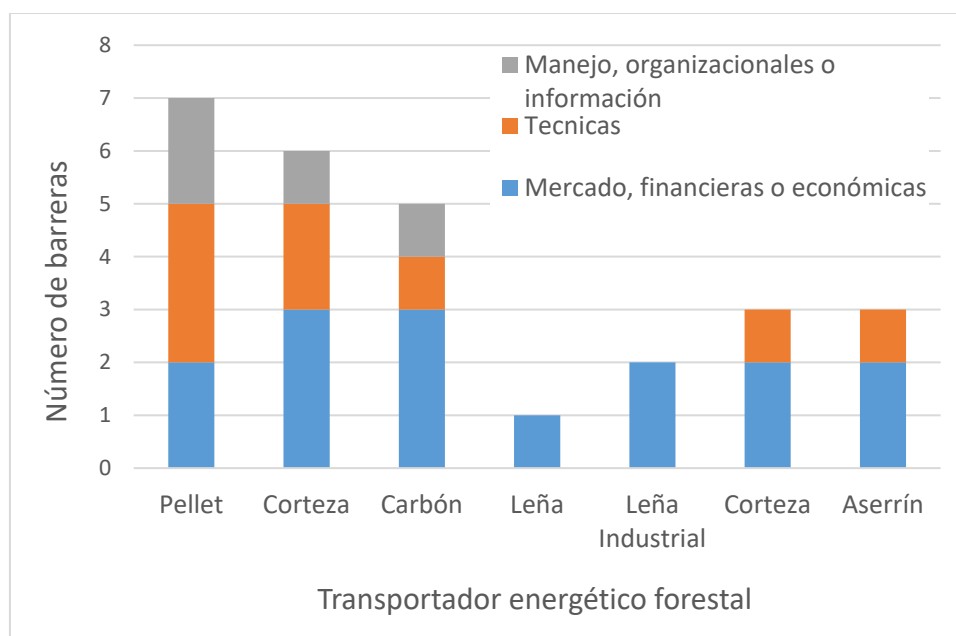


FIGURA 3. Número y tipo de barreras por transportador energético forestal.



Las empresas carboneras son pequeñas y el costo de transporte y distribución es alto; esto reduce su margen de ganancia lo que puede ser una barrera potencial. También hace falta mejorar la organización en la cadena productiva, porque existen desacuerdos entre carboneros, dueños del predio y/o empresarios. Hay poca integración y altos costos de transacción en las etapas de acopio, almacenamiento, empaque y distribución, sin embargo, el mercado del carbón ha crecido en los últimos años, por lo que las empresas con mejor tecnología y organización podrán aprovechar este crecimiento en la demanda (Serrano-Medrano et al., 2014).

d) Leña de monte. Para la leña de monte únicamente se detectó una barrera específica (Tabla 3; Fig. 3), el bajo precio. La leña se utiliza principalmente en el sector doméstico del medio rural, donde la mayoría de los usuarios la recolectan por sus propios medios (Ghilardi et al., 2009). Por lo que, cuando las empresas forestales quieren incursionar en el mercado de la leña para las zonas urbanas, sobre todo para el sector restaurantero, se enfrentan al costo elevado de transporte, por esto la distancia entre la empresa forestal y la ciudad es una barrera importante.

e) Leña industrial, corteza y aserrín. La producción de leña industrial, corteza y aserrín no presenta barreras en su obtención, porque los tres son coproductos del proceso de aserrado de madera. Para estos TEF las barreras son de comercialización. Debido al conocimiento actual del mercado que tienen las empresas, en varias regiones, no existen opciones de comercialización viables debido al bajo precio de la leña en comparación con los costos de manejo y transporte hacia los posibles demandantes. Para la leña industrial y el aserrín lo más común es encontrar una sobreoferta local. Por otra parte, es necesario considerar que el aserrín tiene una baja densidad energética, por lo que transportarlo resulta caro. En el caso del aserrín, es normal encontrarlo acumulado en los patios de las empresas, por lo que estas deben pagar por su disposición final. En algunas regiones hay demanda de corteza como sustrato para viveros o cultivos y, para este uso, el precio es más alto que para su uso energético.

DISCUSIÓN

Las empresas forestales mexicanas son muy heterogéneas. Dentro de la muestra, las empresas que se dedican a un solo TEF son las que tienen menos barreras, probablemente porque poseen un mejor conocimiento de su nicho de mercado. La falta de apoyo gubernamental y el mercado incipiente hacen que sea más difícil vencer las barreras internas, muy comunes en empresas ejidales. Como consecuencia, estas empresas tienen mayor dificultad para iniciar con la producción o uso de algún TEF.

Otro grupo de empresas que tienen más barreras que vencer son aquellas que producen varios TEF, estos son principalmente coproductos del aserrío: leña industrial, aserrín y corteza. Una característica común de estas empresas es su falta de especialización. En este grupo se encuentran empresas tanto privadas como de propiedad social, su principal barrera consiste en encontrar un mercado con un precio competitivo para sus TEF. Sin embargo, debido a que estos TEF no son su principal producto, no invierten en mejorar su producción y manejo. El área de oportunidad que se identificó de manera más clara fue con las empresas que tienen gastos asociados a la disposición de dichos subproductos o desechos, lo cual genera costos en la producción de su principal producto (que generalmente es la madera aserrada). Dentro de la muestra de 58, este tipo de empresas es el más común.

Otra categoría que se identificó está compuesta por las empresas que además de generar algún producto forestal están especializadas en algún TEF. Estas son tanto comunales como privadas y se caracterizan por tener un mejor manejo técnico y un mejor conocimiento del mercado sobre el TEF particular que producen. Este tipo de empresas es el menos común, de estas se encontraron solo doce empresas de las 58 que constituyeron la muestra. No obstante, estas doce empresas son las que se encuentran mejor desarrolladas, en cuanto a su especialización y a su potencial comercial. Los TEF que producen estas doce son astilla, *pellets* y carbón.

Los autores de este trabajo consideran que, aunque la muestra estudiada es relativamente pequeña, proporciona

un panorama general del tipo de casos que se pueden encontrar en el sector forestal de México. La muestra representa adecuadamente el universo de empresas forestales que existen en el país. Los estudiosos del sector forestal mexicano clasifican a las empresas forestales del sector social en cuatro tipos: I) Potenciales, son empresas comunales que tienen recursos forestales, pero no tienen actividades de manejo. II) Rentistas, son comunidades con recursos forestales que son aprovechados por terceros. III) Productores de materias primas, son comunidades que realizan aprovechamiento de sus recursos forestales y participan como proveedores de materias primas en alguna etapa de la cadena productiva. IV) Comunidades que cuentan con empresas forestales comunitarias y tienen capacidad de transformación y comercialización de sus productos (Anta y Meza, 2018). A escala nacional las empresas tipo I representan 61%, las tipo II 22%, las tipo III 11% y las tipo IV 6% (Chapela, 2018). En la muestra de este estudio, no se entrevistaron comunidades del tipo I. Dieciséis (28%) fueron del tipo II, 23 (40%) tipo III y 6 (10%) al tipo IV. El resto (13) no se puede clasificar según estas categorías por ser empresas privadas que se dedican a aserrar, comercializar o producir carbón. Todas las empresas de los tipos III y IV tienen un alto potencial para producir o aprovechar TEF y en los estados de Chihuahua, Estado de México, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Campeche y Quintana Roo suman 366 empresas (Anta y Meza, 2018; Estrada, 2018; García, 2018; Madrid *et al.*, 2018; Navia-Antezana *et al.*, 2018; Torres, 2018).

Respecto a las barreras, la evidencia confirma que son dinámicas y difíciles de identificar (McCormik y Kåberger 2007; Verbruggen *et al.*, 2010). Sin embargo, se encontraron similares a las encontradas en otras regiones del mundo. Por ejemplo, en el sur de Estados Unidos, se encontró que hacen falta mercados, información, e infraestructura, incluyendo equipo e instalaciones, para el uso de la biomasa forestal como combustible (Mayfield *et al.*, 2007). En Europa, en donde el uso de TEF está creciendo, se encontraron barreras comunes con México, como la falta de tecnología que sea costo-efectiva para colectar los residuos forestales en campo, poca adecuación de la cadena

de producción a las condiciones locales y competencia por biomasa con la industria de la pulpa y el papel (Fagernäs *et al.*, 2006; Pérez-Verdin *et al.*, 2012).

Para los *pellets*, uno de los TEF con mejor mercado internacional (Goh *et al.*, 2013), la logística es uno de los principales obstáculos (Junginger *et al.*, 2011). Para México, se encontró coincidencia con Tauro *et al.* (2018b) sobre las principales barreras, entre las que se encuentran: a) falta de infraestructura para la cosecha de biomasa forestal, b) barreras técnicas para la colecta de los residuos forestales a precios competitivos, y c) la necesidad de mejorar la logística de distribución. Estas barreras son similares a algunas que se han presentado en Chile (Paneque *et al.*, 2011).

Una de las principales barreras para el desarrollo de los TEF es su bajo precio de comercialización. Esta barrera tiene relación con los costos de producción que son más altos que el valor del producto en el mercado y con la existencia de un combustible de menor precio en el mercado. Debido a esto, las empresas tienen pocos incentivos para invertir en el mejoramiento del proceso de producción. Sin embargo, para los consumidores, los precios bajos de estos TEF significan una buena oportunidad para incluirlos en sus procesos. De acuerdo con Pérez-Verdin *et al.* (2012), el transporte de los subproductos del aserrío representa 66% del costo total de dichos productos; por lo que la mejora en la logística de las empresas para reducir esos costos representa una muy buena área de oportunidad (Cambero y Sowlati, 2014). Es importante señalar que, de acuerdo con los datos obtenidos, las empresas forestales estarán más propensas a invertir cuando el mercado registre una demanda mayor que la actual, sin embargo, el precio puede ser un arma de doble filo, pues en países donde la biomasa tiene precios más altos, es más difícil desarrollar un mercado para los TEF (Paneque *et al.*, 2011).

Estos resultados sobre las barreras que enfrentan las empresas pueden ser tomados en cuenta para mejorar las estimaciones sobre la disponibilidad de biomasa forestal para energía. Para México, Rios y Kaltschmitt (2013) y García *et al.* (2015) han calculado el potencial de biomasa



basados en datos de campo y datos oficiales. Sin embargo, esas estimaciones deberían ajustarse en función de los resultados de mercado que se presentan en este trabajo, debido a que es necesario indicar los contextos en los que se encuentra disponible (o no) ese potencial; por ejemplo, en regiones forestales en donde hay una empresa papelera, los residuos forestales como astillas limpias no están disponibles para uso energético; otro ejemplo sería el de las regiones en las que esta disponibilidad depende completamente de la calidad de la infraestructura carretera, pues la extracción de biomasa forestal residual se hace complicada y, en términos prácticos, el volumen no está disponible.

CONCLUSIONES

El universo de empresas forestales en México es muy heterogéneo, por lo tanto, las barreras que enfrentan para desarrollar algún TEF también lo es. Entre las barreras más comunes se encuentran el mercado y la falta de información. Las empresas entrevistadas que enfrentan más obstáculos son las que no están produciendo un TEF en específico. Sin embargo, Existen 26 empresas que tiene experiencia en algún TEF particular, como la producción de *pellets*, carbón o astillas, por ella son las que tienen un mayor potencial de desarrollo comercial. Hay acciones de política pública que se pueden realizar para apoyar el desarrollo de los TEF en México, entre estas se encuentran: 1) Apoyar los estudios de mercado regionales para TEF. 2) Apoyar la introducción de tecnología en las empresas forestales para el aprovechamiento *in situ* de aserrín y leña industrial. 3) Incentivar la transición a TEF de empresas que se encuentren cerca de una zona de producción forestal. 4) En localidades aisladas, apoyar la instalación de unidades de generación de electricidad y calor a partir de los TEF producidos localmente. Existen empresas que tienen experiencias muy avanzadas en la producción de TEF, estas experiencias deberían aprovecharse para incentivar el desarrollo de este importante sector.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a las 58 empresas que aportaron su información, así como a los técnicos de campo que ayudaron en las entrevistas. Al fondo para la Sustentabilidad Energética de la Sener y al Conacyt que financió esta investigación a través del proyecto CONACYT-SENER 2013-05 219797. Se agradecen los comentarios y la participación en el desarrollo del proyecto a Jorge Odenthal, Raúl Tauro y Enrique Riegelhaupt.

REFERENCIAS

- Adams, P. W., Hammond, G. P., McManus, M. C., & Mezzullo, W. G. (2011). Barriers to and drivers for UK bioenergy development. *Renewal and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1217-1227. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.039>
- Anta, S., & Meza, J. V. (2018). La producción forestal maderable comunitaria en Oaxaca. En G. Chapela (Ed.), *Las empresas sociales forestales en México. Claroscuros y aprendizajes* (pp. 125- 144). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C.
- Bailis, R., Drigo, R., Ghilardi, A., & Masera, O. (2015). The carbon footprint of traditional woodfuels. *Nature Climate Change*, 5(3), 266-272. <https://doi.org/10.1038/nclimate2491>
- Cambero, C., & Sowlati, T. (2014). Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives—A review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.041>
- Chapela, G. (2018). Avances y retrocesos en la integración productiva de las comunidades forestales de México. En G. Chapela (Ed.), *Las empresas sociales forestales en México. Claroscuros y aprendizajes* (pp 17-40). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor]. (2018). *Inventario nacional forestal y de suelos, informe de resultados 2009-2014*. <https://snigf.cnf.gob.mx/resultados-2009-2014-resultados-que-recaba-los-principales-indicadores-forestales-generados-a-partir-del-analisis-estadistico-de-las-variables-levantadas-en-campo/>
- Cruzado, M. A., Vázquez, R. I., & Martínez, S. C. (2017). *Evaluación del potencial de la biomasa como parte de la matriz energética de México*. Colegio de Ingenieros Ambientales de México A. C.
- Estrada, O. (2018). Diagnóstico del manejo forestal comunitario en Chihuahua. En G. Chapela (Ed.), *Las empresas sociales forestales en México. Claroscuros y aprendizajes* (pp. 41-48). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C.

- Fagnäs, L., Johansson, A., Wilén, C., Sipilä, K., Mäkinen, T., Helynen, S., ... & Rogulska, M. (2006). *Bioenergy in Europe: opportunities and barriers*. VTT Technical Research Centre of Finland. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2006/T2352.pdf>
- Fregoso-Madueño, J. N., Goche-Télles, J. R., Rutiaga-Quíñones, J. G., González-Laredo, R. F., Bocanegra-Salazar, M., & Chávez-Simental, J. A. (2017). Alternative uses of sawmill industry waste. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), 243-260. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.06.040>
- García, A. (2018). Diagnóstico del manejo forestal comunitario en Guerrero. En G. Chapela (Ed.), *Las empresas sociales forestales en México. Claroscuros y aprendizajes* (pp. 99- 124). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible
- García, C. A., Riegelhaupt, E., Ghilardi, A., Skutsch, M., Islas, J., Manzini, F., & Masera, O. (2015). Sustainable bioenergy options for Mexico: GHG mitigation and costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 545-552. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.062>
- Ghilardi, A., Guerrero, G., & Masera, O. (2009). A GIS-based methodology for highlighting fuelwood supply/demand imbalances at the local level: a case study for Central Mexico. *Biomass and Bioenergy*, 33(6-7), 957-972. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.02.005>
- Goh, C. S., Junginger, M., Cocchi, M., Marchal, D., Thrän, D., Hennig, C., ... & Deutmeyer, M. (2013). Wood pellet market and trade: a global perspective. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(1), 24-42. <https://doi.org/10.1002/bbb.1366>
- Heinimö, J., & Junginger, M. (2009). Production and trading of biomass for energy—an overview of the global status. *Biomass and Bioenergy*, 33(9), 1310-1320. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.05.017>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2001). *Third assessment report*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf
- Junginger, M., Van Dam, J., Zarrilli, S., Mohamed, F. A., Marchal, D., & Faaij, A. (2011). Opportunities and barriers for international bioenergy trade. *Energy Policy*, 39(4), 2028-2042. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.040>
- Kawulich, B. B. (2005). La observación participante como método de recolección de datos. *Forum: Qualitative Social Research*, 6(2): 1-32. https://antroporecursos.files.wordpress.com/2009/02/kawulich_h_fqs-observacion-participante.pdf
- Lora, E. S., & Andrade, R. V. (2009). Biomass as energy source in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(4), 777-788. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.12.004>
- Madrid, L., Ravelo, R., & Hernández, N. N. (2018). Análisis del aprovechamiento forestal maderable de los núcleos agrarios del Estado de México. En G. Chapela (Ed.), *Las empresas sociales forestales en México. Claroscuros y aprendizajes* (pp. 59-76). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C.
- Mayfield, C. A., Foster, C. D., Smith, C. T., Gan, J., & Fox, S. (2007). Opportunities, barriers, and strategies for forest bioenergy and bio-based product development in the Southern United States. *Biomass and Bioenergy*, 31(9), 631-637. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.06.021>
- McCormick, K., & Käberger, T. (2007). Key barriers for bioenergy in Europe: economic conditions, know-how and institutional capacity, and supply chain co-ordination. *Biomass and Bioenergy*, 31(7), 443-452. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.01.008>
- Navia-Antezana, J., Marín-Togo M. C. & Cumana-Navia, I. (2018). El manejo forestal comunitario en Michoacán. En G. Chapela (Ed.), *Las empresas sociales forestales en México. Claroscuros y aprendizajes* (pp. 77- 98). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C.
- Painuly, J. P. (2001). Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis. *Renewable energy*, 24(1), 73-89. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00186-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00186-5)
- Paneque, M., Román Figueroa, C., Vásquez Panizza, R., Arriaza, J. M., Morales, D., & Zulantay, M. (2011). *Bioenergía en Chile*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Universidad de Chile.
- Pérez-Verdin, G. P., Chaidez, J. N., Grebner, D. L., & Alvarez, C. S. (2012). Disponibilidad y costos de producción de biomasa forestal como materia prima para la producción de bioetanol. *Forest Systems*, 21(3), 526-537. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4866704.pdf>
- R Core Team. (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. <https://www.r-project.org/>
- Renewables Now [REN21]. (2020). *Renewables 2020 Global Status Report*. <https://www.ren21.net/gsr-2020/>
- Riegelhaupt, E. (2016). Biocombustibles sólidos. En C. A. García, & O. Masera (Coords.), *Estado del arte de la bioenergía en México* (pp 23-33). Red Mexicana de Bioenergía.
- Rios, M., & Kaltschmitt, M. (2013). Bioenergy potential in Mexico—status and perspectives on a high spatial distribution. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 3(3), 239-254. <https://doi.org/10.1007/s13399-013-0085-3>



- Roos, A., Graham, R. L., Hektor, B., & Rakos, C. (1999). Critical factors to bioenergy implementation. *Biomass and Bioenergy*, 17(2), 113-126. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(99\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(99)00028-8)
- Rösch, C., & Kaltschmitt, M. (1999). Energy from biomass—do non-technical barriers prevent an increased use? *Biomass and Bioenergy*, 16(5), 347-356. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(98\)00088-9](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(98)00088-9)
- Sámano, D., & Díaz, K. (2017). Perspectivas de la industria forestal en México. *Innovación Forestal*, 4(13). https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?edicion=74
- Sathre, R., & Gustavsson, L. (2011). Time-dependent climate benefits of using forest residues to substitute fossil fuels. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 2506-2516. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.027>
- Secretaría de Energía [Sener] (2017). *Balance nacional de energía 2016*. <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia>
- Secretaría de Energía [Sener] (2019). *Balance nacional de energía 2018*. <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2005). *Anuario estadístico de la producción forestal 2003*. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/anuarios-estadisticos-forestales>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2021). *Anuario estadístico de la producción forestal 2018*. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/anuarios-estadisticos-forestales>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2016). *Mexico's Climate Change Mid-Century Strategy*. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/mexico-s-climate-change-mid-century-strategy>
- Serrano-Medrano, M., Arias-Chalico, T., Ghilardi, A., & Masera, O. (2014). Spatial and temporal projection of fuelwood and charcoal consumption in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 19, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.11.007>
- Shi, H., Peng, S. Z., Liu, Y., & Zhong, P. (2008). Barriers to the implementation of cleaner production in Chinese SMEs: government, industry and expert stakeholders' perspectives. *Journal of cleaner production*, 16(7), 842-852. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.05.002>
- Sikkema, R., Steiner, M., Junginger, M., Hiegl, W., Hansen, M. T., & Faaij, A. (2011). The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5(3), 250-278. <https://doi.org/10.1002/bbb.277>
- Tauro, R., García, C. A., Skutsch, M., & Masera, O. (2018b). The potential for sustainable biomass pellets in Mexico: An analysis of energy potential, logistic costs and market demand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 380-389. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.036>
- Tauro, R., Serrano-Medrano, M., & Masera, O. (2018a). Solid biofuels in Mexico: a sustainable alternative to satisfy the increasing demand for heat and power. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(7), 1527-1539. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1529-z>
- Torres, E., (2018). Integración productiva y organizativa de los ejidos forestales de Campeche y Quintana Roo. En G. Chapela (Ed.), *Las empresas sociales forestales en México. Claroscuros y aprendizajes* (pp. 145-161). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C.
- Verbruggen, A., Fishedick, M., Moomaw, W., Weir, T., Nadaï, A., Nilsson, L. J., ... & Sathaye, J. (2010). Renewable energy costs, potentials, barriers: Conceptual issues. *Energy Policy*, 38(2), 850-861. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.036>
- Watts, S., & Stenner, P. (2005). Doing Q methodology: theory, method and interpretation. *Qualitative Research in Psychology*, 2(1), 67-91. <https://doi.org/10.1191/1478088705qp022oa>

Manuscrito recibido el 10 de agosto de 2021

Aceptado el 04 de abril de 2022

Publicado el 06 de agosto de 2022

Este documento se debe citar como:

Orozco-Ramírez, Q., Cohen-Salgado, D., Arias-Chalico, T., García, C. A., Martínez-Bravo, R., & Masera, O. (2022). Barreras para la producción y el mercado de biocombustibles sólidos forestales en México desde la perspectiva de las empresas. *Madera y Bosques*, 28(1), e2812404. <http://doi.org/10.21829/myb.2022.2812404>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.