

## Alternative uses of sawmill industry waste

### Usos alternativos de los desechos de la industria del aserrío

Jesús N. Fregoso-Madueño<sup>1</sup>; José R. Goche-Télles<sup>2</sup>; José G. Rutiaga-Quiñones<sup>3</sup>; Rubén F. González-Laredo<sup>2,4\*</sup>; Melissa Bocanegra-Salazar<sup>1</sup>; Jorge A. Chávez-Simental<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales, Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales. Río Papaloapan y bulevar Durango s/n, col. Valle del Sur. C. P. 34120. Durango, Dgo., México.

<sup>2</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales. Río 14 Papaloapan y bulevar Durango s/n, col. Valle del Sur. C. P. 34120. Durango, Dgo., México.

<sup>3</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Gral. Francisco J. Múgica s/n, Ciudad Universitaria. C. P. 58030. Morelia, Michoacán, México.

<sup>4</sup>Instituto Tecnológico de Durango, Depto. Ingenierías Química y Bioquímica. Felipe Pescador 1803 Ote., Nueva Vizcaya. C. P. 34080. Durango, Dgo., México.

<sup>5</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA). Bulevar del Guadiana núm. 501, Ciudad Universitaria, Torre de Investigación. C. P. 34120. Durango, Dgo., México.

\*Corresponding author: [gonzalezlaredo@gmail.com](mailto:gonzalezlaredo@gmail.com), tel.: 52+ (618) 8185402 ext. 113.

### Abstract

In Mexico, approximately 8 million m<sup>3</sup> of wood is produced annually. Of this volume, 70 % goes to the sawmill industry, generating around 2.8 million m<sup>3</sup> of waste, mainly sawdust, woodchips and bark. The management of these wastes represents a problem today, as they are mainly used as a source of energy, negatively affecting the environment, generating dust in the air and contributing to the emission of carbon dioxide into the atmosphere. In addition, the waste is harmful to the health of sawmill workers and residents in nearby areas, by generating environmental problems such as fires and self-combustion. Consequently, it is necessary to find alternative uses for this waste. Most of this waste is rich in cellulose, hemicellulose, lignin and other low molecular weight substances, desirable characteristics in many industrial processes. The extractable substances could be used in these processes, thus reducing the environmental impact. This review provides sustainable alternatives for the development and use of forest industry resources, based on available information on the application and use of forest residues.

**Keywords:** Forest waste, sawdust, bark, *Pinus*.

### Resumen

En México, la producción anual de madera es de aproximadamente 8 millones de m<sup>3</sup>. De este volumen, 70 % se destina a la industria del aserrío, generando alrededor de 2.8 millones de m<sup>3</sup> de desechos, principalmente aserrín, virutas y cortezas. El manejo de estos residuos representa un problema en la actualidad, pues se emplean principalmente como fuente de energía, afectando negativamente el ambiente, generando polvo en el aire y contribuyendo a la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera. Además, los desechos perjudican la salud de trabajadores y habitantes de las zonas cercanas a los aserraderos, al generar problemas ambientales como incendios y autocombustión. En consecuencia, es necesario encontrar alternativas de uso de los residuos. La mayoría de estos son ricos en celulosa, hemicelulosa, lignina y otras sustancias de bajo peso molecular, características deseables en muchos procesos industriales. Las sustancias extraíbles podrían emplearse en dichos procesos, disminuyendo así el impacto ambiental. Esta revisión proporciona alternativas sustentables para el desarrollo y aprovechamiento de los recursos de la industria forestal, con base en la información disponible sobre la aplicación y uso de los residuos forestales.

**Palabras clave:** Desechos forestales, aserrín, corteza, *Pinus*.

## Introduction

The sawmill industry is defined as the business of transforming roundwood into sawn wood. In Mexico, this industry processes about 70 % of annual forest production (Ortiz, Martínez, Vázquez, & Juárez, 2016). However, in this transformation process, the sawmill conversion efficiency rates range between 45 and 60 % (Luna et al., 2012), so approximately 40 % becomes waste of little or no economic value.

Mexico has a high number of forest species, ranking it fourth among the 17 so-called megadiverse countries (Villaseñor & Ortiz, 2014). The country has 138 million ha of forest vegetation, equivalent to 70 % of the national territory; of this area, 64.9 million ha correspond to forests and tropical forests (Hernández-Salas et al., 2013). The state of Durango, due to its forest cover, is considered one of the main wood producers. In 2013, the state accounted for 32.8 % of production; other states such as Chihuahua (16.79 %), Michoacán (7.76 %), Oaxaca (7.13 %) and Veracruz (4.93 %) had a smaller share. It should be noted that just Durango and Chihuahua together accounted for 49.6 % of the country's timber production, hence their importance in the forestry sector (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2014).

The most used species in Durango are the pines, with approximately 20 species, of which half are the most used, due to their quality and abundance. These include: *Pinus durangensis* Martínez, *P. arizonica* Engelm., *P. engelmannii* Carr. and *P. cooperi* C. E. Blanco; other representative species are *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. and *P. chihuahuana* Martínez (González-Elizondo, González-Elizondo, Tena-Flores, Ruacho-González, & López-Enríquez, 2012). The most noteworthy residue is sawdust, the main product of wood sawing, which generally does not have an important application or commercialization; rather, it becomes a disposal and handling problem within the industry. Sawdust ends up in purely traditional and rudimentary uses, mainly as fuel, as a cleaning aid in homes and farms and even abandoned in the field due to the lack of technological proposals for industrial use (Tchehouali et al., 2015). In this context, this paper provides a state-of-the art review of the sustainable alternatives for the development and use of forest industry resources.

## Delimitation of the problem

Residues left out in the open, without pretreatment, can be considered hazardous, by being a focus of proliferation of infectious agents (rodents, insects and pathogenic microorganisms) that are harmful to humans and animals, and by deteriorating soil, water and air quality (Saval, 2012).

## Introducción

La industria del aserrío se define como la actividad industrial encargada de la transformación de madera en rollo a madera aserrada. En México, esta industria procesa alrededor de 70 % de la producción forestal anualmente (Ortiz, Martínez, Vázquez, & Juárez, 2016). No obstante, en este proceso de transformación, los coeficientes de aserrío oscilan entre 45 y 60 % (Luna et al., 2012), por lo que aproximadamente 40 % se convierte en residuos de escaso a nulo valor económico.

México posee un alto número de especies forestales, ubicándose en el cuarto lugar entre los 17 países denominados megadiversos (Villaseñor & Ortiz, 2014). El país cuenta con 138 millones de ha de vegetación forestal, equivalente a 70 % del territorio nacional; de esta superficie, 64.9 millones de ha corresponden a bosques y selvas (Hernández-Salas et al., 2013). El estado de Durango, debido a la cubierta de superficie forestal que posee, es considerado uno de los principales productores de madera. En el año 2013, la entidad participó con 32.8 % de la producción; otros estados como Chihuahua (16.79 %), Michoacán (7.76 %), Oaxaca (7.13 %) y Veracruz (4.93 %) tuvieron una menor participación. Cabe resaltar que solo Durango y Chihuahua, en conjunto, representaron 49.6 % de la producción maderable del país, de ahí su importancia en el sector forestal (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2014).

Las especies más aprovechadas en Durango son los pinos, existiendo aproximadamente 20 especies, de las cuales la mitad son las más utilizadas, debido a su calidad y abundancia. Entre ellas se encuentran: *Pinus durangensis* Martínez, *P. arizonica* Engelm., *P. engelmannii* Carr. y *P. cooperi* C. E. Blanco, otras especies representativas son *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. y *P. chihuahuana* Martínez (González-Elizondo, González-Elizondo, Tena-Flores, Ruacho-González, & López-Enríquez, 2012). El residuo que destaca es el aserrín, producto principal del asierre de madera, que generalmente no tiene una aplicación o comercialización importante, más bien se convierte en un problema de disposición y manejo dentro de la industria. El aserrín termina en usos meramente artesanales y rudimentarios, principalmente como combustible, auxiliar para limpieza en hogares y granjas e incluso abandonado en el campo por la falta de propuestas tecnológicas para un aprovechamiento industrial (Tchehouali et al., 2015). En tal contexto, el presente trabajo muestra una revisión sobre las alternativas sustentables para el desarrollo y aprovechamiento de los recursos de la industria forestal, como estado del arte en la materia.

## Delimitación del problema

Los residuos confinados a cielo abierto, sin tratamiento previo, pueden considerarse peligrosos, por ser foco de

The final disposal of sawdust and other wastes is a growing problem in the wood industry, since sawmills produce large quantities of sawdust annually. At the local level, SEMARNAT (2012) estimated timber production in the state of Durango at 1 741,212 m<sup>3</sup> corresponding to 78 % of average yield, resulting in a total of 491,111 m<sup>3</sup> of residual byproduct generated in forest harvesting.

The National Program for the Prevention and Comprehensive Management of Waste operated by SEMARNAT (2008), arising from article 19 of the General Law for the Prevention and Comprehensive Management of Waste (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2003), includes waste from health and transportation services, among others, but leaves out so-called lignocellulosic byproducts. This results in total disinterest at wood processing centers for the rational management of forestry industry residues; however, there is local legislation such as Mexico City's Solid Waste Act (Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 2003). Article 31 of this Act establishes that "agricultural and forestry by-products are considered as special solid wastes, including the waste from inputs used in this practice."

The production of sawdust and bark on a large scale remains a major problem as only partial solutions have been developed, mainly due to the geographic dispersion of generation sources and potential markets. In addition, transportation problems stemming from the mobilization of large volumes limits profitable returns for such materials (Pérez, Barrera, & Ramírez, 2015).

### **Classification of alternative forest waste uses**

#### **Uses in the agricultural sector**

In recent decades, by-products or waste from various domestic, urban and industrial activities have been used as growth media (Luna, Córdoba, Gil, & Romero, 2013). The incorporation of these materials allows obtaining low-cost products that in the long term have a positive ecological impact (Pineda-Pineda et al., 2012).

#### **Substrate in agriculture**

Pine (*Pinus* spp.) sawdust and bark from the timber industry have potential as a substrate, and have high availability due to the large amounts produced in Mexico (Ortega-Martínez, Sánchez-Olarte, Díaz-Ruiz, & Ocampo-Mendoza, 2010).

Sawdust used properly can compete with other substrates that have comparatively limited availability (Raviv, 2011). All sawdust types improve the physical characteristics of the growth medium, since the particle size is easily manageable with the components of the

proliferación de agentes infecciosos (roedores, insectos y microorganismos patógenos) que provocan daños a los seres humanos y animales, además de deteriorar la calidad de suelos, agua y aire (Saval, 2012).

La disposición final de aserrín y otros residuos es un problema creciente en la industria de la madera, ya que en los aserraderos se producen grandes cantidades de aserrín anualmente. A nivel local, la SEMARNAT (2012) estimó la producción forestal maderable del estado de Durango en 1 741,212 m<sup>3</sup> correspondientes a 78 % del rendimiento promedio, lo que arroja un total de 491,111 m<sup>3</sup> de subproducto residual generado en los aprovechamientos forestales.

El Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de la SEMARNAT (2008), derivado del artículo 19 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2003), incluye los residuos provenientes de servicios de salud y de transporte, entre otros, pero deja fuera a los llamados subproductos lignocelulósicos. Lo anterior causa desinterés total en los centros de procesamiento de la madera para la gestión racional de los residuos de la industria forestal; sin embargo, existe legislación local como la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 2003). Esta ley establece en su artículo 31 que "los subproductos agrícolas y de aprovechamiento forestal son considerados como residuos sólidos de manejo especial, incluyendo los residuos de insumos empleados en esta práctica".

La producción de aserrín y corteza, a gran escala, sigue siendo un problema importante ya que solo se han desarrollado soluciones parciales, debido principalmente a la dispersión geográfica de las fuentes de generación y los posibles mercados. Además, se tienen problemas de transporte derivados de la movilización de grandes volúmenes, lo que limita las salidas rentables para este tipo de materiales (Pérez, Barrera, & Ramírez, 2015).

### **Clasificación de usos alternativos de los residuos forestales**

#### **Usos en el sector agropecuario**

En las últimas décadas, los subproductos o residuos de desecho de diversas actividades domésticas, urbanas e industriales se han usado como medios de crecimiento (Luna, Córdoba, Gil, & Romero, 2013). La incorporación de estos materiales permite la obtención de productos de bajo costo que a largo plazo causan un impacto ecológico positivo (Pineda-Pineda et al., 2012).

medium. The favorable effects can be compared with those of peat, as much for the mass density as for the porosity and aeration of sandy soils and water retention of clayey soils (Martínez-López, Fernández-Concepción, Álvarez-Lazo, García-González, & Rodríguez-Álvarez, 2012). In Mexico, sawdust has been evaluated as a substrate in Solanaceae; its effect is reflected in an efficient root system, contributing to the production of a good quality plant (Ortega-Martínez et al., 2010).

On the other hand, pine bark has adequate physical and chemical characteristics for the production of plants of various species (Jackson & Wright, 2009). The use of this material helps reduce damage caused by pathogenic organisms, due to the low moisture retention (Reis, 1995). The bark mixed with other mineral or industrial substrates increases water availability and nutrient efficiency without affecting the root or plant growth (Vargas-Canales, Castillo-González, Pineda-Pineda, Ramírez-Arias, & Avitia-García, 2014).

### Substrate in forest production

Raw sawdust has proved to be a good substrate for the production of *Cedrela odorata* L. plants in a nursery, without toxic effects during the greenhouse period (Mateo-Sánchez, Bonifacio-Vázquez, Pérez-Ríos, Mohedano-Caballero, & Capulín-Grande, 2011). The mixture of conventional substrates and sawdust provides a satisfactory growth medium for the production of forest species with modern production systems (Maldonado-Benitez, Aldrete, López-Upton, Vaquera-Huerta, & Cetina-Alcalá, 2011).

Hernández-Zarate, Aldrete, Ordaz-Chaparro, López-Upton, and López-López (2014) evaluated the growth of *P. montezumae* Lamb. seedlings in a nursery in Puebla, Mexico. The physical and chemical characteristics of the substrates composed of pine bark and sawdust provided conditions appropriate for the growth of the seedlings that at the age of 10 months showed morphological characteristics suitable for field transplant. In this regard, Mateo, Capulín, Araujo, Suárez, and Mitjans (2015) evaluated the effect of three substrates based on pine sawdust on the growth of *Acacia retinodes* Schltld. in a nursery. Sawdust (67 %) mixed with vermicompost (33 %) and slow release fertilizer (4 kg·m<sup>-3</sup>), as a complement, produced root dry weight, shoot weight, total biomass, plant height and stem diameter values greater than those obtained with conventional substrates.

In addition to the products obtained from the conversion of lignocellulosic waste, products such as biochar could be a variant to consider, since it provides beneficial effects as a soil conditioner, by improving its quality and productivity. The use of biochar has improved soil chemical and physical properties (moisture retention,

### Sustrato en la agricultura

El aserrín y la corteza de pino (*Pinus* spp.) provenientes de la industria maderera tienen potencial como sustrato, además, poseen alta disponibilidad por las grandes cantidades producidas en México (Ortega-Martínez, Sánchez-Olarte, Díaz-Ruiz, & Ocampo-Mendoza, 2010).

El aserrín empleado apropiadamente puede competir con otros sustratos que, comparativamente, tienen disponibilidad limitada (Raviv, 2011). Todos los tipos de aserrín mejoran las características físicas de los medios de crecimiento, ya que el tamaño de las partículas es fácilmente manejable con los componentes del medio. Los efectos favorables pueden compararse con los de la turba, tanto por la densidad de la masa como por la porosidad y aireación de los suelos arenosos y retención de agua de los suelos arcillosos (Martínez-López, Fernández-Concepción, Álvarez-Lazo, García-González, & Rodríguez-Álvarez, 2012). En México, el aserrín se ha evaluado como sustrato en solanáceas; su efecto se refleja en un sistema radical eficiente, contribuyendo a la producción de planta de buena calidad (Ortega-Martínez et al., 2010).

Por otra parte, la corteza de pino tiene características físicas y químicas adecuadas para la producción de plantas de diversas especies (Jackson & Wright, 2009). El uso de este material ayuda en la reducción de daños ocasionados por organismos patógenos, debido a la baja retención de humedad (Reis, 1995). La corteza mezclada con otros sustratos minerales o industriales aumenta la disponibilidad de agua y eficiencia de nutrientes sin afectar la raíz o el crecimiento de las plantas (Vargas-Canales, Castillo-González, Pineda-Pineda, Ramírez-Arias, & Avitia-García, 2014).

### Sustrato en la producción forestal

El aserrín crudo ha mostrado ser un buen sustrato para la producción de planta de *Cedrela odorata* L. en vivero, sin efectos tóxicos durante el periodo de invernadero (Mateo-Sánchez, Bonifacio-Vázquez, Pérez-Ríos, Mohedano-Caballero, & Capulín-Grande, 2011). La mezcla de sustratos convencionales y aserrín se puede usar satisfactoriamente como medio de crecimiento, para la producción de especies forestales con sistemas de producción tecnificados (Maldonado-Benitez, Aldrete, López-Upton, Vaquera-Huerta, & Cetina-Alcalá, 2011).

Hernández-Zarate, Aldrete, Ordaz-Chaparro, López-Upton, y López-López (2014) evaluaron el crecimiento de plántulas de *P. montezumae* Lamb. en un vivero de Puebla. Las características físicas y químicas de los sustratos compuestos por corteza de pino y aserrín proporcionaron condiciones aptas para el crecimiento de las plántulas que a la edad de 10 meses mostraron características morfológicas adecuadas para su



nutrient content and retention, soil permeability and biological properties), contributing to increased crop yields and soil establishment for reforestation (Woolf, Amonette, Street-Perrott, Lehmann, & Joseph, 2010).

### Livestock feed supplement

Ruminants have adapted to various feeding systems because microbial species living in their rumen, such as bacteria, protozoa and fungi, transform low-quality foods, such as cereal straws or even urea, into others with high protein content (Rodríguez & Rodríguez, 2011). Agroindustrial and forest residues, due to their volume and composition, can constitute an alternative to deal with the lack of food. Due to these characteristics, it is possible to use unconventional fiber sources without affecting productive variables (Perea, Guardia, Medina, & Hinestroza, 2013).

Currently, the use of sawdust in ruminant feeding has an impact on the important weight gain variable in meat production, reducing the cost of common fiber sources. In this regard, Mateo-Sánchez, Cobos-Peralta, Trinidad-Santos, Cetina-Alcalá, and Vargas-Hernández (2002) isolated a culture of ruminal bacteria capable of degrading pine sawdust. These authors suggest that, in addition to providing the necessary fiber to the diet, sawdust can be used as an energy source if there are adequate ruminal conditions for the activity of cellulolytic and hemicellulolytic bacteria. Also, Guerra-Medina, Pérez-Sato, Cobos-Peralta, and Montañez-Valdez (2010) reported that the inclusion of 30 % sawdust of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., in lieu of corn stover as a fiber source, improved daily weight gain in finishing lambs, which had a similar response in voluntary feed intake and, consequently, better food efficiency. Recently, Guerra-Medina et al. (2015) evaluated the effect of adding agave bagasse and sawdust to the diet for sheep on average daily gain, dry matter intake, feed conversion and ruminal pH. Experimental diets were: 15 % corn stover (control), 15 % agave bagasse and 15 % pine sawdust. The results suggest that pine sawdust and agave bagasse can be used as alternative sources of fiber without affecting productive variables.

### Use as biofuel

Combustion of biomass from forest waste (branches, needles, sawdust and woodchips), as well as of conventional fossil fuels, can be considered as raw material in fuel production and electric, thermal and potential energy generation, for use in the industrial, commercial, family and transportation sectors (García, Pizarro, Lavín, & Bueno, 2014). Bioenergy can be obtained from solid biofuels such as firewood, charcoal, agricultural and forest residues, pellets and briquettes; from liquid biofuels such as bioethanol and biodiesel;

trasplante a campo. En ese sentido, Mateo, Capulín, Araujo, Suárez, y Mitjans (2015) evaluaron el efecto de tres sustratos a base de aserrín de pino sobre el crecimiento de *Acacia retinodes* Schltdl. en vivero. El aserrín (67 %) mezclado con lombricomposta (33 %) y fertilizante de liberación lenta (4 kg·m<sup>-3</sup>), como complemento, produjo peso seco de la raíz, peso de parte aérea, biomasa total, altura de la planta y diámetro de tallo mayores que los obtenidos con los sustratos convencionales.

Aunado a los productos obtenidos de la conversión de los residuos lignocelulósicos, productos como el biocarbón pudieran ser una variante a considerar, ya que proporciona efectos beneficiosos como acondicionador de suelos, mejorando su calidad y productividad. El uso del biocarbón ha demostrado la mejora de las propiedades químicas y físicas (retención de humedad, aumento del contenido y retención de nutrientes, permeabilidad de los suelos y sus propiedades biológicas), contribuyendo al incremento en la productividad de los cultivos y establecimiento de suelos para reforestación (Woolf, Amonette, Street-Perrott, Lehmann, & Joseph, 2010).

### Suplemento alimenticio en ganado

Los rumiantes se han adaptado a varios sistemas alimenticios debido a que en el rumen habitan especies microbianas como bacterias, protozoarios y hongos con la cualidad de transformar alimentos de baja calidad, como pajas de cereales o inclusive la urea, en otros con alto contenido de proteína (Rodríguez & Rodríguez, 2011). Los residuos agroindustriales y forestales, por su volumen y composición, pueden constituir una alternativa para enfrentar la carencia de alimento. Debido a estas características es posible la utilización de fuentes de fibra poco convencionales, sin afectar las variables productivas (Perea, Guardia, Medina, & Hinestroza, 2013).

En la actualidad, el uso de aserrín en la alimentación de rumiantes tiene impacto en la ganancia importante de peso para la producción de carne, disminuyendo el costo de fuentes comunes de fibra. En este sentido, Mateo-Sánchez, Cobos-Peralta, Trinidad-Santos, Cetina-Alcalá, y Vargas-Hernández (2002) aislaron un cultivo de bacterias ruminales capaces de degradar aserrín de pino. Estos autores sugieren que, además de aportar la fibra necesaria a la dieta, el aserrín puede utilizarse como fuente de energía si es que existen las condiciones ruminales adecuadas para la actividad de bacterias celulolíticas y hemicelulolíticas. Asimismo, Guerra-Medina, Pérez-Sato, Cobos-Peralta, y Montañez-Valdez (2010) reportaron que la inclusión de 30 % de aserrín de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., en sustitución de rastrojo de maíz como fuente de fibra, mejoró la ganancia diaria de peso de borregos

and from gaseous sources such as biogas (Vega-Nieva, Fernández-Lorenzo, Ortiz-Torres, & Corral-Rivas, 2015).

### Raw material in bioethanol production

The increase in ethanol production in the world has been linked to the development of new technologies that enable obtaining it from wood waste, solid waste and materials containing cellulose and hemicellulose, which allows revaluing the waste from several industries (Mora et al., 2015).

Interest in the use of lignocellulosic materials as raw material in transformation processes by microorganisms has increased over the last several decades (Viñals-Verde, Bell-García, Michelena-Álvarez, & Ramil-Mesa, 2012). Sawdust is used for the production of ethanol, fuel and other chemicals (Palonen, Tjerneld, Zacchi, & Tenkanen, 2004) due to being the dominant lignocellulosic material in the northern hemisphere (Galbe & Zacchi, 2002). Wood waste is efficient for the production of ethanol from lignocellulosic materials (bioethanol) (Koppram & Olsson, 2014); however, a limiting factor for production is the recovery of the sugars, which is determined by the hydrolysis procedure used. The enzymatic hydrolysis is limited by the presence of lignin and the crystallinity of the cellulose (Åkerholm, Hinterstoisser, & Salmén, 2004); therefore, several pretreatments, highlighted by alkaline, acid and steam explosion, have been used (Farías-Sánchez et al., 2015). It has been determined that alkaline pretreatment is the one that most favors enzymatic hydrolysis, since it produces the highest yields of reducing sugars (López-Miranda, Soto-Cruz, Rutiaga-Quiñones, Medrano-Roldán, & Arévalo-Niño, 2009; Schell, Farmer, Newman, & McMillan, 2003). With this pretreatment, López-Miranda et al. (2009) obtained 134 % higher saccharification yields than pretreating with sulfuric acid, and 246 % higher than using steam explosion. The authors indicate that their results allow visualizing the development of a technology for the use of pine sawdust in the generation of biofuels for the automotive industry and of clean technologies that could eliminate a pollutant from the soil that poses a health risk.

In the state of Durango, Pérez-Verdin, Navar-Chaidez, Grebner, and Soto-Álvarez (2012) estimated the production, gathering, extraction and transport of biomass with Monte Carlo simulations. According to the authors, about 322,000 t are used for the annual production of 38 million liters of ethanol, at an average cost of 23.8 USD·t<sup>-1</sup> of forest waste (0.20 USD·L<sup>-1</sup> ethanol), while for industrial waste it is 22.6 USD·t<sup>-1</sup> (0.19 USD·L<sup>-1</sup> ethanol). Therefore, the differential cost adjustment still limits the feasibility of this technology.

en cebo; estos tuvieron una respuesta similar en consumo voluntario de alimento y, por consiguiente, mejor eficiencia alimenticia. Recientemente, Guerra-Medina et al. (2015) evaluaron el efecto de la adición de bagazo de agave y aserrín en la dieta de ovinos, sobre la ganancia diaria de peso, consumo de materia seca, conversión alimenticia y pH ruminal. Las dietas experimentales fueron: 15 % de rastrojo de maíz (testigo), 15 % de bagazo de agave y 15 % de aserrín de pino. Los resultados sugieren que el aserrín de pino y el bagazo de agave pueden utilizarse como fuentes alternas de fibra, sin afectar las variables productivas.

### Uso como biocombustible

La combustión de biomasa de desechos forestales (ramas, acículas, aserrín y viruta), al igual que los combustibles fósiles convencionales, puede considerarse materia prima en la producción de combustible y generación de energía eléctrica, térmica y potencial, para su uso en los sectores industrial, comercial, familiar y del transporte (García, Pizarro, Lavín, & Bueno, 2014). La bioenergía se puede obtener de biocombustibles sólidos como leña, carbón vegetal, residuos agrícolas, residuos forestales, comprimidos y briquetas; de los biocombustibles líquidos como el bioetanol y biodiesel; y de los gaseosos como el biogás (Vega-Nieva, Fernández-Lorenzo, Ortiz-Torres, & Corral-Rivas, 2015).

### Materia prima en la producción de bioetanol

El aumento de la producción de etanol en el mundo ha estado ligado con el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten la obtención del combustible a partir de residuos de madera, desechos sólidos y materiales que contienen celulosa y hemicelulosa, lo cual permite revalorizar los desechos de varias industrias (Mora et al., 2015).

El interés por el uso de materiales lignocelulósicos como materia prima en procesos de transformación por microorganismos se ha incrementado desde hace varias décadas (Viñals-Verde, Bell-García, Michelena-Álvarez, & Ramil-Mesa, 2012). El aserrín es utilizado para la producción de etanol, combustible y otros químicos (Palonen, Tjerneld, Zacchi, & Tenkanen, 2004) por ser el material lignocelulósico dominante en el hemisferio norte (Galbe & Zacchi, 2002). Los desechos de madera son eficientes para la producción de etanol a partir de materiales lignocelulósicos (bioetanol) (Koppram & Olsson, 2014); sin embargo, una limitante para la producción es la recuperación de los azúcares, la cual está determinada por el procedimiento de hidrólisis que se utilice. La hidrólisis enzimática está limitada por la presencia de lignina y la cristalinidad de la celulosa (Åkerholm, Hinterstoisser, & Salmén, 2004), por ello se han utilizado diversos pretratamientos, entre los que

## Production of solid fuels

Authors such as Styles et al. (2015) believe that the importance of biomass has increased worldwide because it is viewed as a renewable energy source, which reduces the harmful effects of fossil fuels considerably.

Residues from forest and industrial uses are an important source of energy, because they have high calorific content, high density and low moisture content. These attributes are desirable in the transformation of waste into bioenergy (Thiffault, Béchar, Paré, & Allen, 2015). Charcoal is a solid fuel with a calorific value that fluctuates between 121,336 and 146,440  $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a value superior to that presented by wood that oscillates between 50,208 and 87,864  $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . The conversion of waste by pyrolysis, to obtain products with fuel characteristics, generates a product called biochar, which has been widely used as a management alternative, reducing the volume of solid waste (Yamato, Okimori, Wibowo, Anshori, & Ogawa, 2006). In terms of yield, the biochar weight obtained depends on the operating conditions and parameters of the pyrolysis process, the final temperature and the composition of the biomass. The yield decreases rapidly with the increase in temperature and the biomass heating rate, by favoring the generation of gases and the formation of a very reactive carbon of high porosity, which evolves towards the formation of volatile compounds. Under these rapid heating conditions, it has also been shown that tar formation increases (Angin, 2012). On the other hand, the higher the lignin content in the initial biomass the greater the yield in biochar weight due to its high thermal stability. Therefore, the three key factors favoring the production of biochar in a biomass pyrolysis process are low process temperatures, a slow heating rate and higher lignin content (Kim-Kwang, Jae-Young, Tae-Su, & Weon-Choi, 2012). In this regard, Arteaga-Crespo, Carballo-Abreu, García-Quintana, Alonso-López, and Geada-López (2012) obtained biochar from timber species endemic to Cuba with yields higher than 40 %, at 300 °C and at low heating rates.

## Pellets and briquettes made from forest waste

One way to use wood residues is by converting them into pellets or briquettes, also known as densified solid biofuels. For this, the initial moisture, chemical composition of the ashes and their granulometric distribution are important (Correa-Méndez et al., 2014a, 2014b). These biofuels have a cylindrical shape with nominal diameters between 7 and 22 mm and lengths of 3.5 to 6.5 cm, are manufactured at high pressure without the need for adhesive and have a calorific value above 17,572  $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  (López et al., 2008). Pellets and briquettes are made from sawdust compacted at pressures greater than 147,100 kPa;

destacan el alcalino, el ácido y la explosión con vapor (Farías-Sánchez et al., 2015). Se ha determinado que el pretratamiento alcalino es el que más favorece la hidrólisis enzimática, ya que produce los rendimientos más altos de azúcares reductores (López-Miranda, Soto-Cruz, Rutiaga-Quiñones, Medrano-Roldán, & Arévalo-Niño, 2009; Schell, Farmer, Newman, & McMillan, 2003). Con este pretratamiento, López-Miranda et al. (2009) obtuvieron rendimientos de sacarificación 134 % mayores que con el pretratamiento con ácido sulfúrico, y 246 % mayores que con la explosión con vapor. Los autores indican que sus resultados permiten visualizar el desarrollo de una tecnología para el aprovechamiento del aserrín de pino en la generación de biocombustibles para la industria automotriz y de tecnologías limpias que podrían eliminar un contaminante del suelo potencialmente riesgoso para la salud.

En el estado de Durango, Pérez-Verdin, Navar-Chaidez, Grebner, y Soto-Álvarez (2012) estimaron la producción, recolección, extracción y transporte de la biomasa mediante la utilización de simulaciones Monte Carlo. De acuerdo con los autores, se utilizan alrededor de 322,000 t para la producción anual de 38 millones de litros de etanol, a un costo promedio de 23.8  $\text{USD}\cdot\text{t}^{-1}$  de residuos forestales (0.20  $\text{USD}\cdot\text{L}^{-1}$  etanol), mientras que para los residuos industriales es de 22.6  $\text{USD}\cdot\text{t}^{-1}$  (0.19  $\text{USD}\cdot\text{L}^{-1}$  etanol). Por tanto, el ajuste diferencial de costos aún limita la factibilidad de esta tecnología.

## Producción de combustibles sólidos

Autores como Styles et al. (2015) consideran que la importancia de la biomasa ha incrementado a nivel mundial por considerarse una fuente de energía renovable, que disminuye los efectos nocivos de los combustibles fósiles considerablemente.

Los residuos de los aprovechamientos forestales e industriales son una fuente importante de energía, debido a que tienen alto contenido calórico, alta densidad y bajo contenido de humedad. Estos atributos son deseables en la transformación de residuos en bioenergía (Thiffault, Béchar, Paré, & Allen, 2015). El carbón vegetal es un combustible sólido con poder calorífico que fluctúa entre 121,336 y 146,440  $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , valor superior al presentado por la madera que oscila entre 50,208 y 87,864  $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . La conversión de residuos mediante la pirólisis, para la obtención de productos con características de combustible, genera un producto llamado biocarbón, el cual se ha utilizado ampliamente como una alternativa de manejo, reduciendo el volumen de residual sólido (Yamato, Okimori, Wibowo, Anshori, & Ogawa, 2006). En cuestiones de rendimiento, el peso obtenido de biocarbón depende de las condiciones y los parámetros de operación del proceso de pirólisis, de la temperatura final y de la composición de la biomasa. El

they are widely used in Europe and North America, in countries with high forest development (Dávila, Amador, Morazan, & Rugama, 2013). Combustion of pellets is environmentally friendly because it can reduce CO<sub>2</sub> emissions by 50 % compared to the burning of firewood or woodchips; it also has low concentrations of sulfur (0.004 to 0.007 %) and nitrogen (0.05 to 0.16 %), with respect to the final dry weight of each pellet. The raw material contains between 8 and 12 % moisture, obtaining an energy efficiency of 18,828 kJ·kg<sup>-1</sup> as the highest calorific value (Ortíz, Tejada, Vázquez, & Piñeiro, 2004).

In calorific efficiency studies, it has been found that the combination of 47.5 % charcoal and 52.5 % sawdust exceeds 21,307 kJ·kg<sup>-1</sup>, resulting in an energy gain of 24.25 % with respect to the highest calorific value of the sawdust pellets (17,148 kJ·kg<sup>-1</sup>) (Soto & Núñez, 2008).

### Mixed compounds based on forest and plastic residues

The manufacture of products based on wood and polymers (composites) has taken on increased importance in recent years (Moya-Villablanca, Oses-Pedraza, Poblete-Wilson, & Valenzuela-Hurtado, 2014). Kuang, Kuang, Zheng, and Wang (2010) evaluated a reinforced polypropylene composite, prepared by the polypropylene extrusion process with wood, at proportions of 15, 25 and 40 % by weight at two different granulometries. The products were made by injection processes with dimensions according to the ASTM standard. The authors observed that with the increase in fiber content, properties such as the melt flow index decreased as the modulus of elasticity, hardness and density increased. The results show that the properties of the composites are highly efficient when compared with other commercial systems reinforced with inorganic fillers.

### Chemical use

Studies on wood and bark extracts from conifers report chemical structures called secondary metabolites, such as: monoterpenes, sesquiterpenes, sesquiterpenolactones, diterpenes, triterpenes, flavonoids and lignans (Otto & Wilde, 2001). In some cases, these compounds are responsible for the resistance of wood to attack by insects, fungi and bacteria; therefore, they could have applications as pesticides, wood preservatives and antibiotics (Kubo, Muroi, & Himejima, 1992; Kubo, Muroi, & Kubo, 1995). Plant extracts, as biological control agents, and in combination with chemical and natural processes are emerging as partial solutions for the control of degrading organisms (fungi, bacteria and termites).

rendimiento disminuye rápidamente con el aumento de la temperatura y la velocidad de calentamiento de la biomasa, al favorecerse la generación de gases y la formación de un carbón muy reactivo de alta porosidad, que evoluciona hacia la formación de compuestos volátiles. En estas condiciones de rápido calentamiento se ha comprobado, además, que la formación de alquitrán incrementa (Angin, 2012). Por otra parte, a mayor contenido de lignina en la biomasa inicial, mayor será el rendimiento en peso del biocarbón, debido a la gran estabilidad térmica que presenta. Por lo tanto, los tres factores fundamentales que favorecen la producción de biocarbón en un proceso de pirólisis de biomasa son temperaturas bajas de proceso, velocidad lenta de calentamiento y contenido mayor de lignina (Kim-Kwang, Jae-Young, Tae-Su, & Weon-Choi, 2012). Al respecto, Arteaga-Crespo, Carballo-Abreu, García-Quintana, Alonso-López, y Geada-López (2012) obtuvieron biocarbón de especies maderables endémicas de Cuba con rendimientos superiores al 40 %, a 300 °C y a bajas velocidades de calentamiento.

### Pellets y briquetas elaboradas a partir de residuos forestales

Una de las vías para utilizar los residuos madereros es convirtiéndolos en comprimidos o briquetas, también conocidos como biocombustibles sólidos densificados. Para esto, la humedad inicial, composición química de las cenizas y su distribución granulométrica son importantes (Correa-Méndez et al., 2014a, 2014b). Dichos biocombustibles tienen forma cilíndrica con diámetros nominales entre 7 y 22 mm y longitudes de 3.5 a 6.5 cm, se fabrican a presión alta sin necesidad de utilizar adhesivo y poseen poder calorífico superior de 17,572 kJ·kg<sup>-1</sup> (López et al., 2008).

Los *pellets* y briquetas se elaboran a partir de aserrín compactado con presiones mayores de 147,100 kPa; se utilizan ampliamente en Europa y Norteamérica, en países con alto desarrollo forestal (Dávila, Amador, Morazan, & Rugama, 2013). La combustión de los *pellets* es ambientalmente favorable, debido a que puede reducir 50 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> comparada con la combustión de leña o astillas; además posee bajas concentraciones de azufre (0.004 a 0.007 %) y nitrógeno (0.05 a 0.16 %), con respecto al peso seco final de cada *pellet*. La materia prima contiene entre 8 y 12 % de humedad, obteniendo una eficiencia energética de 18,828 kJ·kg<sup>-1</sup> como poder calorífico superior (Ortíz, Tejada, Vázquez, & Piñeiro, 2004).

En estudios de eficacia calorífica se ha encontrado que la combinación de 47.5 % de carbonilla y 52.5 % de aserrín supera los 21,307 kJ·kg<sup>-1</sup>, originando una ganancia energética de 24.25 % con respecto al poder



## Fungicidal effect of chemical extracts

Liquids obtained in pyrolysis, as a consequence of the condensation of the gases, are known by a variety of terms: pyrolysis oil, bio-oil, biofuel oils, pyroligneous acid, wood liquids and wood distillates (Bridgwater, 2003). Navas (2002) obtained a pyroligneous liquid from sawmill waste and found fungicidal efficiency in *in vitro* tests, demonstrating the toxicity of the liquid to certain wood-rotting fungi. The toxicity limit values were 3 % volume of preservative:pyroligneous liquid, per medium volume, for the fungi *Corioliopsis polizona* (Pers.) Ryvarden and *Fomitella supina* (Sw.) Murrill, and 4 % volume of preservative: pyroligneous liquid, per medium volume, for the fungi *Pycnoporus sanguineus* (L.) Murrill and *Trametes villosa* (C. P. Robin) Berkhout. These values, once converted into their organic fraction content equivalent, coincided with toxicity values in similar studies. Vargas-Muñoz (2008) found antifungal activity of the crude methanolic extract of the bark of *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*, showing a significant increase from the fractionation of this extract, for the fungi *Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill and *Trametes versicolor* (L.) Lloyd. González-Laredo, Ochoa, Guzmán, and Castañeda (1989) reported that when pine samples and woodchips are treated with condensed tannins from their own bark, resistance increases against attack by the fungus *G. trabeum*, which causes brown rot. The authors explained that this phenomenon is perhaps due to a formation of covalent bonds between the flavonoids of the extract and the cellulosic material of the wood. Moreover, the cost of carrying out procedures for preserving tannins, extracted from the bark of forest material, represents a relatively low price, around \$4.00·kg<sup>-1</sup>. The material is obtained from recyclable forest activity products, which confers an economically viable marginal advantage (González-Laredo et al., 1989).

## Antibiotic effect of sawmill material

The species *Pinus douglasiana* Martínez and *P. pseudostrobus* Lindl. var. *pseudostrobus*, originating from the Sierra Madre Occidental, among others from different parts of the country, contain extracts with antimicrobial activity, but there are no scientific reports showing effective doses against some strains of pathogenic microorganisms (Stefanova-Nalimova, Coronado-Izquierdo, & Rizo-Peña, 2005).

Becerra et al. (2002) isolated 10 diterpenes from the bark and wood of the Chilean Podocarpaceae species: *Podocarpus nubigena* Lindl., *P. saligna* Zeller, *Prumnopitys yina* (Poepp. et Endl.) de Laub. and *Saxegothaea conspicua* Lindl. Six diterpenes had strong activity against *Staphylococcus aureus* Rosenbach and *Pseudomonas* sp., with the most efficient being totarol, ferruginol,

calorífico superior de los *pellets* de aserrín (17,148 kJ·kg<sup>-1</sup>) (Soto & Núñez, 2008).

## Compuestos mixtos a base de residuos forestales y plásticos

La elaboración de productos manufacturados a base de madera y polímeros (composites) está tomando importancia en los últimos años (Moya-Villablanca, Osés-Pedraza, Poblete-Wilson, & Valenzuela-Hurtado, 2014). Kuang, Kuang, Zheng, y Wang (2010) evaluaron un compuesto de polipropileno reforzado, preparado por el proceso de extrusión de polipropileno con madera, en proporciones de 15, 25 y 40 % en peso con dos granulometrías diferentes. Los productos se elaboraron mediante procesos de inyección con dimensiones según la norma ASTM. Los autores observaron que con el aumento del contenido de fibra, las propiedades como el índice de fluidez disminuyeron, en tanto el módulo de elasticidad, dureza y densidad aumentaron. Los resultados muestran que las propiedades de los compuestos son sumamente eficientes cuando se comparan con otros sistemas comerciales reforzados con rellenos inorgánicos.

## Uso químico

Estudios realizados en extractos de madera y corteza de coníferas reportan estructuras químicas denominadas metabolitos secundarios, como lo son: monoterpenos, sesquiterpenos, sesquiterpenlactonas, diterpenos, triterpenos, flavonoides y lignanos (Otto & Wilde, 2001). En algunos casos, estos compuestos son responsables de la resistencia de la madera a la acción de insectos, hongos y bacterias; por tanto, podrían tener aplicaciones como pesticidas, preservantes de la madera y antibióticos (Kubo, Muroi, & Himejima, 1992; Kubo, Muroi, & Kubo, 1995). Los extractos de plantas, como agentes de control biológico, y la combinación con procesos químicos y naturales están emergiendo como soluciones parciales para el control de organismos capaces de degradar (hongos, bacterias y termitas).

## Efecto fungicida de los extractos químicos

Los líquidos obtenidos en la pirólisis, como consecuencia de la condensación de los gases, se conocen con una variedad de términos: aceites pirolíticos, bioaceites, aceites biocombustibles, ácidos piroleñosos, líquidos de madera y destilados de madera (Bridgwater, 2003). Navas (2002) obtuvo un líquido piroleñoso, a partir de desechos de aserrío, y encontró eficiencia fungicida en pruebas *in vitro*, demostrando toxicidad del líquido frente a ciertos hongos de pudrición de la madera. Los valores límites de toxicidad fueron de 3 % volumen de preservante:líquido piroleñoso, por volumen de medio, para los hongos *Corioliopsis polizona* (Pers.) Ryvarden y

dehydroferruginol and acetylferruginol. A similar investigation by Kubo and Himejima (1992) reported antimicrobial activity of totarol against Gram positive and negative bacteria.

In 2008, Amaya-Gutiérrez, Toledo-González, Ruiz-García, Flores-Machuca, and Casas-Solís evaluated the sensitivity of the bacteria *S. aureus*, *Salmonella enteritidis* (SE), *Escherichia coli* (Escherich) and the yeast *Candida albicans* (C. P. Robin) Berkhout to different concentrations of extracts of *P. pseudostrobus*, *P. douglasiana* and *Pinus* spp. The results showed that *P. pseudostrobus*, at concentrations of 25 %, inhibited 50 % of *S. enteritidis*, whereas the extract of *Pinus* spp. was effective with all four microorganisms in inhibition ranges from 83 to 97 %. Finally, *P. douglasiana*, at a concentration of 25 %, achieved 73 % growth control of *S. aureus* and about 60 % of *E. coli* and *C. albicans*.

### Insecticidal effect of wood chemical compounds

Wood products need chemical agents for their preservation, but they create environmental problems and adversely affect many beneficial organisms and insects (Dutta, 2015). Extracts isolated from the heartwood of some pine species may provide alternatives in pest control, due to the high content of bioactive chemicals. In addition, the extracts are biodegradable and could thus help to resolve the environmental problems caused by synthetic pesticides (Montico & Di Leo, 2015). Several extracts present toxicity and repellency against some termite species (Manzoor et al., 2011); the mechanism is not entirely clear, so it is suggested to adapt methodologies that can contribute knowledge. The activity of most natural extractives against termites is generally low relative to commercial insecticides.

### Antioxidants present in industrial wood waste

Polyphenols and especially flavonoids are secondary metabolites that form naturally in all plants (Riveros & Inga, 2015). Some of these compounds have been identified in pine species originating from Durango and in seeds of fruits from the same state (González-Elizondo et al., 2012; González-Laredo et al., 2007). Flavonoids are natural antioxidants that have a significant effect on wood durability (Dai & Mumper 2010). According to Schultz and Nicholas (2000), flavonoids protect the heartwood against colonization of fungi by a dual function: fungicidal activity and elimination of free radicals (antioxidant activity). Flavonoids have received particular attention because of their role in the neutralization and scavenging of free radicals (Gupta & Prakash, 2009). Pietarinen, Willför, Vikström, and Holmbom (2006) showed that the antioxidant capacity of flavonoids is particularly important because it is responsible for neutralizing

*Fomitella supina* (Sw.) Murrill, y de 4 % volumen de preservante: líquido piroleñoso, por volumen de medio, para los hongos *Pycnoporus sanguineus* (L.) Murrill y *Trametes villosa* (C. P. Robin) Berkhout. Estos valores, una vez convertidos en su equivalente de contenido de fracción orgánica, coincidieron con valores de toxicidad en estudios similares. Vargas-Muñoz (2008) encontró actividad antifúngica del extracto crudo metanólico de la corteza de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*, mostrando un aumento significativo a partir del fraccionamiento de dicho extracto, para los hongos *Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill y *Trametes versicolor* (L.) Lloyd. González-Laredo, Ochoa, Guzmán, y Castañeda (1989) expusieron que cuando las muestras de pino y astillas son tratadas con taninos condensados de su propia corteza, la resistencia aumenta hacia el ataque del hongo *G. trabeum*, causante de pudrición parda. Los autores explicaron que este fenómeno quizá se deba a una formación de enlaces covalentes entre los flavonoides del extracto y el material celulósico de la madera. Aunado a esto, el costo de la realización de prácticas de preservación de taninos, extraídos de corteza de material forestal, representa un precio relativamente bajo, alrededor de \$4.00·kg<sup>-1</sup>. El material se obtiene de productos reciclables de la actividad forestal, lo cual confiere una ventaja marginal económicamente viable (González-Laredo et al., 1989).

### Efecto antibiótico de material procedente del aserrío

Las especies *Pinus douglasiana* Martínez y *P. pseudostrobus* Lindl. var. *pseudostrobus*, originarias de la Sierra Madre Occidental, entre otras de diferentes sitios del país, contienen extractos con actividad antimicrobiana, pero no se cuenta con reportes científicos que evidencien las dosis eficaces contra algunas cepas de microorganismos patógenos (Stefanova-Nalimova, Coronado-Izquierdo, & Rizo-Peña, 2005).

Becerra et al. (2002) aislaron 10 diterpenos de la corteza y madera de la familia forestal chilena Podocarpaceae: *Podocarpus nubigena* Lindl., *P. saligna* Zeller, *Prumnopitya* (Poepp. et Endl.) de Laub. y *Saxegothaea conspicua* Lindl. Seis diterpenos tuvieron fuerte actividad contra *Staphylococcus aureus* Rosenbach y *Pseudomonas* sp., siendo los más eficientes: totarol, ferruginol, dehidroferruginol y acetil ferruginol. Una investigación similar, realizada por Kubo y Himejima (1992), reportó actividad antimicrobiana del totarol contra bacterias Gram positivas y negativas.

En 2008, Amaya-Gutiérrez, Toledo-González, Ruiz-García, Flores-Machuca, y Casas-Solís evaluaron la sensibilidad de las bacterias *S. aureus*, *Salmonella enteritidis* (SE), *Escherichia coli* (Escherich) y la levadura *Candida albicans* (C. P. Robin) Berkhout a diferentes concentraciones de extractos de *P. pseudostrobus*, *P.*

reactive species that cause cell wall decay during white and brown rot. On the other hand, several researchers have reported that phenols extracted from *Pinus radiata* D. Don are effective preservatives in the food industry due to their antioxidant properties (Jerez, Touriño, Sineiro, Torres, & Núñez, 2007; Raghavendra, Kumar, & Prakash, 2007). These antioxidant effects have also been described for bark extracts of *Pinus maritima* Ait. (Packer, Rimbach, & Virgili, 1999) and *Pinus pinaster* Ait. (Jerez, Selga, Sineiro, Torres, & Núñez, 2007), under different extraction conditions.

Rosales-Castro and González-Laredo (2003) evaluated the content of condensed tannins and total phenols, expressed as tannic acid, in ethanolic and aqueous extracts of the bark of eight pine species abundant in the state of Durango: *P. arizonica*, *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schldtl., *P. cooperi*, *P. chihuahuana*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* and *P. teocote* Schiede ex Schldtl. & Cham. The yields in total extract (total solids extracted) varied with respect to the extraction solvent and species. In all species, the extract yield obtained with 50 % ethanol was higher than that obtained with water, with *P. ayacahuite* and *P. leiophylla* being the species with the highest concentration of phenolic compounds, and *P. engelmannii* and *P. cooperi* those with the lowest concentration. Even so, the concentration of flavonoids determined in this study, which ranged from 13 to 16 % (*P. durangensis*, *P. ayacahuite* and *P. leiophylla*), can be considered viable for use in biomedical areas (Cortés, Pulgar, Sanhueza, Aspé, & Fernández, 2010).

Flavonoids present in the bark of forest species and their effect as nutraceuticals have been investigated by Nakayama et al. (2015). Previously, Devaraj et al. (2002) patented an extract from *P. pinaster* bark with the name Pycnogenol, showing that a 150-mg dose of this extract per day for six weeks significantly reduces low-density lipoprotein (LDL-cholesterol) levels and increases high-density lipoproteins (HDL) in humans. Methods and techniques for obtaining these extracts are described in some U. S. patents (55,720,956, 8,697,749 and 5,720,556). In this regard, Rosales et al. (2009) evaluated the concentration of total phenols, flavonoids and proanthocyanidins in 70 % aqueous acetone extracts (crude extract) and semi-purified extracts by liquid-liquid partition with ethyl acetate (organic extract) in bark of *P. cooperi*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* and *P. teocote*. In this way, the authors determined the antioxidant activity of the extracts by the ABTS<sup>•+</sup> and deoxy-d-ribose (hydroxyl radical sequestration) radical techniques, as well as by the inhibition of LDL oxidation. This allowed the identification of the flavanol catechin in all four species, but at low concentrations; even so, all the extracts had high antioxidant activity, as they inhibited free radicals, proving that the extracts are natural products with high value as biologically active phytochemicals.

*douglasiana* y *Pinus* spp. Los resultados mostraron que *P. pseudostrobus*, en concentraciones de 25 %, inhibió 50 % de *S. enteritidis*, mientras que el extracto de *Pinus* spp. fue efectivo con los cuatro microorganismos en rangos de inhibición de 83 a 97 %. Por último, *P. douglasiana*, a una concentración de 25 %, logró 73 % de control de crecimiento de *S. aureus* y cerca de 60 % de control de *E. coli* y *C. albicans*.

### Efecto insecticida de los compuestos químicos de la madera

Los productos de madera necesitan agentes químicos para su conservación, pero estos crean problemas ambientales y afectan negativamente a muchos organismos e insectos beneficiosos (Dutta, 2015). Los extractos aislados del duramen de algunas especies de pinos pueden proporcionar alternativas en el control de plagas, debido al contenido alto de productos químicos bioactivos. Además, los extractos son biodegradables y podrían ayudar a resolver los problemas ambientales causados por los plaguicidas sintéticos (Montico & Di Leo, 2015). Varios extractos presentan toxicidad y repelencia frente a algunas especies de termitas (Manzoor et al., 2011); el mecanismo no es del todo claro, por lo que se sugiere adecuar metodologías que puedan aportar conocimiento. La actividad de la mayoría de los extractivos naturales contra las termitas es generalmente baja, con relación a los insecticidas comerciales.

### Antioxidantes presentes en los desechos industriales de la madera

Los polifenoles y en especial los flavonoides son metabolitos secundarios que se forman de manera natural en todas las plantas (Riveros & Inga, 2015). Algunos de estos compuestos se han identificado en especies de pino originarias de Durango y en semillas de frutos procedentes del mismo estado (González-Elizondo et al., 2012; González-Laredo et al., 2007). Los flavonoides son antioxidantes naturales que tienen un efecto importante en la durabilidad de la madera (Dai & Mumper 2010). De acuerdo con Schultz y Nicholas (2000), los flavonoides protegen el duramen contra la colonización de hongos por una doble función: la actividad fungicida y la eliminación de radicales libres (actividad antioxidante). Los flavonoides han recibido particular atención debido a su papel en la neutralización y desecho de radicales libres (Gupta & Prakash, 2009). Pietarinen, Willför, Vikström, y Holmbom (2006) mostraron que la capacidad antioxidante de los flavonoides es particularmente importante porque es la responsable de neutralizar las especies reactivas causantes del deterioro de la pared celular, durante la pudrición blanca y parda. Por otra parte, diversos investigadores han informado



## Tannins and their uses as natural adhesives

Tannins are chemical compounds with very complex structures formed by phenolic groups of plant origin, and they have the ability to react and precipitate with alkaloids, gelatins and other proteins. The highest concentrations of tannins are found in woody or xylem tissues, which contain a high proportion of parenchyma cells, especially early wood parenchyma, and in the wood radii (Pedraza-Bucio & Rutiaga-Quiñones, 2011).

Tannins have been used in the formulation of adhesives with mixtures of other chemical compounds such as formaldehyde (Pedraza-Bucio & Rutiaga-Quiñones, 2011; Vázquez, González-Álvarez, López-Suevos, & Antorrena, 2003). Vázquez et al. (2003) developed phenol-formaldehyde-tannin adhesives using *P. pinaster* bark tannins with promising results in their application to eucalyptus plywood boards. Adhesives based on forest residues have been formulated with marginal success, as part of the search for ways to decrease the use of chemical components. Encinas, Paredes, and Tiburzi (2007) prepared adhesives with tannic extracts of Caribbean pine bark that withstood more than 196.133 kPa, which is the minimum accepted as resistance to shear of wood boards. Adding sulphite in the preparation of the glue improves its resistance to shear, since the failure of the samples occurs in the wood and not in the bonds (Encinas et al., 2007).

Esteves et al. (2015) evaluated liquefied *P. pinaster* sawdust using a polyvalent method with acid catalysis. They found that bond strength decreases with increased liquefied wood content; however, at a concentration of 20 % liquefied wood, the reduction of internal bond strength is relatively small and still within the minimum standards required. When 70 % liquefied wood is used there is a significant decrease in bond strength. The authors concluded that it is possible to use a small amount of maritime pine liquefied wood (sawdust) as a partial substitute in the formulation of urea-formaldehyde and melamine-urea-formaldehyde resins for the production of adhesives, thus decreasing the formaldehyde content.

Vázquez, López-Suevos, González-Álvarez, and Antorrena (2005) proved that adding tannins to prepolymers modifies the rheological characteristics from a Newtonian behavior to a pseudoplastic behavior in the adhesives. This allowed researchers to develop products that exceeded European quality standards for outdoor use boards.

## Conclusions

Interest in the use of lignocellulosic materials from sawmill industry waste, as raw material in transformation processes for a more comprehensive use, has increased

que los fenoles extraídos de *Pinus radiata* D. Don son preservantes efectivos en la industria alimentaria, debido a sus propiedades antioxidantes (Jerez, Touriño, Sineiro, Torres, & Núñez, 2007; Raghavendra, Kumar, & Prakash, 2007). Estos efectos antioxidantes también se han descrito para los extractos de corteza de *Pinus maritima* Ait. (Packer, Rimbach, & Virgili, 1999) y *Pinus pinaster* Ait. (Jerez, Selga, Sineiro, Torres, & Núñez, 2007), bajo diversas condiciones de extracción.

Rosales-Castro y González-Laredo (2003) evaluaron el contenido de taninos condensados y fenoles totales, expresados como ácido tánico, en extractos etanólicos y acuosos de las cortezas de ocho especies de pino abundantes en el estado de Durango: *P. arizonica*, *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl., *P. cooperi*, *P. chihuahuana*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* y *P. teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham. Los rendimientos en extracto total (sólidos totales extraídos) variaron con respecto al solvente de extracción y la especie. En todas las especies, el rendimiento en extracto obtenido con etanol al 50 % fue mayor que el obtenido con agua, siendo *P. ayacahuite* y *P. leiophylla* las especies con la mayor concentración de compuestos fenólicos, y *P. engelmannii* y *P. cooperi* las de menor concentración. Aun así, la concentración de flavonoides determinadas en dicho estudio, que varió de 13 a 16 % (*P. durangensis*, *P. ayacahuite* y *P. leiophylla*), se puede considerar viable para su uso en áreas biomédicas (Cortés, Pulgar, Sanhueza, Aspé, & Fernández, 2010).

Los flavonoides presentes en la corteza de especies forestales y su efecto como nutraceuticos han sido investigados por Nakayama et al. (2015). Anteriormente Devaraj et al. (2002) patentaron un extracto de la corteza de *P. pinaster* con el nombre Pycnogenol, demostrando que dosis de 150 mg de extracto por día, durante seis semanas, reduce significativamente los niveles de lipoproteínas de baja densidad (colesterol LDL) y aumenta las lipoproteínas de alta densidad (HDL) en humanos. Los métodos y técnicas de obtención de estos extractos están descritos en algunas patentes norteamericanas (55,720,956, 8,697,749 y 5,720,556). En este sentido, Rosales et al. (2009) evaluaron la concentración de fenoles totales, flavonoides y proantocianidinas en extractos de acetona acuosa al 70 % (extracto crudo) y extractos semipurificados por partición líquido-líquido con acetato de etilo (extracto orgánico) en cortezas de *P. cooperi*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* y *P. teocote*. De esta manera, los autores determinaron la actividad antioxidante de los extractos por las técnicas de radical ABTS•+, desoxi-d-ribose (secuestro de radical hidroxilo) y por la inhibición de la oxidación de LDL. Esto permitió la identificación de flavanol catequina en las cuatro especies, pero en bajas concentraciones, aun así, todos los extractos tuvieron alta actividad antioxidante, pues inhibieron radicales libres, demostrando que los extractos son



over the last several decades. Knowledge of the chemical and physical properties of forest by-products and the concentrations of the elements that comprise them is of vital importance for the sustainable development of the forest industry, which could make it more profitable by creating new sources of income. At the national level, and particularly in Durango, there are initial efforts to harness the potential of sawdust and bark, which prioritize the following applications: a) as a substrate in forest and agricultural production, under greenhouse conditions; b) as a less polluting energy material and mixtures of forest residues that produce more specific heat, achieving a potential ecological use capable of counteracting the pollution generated by the traditional disposal of by-products; the initial viability points towards the manufacture of pellets or briquettes. We suggest that the necessary methodologies to determine the quality of wastes generated in the state be adopted, and that an in-depth study on the viability of the extractables for use as fungicide and wood preservative and for the formulation of adhesives be carried out.

*End of English version*

## References / Referencias

- Åkerholm, M., Hinterstoisser, B., & Salmén, L. (2004). Characterization of the crystalline structure of cellulose using static and dynamic FT-IR spectroscopy. *Carbohydrate Research*, 339(3), 569–578. doi: 10.1016/j.carres.2003.11.012
- Amaya-Gutiérrez, M. N., Toledo-González, S. L., Ruiz-García, Flores-Machuca, M. M., & Casas-Solís, J. (2008). Evaluación de la actividad antimicrobiana de extractos obtenidos por hidrodestilación de acículas de pinos, probados en *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli* y *Candida albicans*. En S. Carbajal, & E. Pimienta (Eds.), *Avances en la investigación científica en el CUCBA* (pp. 978–607). México: Universidad de Guadalajara & Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Retrieved from <http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances2008/contenido2008.pdf>
- Angin, D. (2012). Effect of pyrolysis temperature and heating rate on biochar obtained from pyrolysis of safflower seed press cake. *Bioresource Technology*, 128, 593–597. doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.150
- Arteaga-Crespo, Y., Carballo-Abreu, Y. L., García-Quintana, Y. M., Alonso-López, M., & Geada-López, G. (2012). Caracterización del aserrín de *Acacia mangium* Willd para la obtención de biocarbón. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 8(2), 90–95. Retrieved from <http://www.itson.mx/publicaciones/flrn/Documents/v8-n2-5-caracterizacion-del-aserrin-de-acacia-mangium-willd-para-la-obtencion-de-biocarbon.pdf>
- productos naturales con alto valor como fitoquímicos biológicamente activos.
- Los taninos y sus usos como adhesivos naturales**
- Los taninos son compuestos químicos con estructuras muy complejas formadas por grupos fenólicos de origen vegetal, poseen la habilidad de reaccionar y precipitar con alcaloides, gelatinas y otras proteínas. Las concentraciones más altas de taninos se encuentran en tejidos leñosos o xilema, que contienen una proporción alta de células de parénquima, especialmente madera temprana del parénquima, y en los radios de madera (Pedraza-Bucio & Rutiaga-Quiñones, 2011).
- Los taninos se han utilizado en la formulación de adhesivos con mezclas de otros compuestos químicos como el formaldehído (Pedraza-Bucio & Rutiaga-Quiñones, 2011; Vázquez, González-Álvarez, López-Suevos, & Antorrena, 2003). Vázquez et al. (2003) desarrollaron adhesivos fenol-formaldehído-taninos empleando taninos de corteza de *P. pinaster* con resultados prometedores en su aplicación a tableros contrachapados de eucalipto. Se han formulado adhesivos a base de residuos forestales con éxitos marginales, para buscar así una disminución en el uso de componentes químicos. Encinas, Paredes, y Tiburzi (2007) prepararon adhesivos con extractos tánicos de corteza de pino caribe que resistieron más de 196.133 kPa, que es el mínimo aceptado como resistencia al cizallamiento de tableros de madera. La adición de sulfito en la preparación del pegamento mejora su resistencia a la cizalla, pues la falla de las muestras se presenta en la madera y no en las uniones (Encinas et al., 2007).
- Esteves et al. (2015) evaluaron aserrín licuado de *P. pinaster* usando un método polivalente con catálisis ácida. Encontraron que la resistencia de la unión disminuye con el aserrín de madera; sin embargo, con una concentración de 20 % de madera, la reducción de la resistencia de unión interna es relativamente pequeña, aun dentro de los estándares mínimos requeridos. Cuando se emplea 70 % de madera hay una disminución significativa en la resistencia de la unión. Los autores concluyeron que es posible utilizar una cantidad pequeña de aserrín de madera de pino marítimo licuado como un sustituto parcial en la formulación de resinas de urea-formaldehído y de melamina-urea-formaldehído para la producción de adhesivos, disminuyendo así el contenido de formaldehído.
- Vázquez, López-Suevos, González-Álvarez, y Antorrena (2005) comprobaron que la adición de taninos a los prepolímeros modifica las características reológicas pasando de un comportamiento newtoniano a un comportamiento pseudoplástico en los adhesivos. Esto permitió que los investigadores pudieran elaborar

- Asamblea Legislativa del Distrito Federal. (2003). Ley de residuos sólidos del Distrito Federal (LRSDF). México: Gaceta Oficial del Distrito Federal. Retrieved from <http://aldf.gob.mx/archivo-b0980c936d0f7b1b6138d5c613a6188c.pdf>
- Becerra, J., Flores, C., Mena, J., Aqueveque, P., Alarcón, J., Bittner, M., ...Silva, M. (2002). Antifungal y antibacterial activity of diterpenes isolated from wood extractables of Chilean Podocarpaceae. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 47(2), 151–157. doi: 10.4067/s0366-16442002000200011
- Bridgwater, A. V. (2003). Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, 91(2), 87–102. doi: 10.1016/S1385-8947(02)00142-0
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2003). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos (LGPGIR). México: Diario Oficial de la Federación (DOF). Retrieved from [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_220515.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf)
- Correa-Méndez, F., Carrillo-Parra, A., Rutiaga-Quiñones, J. G., Márquez-Montesino, F., González-Rodríguez, H., Jurado-Ybarra, E., & Garza-Ocañas, F. (2014a). Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su uso en pélets y briquetas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(1), 77–88. doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.04.012
- Correa-Méndez, F., Carrillo-Parra, A., Rutiaga-Quiñones, J. G., Márquez-Montesino, F., González-Rodríguez, H., Jurado Ybarra, E., & Garza-Ocañas, F. (2014b). Distribución granulométrica en subproductos de aserrío para su posible uso en pellets y briquetas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(25), 52–63. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322014000500005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000500005)
- Cortés, S., Pulgar, H., Sanhueza, V., Aspé, E., & Fernández, K. (2010). Identification of proanthocyanidins extracted from *Pinus radiata* D. Don bark. *Ciencia e Investigación Agraria*, 37(2), 15–25. doi: 10.4067/s0718-16202010000200002
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352. doi: 10.3390/molecules15107313
- Dávila, K., Amador, A., Morazan, F., & Rugama, J. (2013). Validación de máquina briqueteadora para el aprovechamiento de la cascarilla de café como combustible. *Revista El Higo*, 3(1), 3–6. Retrieved from <http://revistasnicaragua.net.ni/index.php/elhigo/article/view/2238>
- Devaraj, S., Vega-López, S., Kaul, N., Schönlau, F., Rohdewald, P., & Jialal, I. (2002). Supplementation with a pine bark extract rich in polyphenols increases plasma antioxidant capacity and alters the plasma lipoprotein profile. *Lipids*, 37(10), 931–934. doi: 10.1007/s11745-006-0982-3
- Dutta, S. (2015). Biopesticides: an ecofriendly approach for pest control. *World Journal of Pharmacy and*
- productos que superaron las normas europeas de calidad para tableros de uso exterior.

## Conclusiones

El interés por el uso de materiales lignocelulósicos procedentes de desechos de la industria del aserrío, como materia prima en procesos de transformación para un aprovechamiento integral, se ha incrementado desde hace varias décadas. El conocimiento de las propiedades químicas y físicas de los subproductos forestales y las concentraciones de los elementos que los conforman es de vital importancia para el desarrollo sustentable de la industria forestal, la que podría darle un valor económico agregado creando nuevas fuentes de ingreso. A nivel nacional y, particularmente, en Durango existen esfuerzos iniciales para el aprovechamiento de aserrín de madera y corteza, que priorizan las siguientes aplicaciones: a) como sustrato en la producción forestal y agrícola, bajo condiciones de invernadero; b) como material energético menos contaminante y mezclas de residuos forestales que producen mayor calor específico, logrando un potencial uso ecológico capaz de contrarrestar la contaminación generada al disponer tradicionalmente de los subproductos; la viabilidad inicial apunta hacia la fabricación de pellets o briquetas. Se sugiere la adecuación de las metodologías necesarias para determinar la calidad de los desechos generados en la entidad, y un estudio a profundidad sobre la viabilidad de los extraíbles para su uso como fungicida y preservante de maderas y para la formulación de adhesivos.

## Fin de la versión en español

- Pharmaceutical Sciences*, 4(6), 250–265. Retrieved from [www.wjpps.com/download/article/1432977388.pdf](http://www.wjpps.com/download/article/1432977388.pdf)
- Encinas, O., Paredes, G., & Tiburzi, L. (2007). Possibilities of Caribbean Pine bark tannic extracts for wood adhesives. *Revista Forestal Venezolana*, 51(2), 141–146. Retrieved from <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24486/2/articulo2.pdf>
- Esteves, B., Martins, J., Martins, J., Cruz-Lopes, L., Vicente, J., & Domingos, I. (2015). Liquefied wood as a partial substitute of melamine-urea-formaldehyde and urea-formaldehyde resins. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 17(2), 277–284. doi: 10.4067/S0718-221X2015005000026
- Farías-Sánchez, J. C., López-Miranda, J., Castro-Montoya, A. J., Saucedo-Luna, J., Carrillo-Parra, A., López-Albarrán, P., ...Rutiaga-Quiñones, J. G. (2015). Comparison of five pretreatments for the production of fermentable sugars obtained from *Pinus pseudostrubus* L. wood. *EXCLI Journal*, 14, 430. doi: 10.17179/excli2014-613
- Galbe, M., & Zacchi, G. (2002). A review of the production of ethanol from softwood. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59(6), 618–628. doi: 10.1007/s00253-002-1058-9

- García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G., & Bueno, J. L. (2014). Spanish biofuels heating value estimation. Part I: Ultimate analysis data. *Fuel*, *117*, 1130–1138. doi: 10.1016/j.fuel.2013.08.048
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez I. L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, *100*, 351–403. Retrieved from [http://www1.inecol.edu.mx/abm/resumenes/Acta100\(351-404\).pdf](http://www1.inecol.edu.mx/abm/resumenes/Acta100(351-404).pdf)
- González-Laredo, F. R., Ochoa, G. R., Guzmán, N. B., & Castañeda, M. E. (1989). Utilización de taninos de corteza de pino en la preparación de adhesivos para vigas laminadas. *Ubamari*, *6*, 18–31.
- González-Laredo, F. R., Reyes-Navarrete, M. G., Preza y Lerma, A. M., Rosales-Castro, J. M., Morales-Castro, J., Gallegos-Infante, J. A., & Rocha-Guzmán, N. E. (2007). Antioxidant evaluation and chemoprotection of phenolic extracts from apple seeds. *Grasas y Aceites*, *58*(1), 5–9. doi: 10.3989/gya.2007.v58.i1.1
- Guerra-Medina, C. E., Montañez-Valdez, O. D., Ley-De Coss, A., Reyes-Gutiérrez, J. A., Gómez-Peña, J. E., Martínez-Tinajero, J. J., & Pinto-Ruiz, R. (2015). Alternative sources of fiber in complete diets for sheep in intensive fattening. *Quehacer Científico en Chiapas*, *10*(1), 3–8. Retrieved from [http://www.dgip.unach.mx/images/pdf/REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/2015-ener-jun/Fuentes\\_alternas\\_de\\_fibra\\_en\\_dietas\\_integrales.pdf](http://www.dgip.unach.mx/images/pdf/REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/2015-ener-jun/Fuentes_alternas_de_fibra_en_dietas_integrales.pdf)
- Guerra-Medina, C. E., Pérez-Sato, M., Cobos-Peralta, M. A., & Montañez-Valdez, O. D. (2010). Use of pine sawdust (*Pinus patula*) as a fiber source in lamb finishing rations. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *2*, 667–673. Retrieved from <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/426/430>
- Gupta, S., & Prakash, J. (2009). Studies on Indian green leafy vegetables for their antioxidant activity. *Plant Foods for Human Nutrition*, *64*, 39–45. doi: 10.1007/s11130-008-0096-6
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., ... Domínguez-Pereda, A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *19*(2), 189–200. doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.08.052
- Hernández-Zarate, L., Aldrete, A., Ordaz-Chaparro, V. M., López-Upton, J., & López-López, M. Á. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, *48*(6), 627–637. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext)
- Jackson, B. E., & Wright, R. D. (2009). Changes in chemical and physical properties of pine tree substrate and pine bark during long-term nursery crop production. *Horticultural Science*, *44*(3), 791–799. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/44/3/791.full>
- Jerez, M., Selga, A., Sineiro, J., Torres, J. L., & Núñez, M. J. (2007). A comparison between bark extracts from *Pinus pinaster* and *Pinus radiata*: Antioxidant activity and procyanidin composition. *Food Chemistry*, *100*, 439–444. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.09.064
- Jerez, M., Touriño, S., Sineiro, J., Torres, J. L., & Núñez, M. J. (2007). Procyanidins from pine bark: Relationships between structure, composition and antiradical activity. *Food Chemistry*, *104*, 518–527. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.11.071
- Kim-Kwang, H., Jae-Young, K., Tae-Su, C., & Weon-Choi, J. (2012). Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (*Pinus rigida*). *Bioresource Technology*, *118*, 158–162. doi: 10.1016/j.biortech.2012.04.094
- Koppram, R., & Olsson, L. (2014). Combined substrate, enzyme and yeast feed in simultaneous saccharification and fermentation allow bioethanol production from pretreated spruce biomass at high solids loadings. *Biotechnology for Biofuels*, *7*(1), 1–9. doi: 10.1186/1754-6834-7-54
- Kuang, X., Kuang, R., Zheng, X., & Wang, Z. (2010). Mechanical properties and size stability of wheat straw and recycled LDPE composites coupled by waterborne coupling agents. *Carbohydrate Polymers*, *80*(3), 927–933. doi: 10.1016/j.carbpol.2010.01.008
- Kubo, I., & Himejima, H. M. (1992). Antimicrobial activity of green tea flavor components and their combination effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *40*(2), 245–248. doi: 10.1021/jf00014a015
- Kubo, I., Muroi, H., & Himejima, M. (1992). Antibacterial activity of totarol and its potentiation. *Journal of Natural Products*, *55*(10), 1436–1440. doi: 10.1021/np50088a008
- Kubo, I., Muroi, H., & Kubo, A. (1995). Structural functions of antimicrobial long-chain alcohols and phenols. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, *3*(7), 873–880. doi: 10.1016/0968-0896(95)00081-Q
- López, F., Alfaro, A., Caparrós, S., García, M. M., Pérez, A., & Garrote, G. (2008). Aprovechamiento energético e integrado por fraccionamiento de biomasa lignocelulósica forestal y agroindustrial. *Boletín Informativo CIDEU*, *5*, 7–19. Retrieved from <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/3345/b15550345.pdf?sequence=1>
- López-Miranda, J., Soto-Cruz, N. O., Rutiaga-Quiñones, O. M., Medrano-Roldán, H., & Arévalo-Niño, K. (2009). Optimización del proceso de obtención enzimática de azúcares fermentables a partir de aserrín de pino. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *25*(2), 95–102. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000200004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000200004)
- Luna, F. J. A., Córdoba, L. L. S., Gil, P. K. I., & Romero, B. I. M. (2013). Effect of agroforestry residues partially biodegraded by *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) on tomato seedlings development. *Acta Biológica*



- Colombiana*, 18(2), 365–374. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/35852>
- Luna, J. A. N., Villanueva, G. H. A., González, J. M., Vargas, L. B., Cobos, F. C., Hernández, F. J., & Calderón, C. G. A. (2012). Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia*, 55, 11–23. Retrieved from <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista55/Articulo%202.pdf>
- Maldonado-Benitez, K. R., Aldrete, A., López-Upton, J., Vaquera-Huerta, H. V., & Cetina-Alcalá, M. (2011). Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia*, 45(3), 389–398. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n3/v45n3a11.pdf>
- Manzoor, F., Beena, W., Malik, S., Naz, N., Naz, S., & Syed, W. H. (2011). Preliminary evaluation of *Ocimum sanctum* as toxicant and repellent against termite, *Heterotermes indicola* (Wasmann) (Isoptera: Rhinotermitidae). *Pakistan Journal of Science*, 63(1), 59–62. Retrieved from <http://paas.com.pk/SubPages/Journal/ResearchPaper.aspx?fcso=2&menuid=1006&manid=5081>
- Martínez-López, Y., Fernández-Concepción, R. R., Álvarez-Lazo, D., García-González, M., & Rodríguez-Álvarez, R. (2012). Perspectivas para la utilización del aserrín en la producción de tableros madera plástico con propiedades ignífugas. *Revista Avances*, 14(2), 120–129. Retrieved from [http://www.ciget.pinar.cu/Revista/No.2012-2/articulo/aserrin\\_tableros.pdf](http://www.ciget.pinar.cu/Revista/No.2012-2/articulo/aserrin_tableros.pdf)
- Mateo-Sánchez, J. J., Bonifacio-Vázquez, R., Pérez-Ríos, S. R., Mohedano-Caballero, L., & Capulín-Grande, J. (2011). Producción de *Cedrela odorata* L. en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai*, 7(1), 123–132. Retrieved from <http://www.journals.unam.mx/index.php/rxm/article/view/26673/24989>
- Mateo, S., J., Capulín, G. J., Araujo, S. M., Suárez, I. A., & Mitjans, M. B. (2015). Crecimiento de *Acacia retinodes* Schlttdl. en sustratos a base de aserrín de pino y envases tratados con cobre. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 2(2), 191–202. Retrieved from <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/82>
- Mateo-Sánchez, J. M., Cobos-Peralta, M. A., Trinidad-Santos, A., Cetina-Alcalá, V., & Vargas-Hernández, J. (2002). Aislamiento de bacterias ruminales degradadoras de aserrín. *Agrociencia*, 36(5), 523–529. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236503>
- Montico, S., & Di Leo, N. (2015). Riesgo ambiental por pesticidas en una cuenca del sur de la provincia de Santa Fe, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(2), 165–172. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236503>
- Mora, Q., Patricia, L., Martínez Castilla, Y., Mendoza, V., Andrey, J., Arévalo Rodríguez, A., ... Urbina Suarez, N. A. (2015). Evaluation of ethanol production from potato, cassava and orange wastage in discontinuous cultivation using *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista ION*, 28(1), 43–53. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-100X2015000100005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2015000100005)
- Moya-Villablanca, C., Osés-Pedraza, R., Poblete-Wilson, H., & Valenzuela-Hurtado, L. (2014). Efectos del contenido de harina de corteza y madera de *Pinus radiata* sobre la biodegradación acelerada de compuestos madera-plástico. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 16(1), 37–48. Retrieved from <http://www.scielo.cl/pdf/maderas/v16n1/aop0414.pdf>
- Nakayama, S., Kishimoto, Y., Saita, E., Sugihara, N., Toyozaki, M., Taguchi, C., & Kondo, K. (2015). Pine bark extract prevents low-density lipoprotein oxidation and regulates monocytic expression of antioxidant enzymes. *Nutrition Research*, 35(1), 56–64. doi: 10.1016/j.nutres.2014.10.010
- Navas, S. (2002). Evaluación fungicida y antitérmica preliminar del líquido pireleñoso. *Tecnología en Marcha*, 15(1), 88–106. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=4835714>
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Díaz-Ruiz, R., & Ocampo-Mendoza, J. (2010). Effect of different substrates on tomato seedlings growth (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Ra Ximhai*, 6(3), 365–372. Retrieved from <http://www.uaaim.edu.mx/webraximhai/Ej-18articulosPDF/05-SustratosTomate.pdf>
- Ortiz, B. R., Martínez, S., Vázquez, R. D., & Juárez, W. (2016). Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género *Pinus* en la región Sierra Sur, Oaxaca, México. *Colombia Forestal*, 19(1), 79–93. doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a06
- Ortíz, L., Tejada, A., Vázquez, A., & Piñeiro, G. (2004). Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria. Parte III Producción de elementos densificados. *Revista CIS-Madera*, 17–32. Retrieved from [http://www.unionsagrarias.org/archivos/docs/Aprovechameinto\\_Biomasa\\_I.pdf](http://www.unionsagrarias.org/archivos/docs/Aprovechameinto_Biomasa_I.pdf)
- Otto, A., & Wilde, V. (2001). Sesqui-, di-, and triterpenoids as chemosystematic markers in extant conifers—A review. *The Botanical Review*, 67(2), 141–238. doi: 10.1007/BF02858076
- Packer, L., Rimbach, G., & Virgili, F. (1999). Actividad antioxidante y propiedades biológicas de un extracto procyanidin ricos de pino (*Pinus maritima*) corteza, Pycnogenol. *Free Radical Biology and Medicine*, 27, 704–724. doi: 10.1016/S0891-5849(99)00090-8
- Palonen, H., Tjerneld, F., Zacchi, G., & Tenkanen, M. (2004). Adsorption of *Trichoderma reesei* CBH I and EG II and their catalytic domains on steam pretreated softwood and isolated lignin. *Journal of Biotechnology*, 7(1), 65–72. doi: 10.1016/j.jbiotec.2003.09.011
- Pedraza-Bucio, F. E., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2011). Extracto tánico de la madera de palo de Brasil. *Conciencia Tecnológica*, 42, 36–41. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94421442007>
- Perea, D. E. M., Guardia, M. M., Medina, H. H., & Hinestroza, L. I. (2013). Caracterización bromatológica de especies y subproductos vegetales en el trópico húmedo



- de Colombia. *Acta Agronómica*, 62(4), 326–332. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169930016007>
- Pérez, J. F., Barrera, R., & Ramírez, G. (2015). Integración de plantaciones forestales comerciales colombianas en conceptos de biorrefinería termoquímica: una revisión. *Colombia Forestal*, 18(2), 273–294. doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a07
- Pérez-Verdin, G., Navar-Chaidez, J. J., Grebner, D. L., & Soto-Álvarez, C. E. (2012). Disponibilidad y costo de la producción de biomasa forestal. *Forest Systems*, 21(3), 526–537. doi: 10.5424/fs/2012213-02636
- Pietarinen, S. P., Willfor, S. M., Vikström, F. A., & Holmbom, B. R. (2006). Aspen knots, a rich source of flavonoids. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 26, 245–258. doi: 10.1080/02773810601023487
- Pineda-Pineda, J., Sánchez del Castillo, F., Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A., & Moreno-Pérez, E. D. C. (2012). Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(1), 95–111. doi: 10.5154/r.rchsh.2012.18.007
- Raghavendra, M. P., Kumar, P. R., & Prakash, V. (2007). Mechanism of inhibition of rice bran lipase by polyphenols: A case study with chlorogenic acid and caffeic acid. *Journal of Food Science*, 72, 412–419. doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00488.x
- Ragon, K. W., Nicholas, D. D., & Schultz, T. P. (2008). Termite-resistant heartwood: The effect of the non-biocidal antioxidant properties of the extractives (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology*, 52(1), 47–54. Retrieved from <http://www.fwrc.msstate.edu/pubs/SociobiologyBHT.pdf>
- Raviv, M. (2011). The future of composts as ingredients of growing media. *ISHS Acta Horticulturae*, 891, 19–32. doi: 10.17660/ActaHortic.2011.891.1
- Reis, M. (1995). Evaluation of composted pine bark and carob pods as components for horticultural substrates. *ISHS Acta Horticulturae*, 401, 243–249. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.401.29
- Riveros, L., & Inga, L. (2015). Caracterización química de los extractos colorantes de siete especies forestales y del fijador natural, utilizado en 19 comunidades indígenas de Ucayali, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 4(1), 29–36. Retrieved from <http://ojs.ucp.edu.pe/index.php/cienciaamazonica/article/view/65/298>
- Rodríguez, M. C., & Rodríguez, S. A. (2011). Efecto de la administración de líquido ruminal fresco sobre algunos parámetros productivos en ovinos criollos. *Revista MVZ Córdoba*, 16(3), 2692–2700. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69322399006>
- Rosales-Castro, M., & González-Laredo, R. F. (2003). Comparación del contenido de compuestos fenólicos en la corteza de ocho especies de pino. *Madera y Bosques*, 9(2), 41–49. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61790204>
- Rosales-Castro, M., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Peralta-Cruz, J., & Karchesy, J. J. (2009). Evaluación química y capacidad antioxidante de extractos polifenólicos de cortezas de *Pinus cooperi*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* y *P. teocote*. *Madera y Bosques*, 15(3), 87–105. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci>
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Revista BioTecnología*, 16(2), 14–46. Retrieved from [http://www.smbb.com.mx/revista/Revista\\_2012\\_2/Saval\\_Residuosagroindustriales.pdf](http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2012_2/Saval_Residuosagroindustriales.pdf)
- Schell, D. J., Farmer, J., Newman, M., & McMillan, J. D. (2003). Dilute-sulfuric acid pretreatment of corn stover in pilot-scale reactor. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 105, 69–85. doi: 10.1385/ABAB:105:1-3:69
- Schultz, T. P., & Nicholas, D. D. (2000). Naturally durable heartwood: evidence for a proposed dual defensive function of the extractives. *Phytochemistry*, 54, 47–52. doi: 10.1016/S0031-9422(99)00622-6
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2008). Programa nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2009-2012. Retrieved from <http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/gestionresiduos/pnpgir.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). *Texto guía forestal*. México: Autor.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2014). *Anuario estadístico de la producción forestal 2013*. México: Autor. Retrieved from [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43389/anuario\\_2013.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43389/anuario_2013.pdf)
- Soto, G., & Núñez, M. (2008). Manufacturing pellets of charcoal, using sawdust of *Pinus radiata* (D. Don), as a binder material. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 10(2), 129–137. Retrieved from [http://www.scielo.cl/pdf/maderas/v10n2/art\\_05.pdf](http://www.scielo.cl/pdf/maderas/v10n2/art_05.pdf)
- Stefanova-Nalimova, M., Coronado-Izquierdo, M. F., & Rizo-Peña, S. G. (2005). Efecto in vitro de extractos de plantas sobre especies bacterianas del género *Xanthomonas*. *Fitosanidad*, 9(3), 49–51. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209116189009>
- Styles, D., Gibbons, J., Williams, A. P., Dauber, J., Stichnothe, H., Urban, B., ... Jones, D. L. (2015). Consequential life cycle assessment of biogas, biofuel and biomass energy options within an arable crop rotation. *GCB Bioenergy*, 7(6), 1305–1320. doi: 10.1111/gcbb.12246
- Tchehouali, A. D., Toukourou, C. A., Houanou, A. K., Adjovi, E., Foudjet, A., Vianou, A., & Gerard, D. (2015). Wood-cement composites using suitable mix of sawdust and fibres from veins of palm tree leaves. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 8(10), 550–557. doi: 10.5897/ajest2014.1755
- Thiffault, E., Béchar, A., Paré, D., & Allen, D. (2015). Recovery rate of harvest residues for bioenergy in boreal and temperate forests: A review. *WIREs Energy and Environment*, 4(5), 429–451. doi: 10.1002/wene.157

- Vargas-Canales, J. M., Castillo-González, A. M., Pineda-Pineda, J., Ramírez-Arias, J. A., & Avitia-García, E. (2014). Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(1), 71–88. doi: 10.5154/r.rchsh.2013.02.005
- Vargas-Muñoz, J. O. (2008). *Comportamiento de algunos extractos de la corteza de Pino Caribe (Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barret & Golfari) sobre el crecimiento de hongos xilófagos y su acción antioxidante*. Bolivia: FOMABO/ESFOR UMSS
- Vázquez, G., González-Álvarez, J., López-Suevos, F., & Antorrena, G. (2003). Effect of veneer side wettability on bonding quality of *Eucalyptus* plywoods prepared using a tannin-phenol-formaldehyde adhesive. *Bioresource Technology*, 87(3), 349–353. doi: 10.1016/S0960-8524(02)00230-4
- Vázquez, G., López-Suevos, F., González-Álvarez, J., & Antorrena, G. (2005). Adhesivos fenol-urea-formaldehído modificados con taninos para contrachapados de uso exterior. *Información Tecnológica*, 16(2), 41–46. Retrieved from [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642015000400002](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000400002)
- Vega-Nieva, D. J., Fernández Lorenzo, M., Ortiz-Torres, L., & Corral-Rivas, J. J. (2015). Caracterización bioenergética de los residuos de cosecha de las principales especies forestales del noroeste de España. *Información Tecnológica*, 26(4), 3–12. Retrieved from [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642015000400002](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000400002)
- Villaseñor, J. L., & Ortiz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 134–142. doi: 10.7550/rmb.31987
- Viñals-Verde, M., Bell-García, A., & Michelena-Álvarez, G., & Ramil-Mesa, M. (2012). Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 46(1), 7–16. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223123848002>
- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1, 56. doi: 10.1038/ncomms1053
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S., & Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea y peanut y soil chemical properties in south Sumatra, Indonesia. *Soil Science Plant Nutrition*, 52, 489–495. doi: 10.1111/j.1747-0765.2006.00065.x