



Potential areas for silvopastoral systems with pino lacio (*Pinus devoniana* Lind.) and introduced grasses (*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees or *Chloris gayana* Kunth) in Michoacan, Mexico.

Áreas potenciales para sistemas silvopastoriles con pino lacio (*Pinus devoniana* Lind.) y pastos introducidos (*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees ó *Chloris gayana* Kunth) en Michoacán, México.

Sáenz-Reyes, J. T.¹, Castillo-Quiroz, D.², Avila-Flores, D.Y.²,
Castillo Reyes, F.², Muñoz-Flores, H. J.¹, Rueda-Sánchez, A.³.

¹Campo Experimental Uruapan. INIFAP. Av. Latinoamericana No. 1110
Col. Revolución C.P. 60150. Uruapan, Michoacán; México.

²Campo Experimental Saltillo. INIFAP. Carretera Saltillo-Zacatecas km 8.5 No. 9515
Col. Hacienda de Buenavista C.P. 25315. Saltillo, Coahuila de Zaragoza; México.

³Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. INIFAP. Carretera Tepatlán-Lagos de Moreno,
km. 8 C.P. 47600, Tepatlán de Morelos, Jalisco; México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Sáenz-Reyes, J. T., Castillo-Quiroz, D., Avila-Flores, D.Y., Castillo Reyes, F., Muñoz-Flores, H. J., Rueda-Sánchez, A. (2019). Potential areas for silvopastoral systems with pino lacio (*Pinus devoniana* Lind.) and introduced grasses (*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees or *Chloris gayana* Kunth) in Michoacan, Mexico. *Revista Bio Ciencias* 6, e494. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e494>



ABSTRACT

In Michoacan, Mexico state, there are several causes of soil degradation and almost all of them of anthropic nature, which together affect 64.42 % of the land surface of the state. Several studies have shown that silvopastoral systems represent an agroforestry option that allows the production of assets such as meat, milk, and high quality wood, while at the same time contributing to maintaining the base of natural resources through the reduction of soil erosion, increase in carbon capture, recovery of biodiversity, diversification of production, reconversion of

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: April 23rd 2018..

Accepted/Aceptado: July 4th 2018.

Available on line/Publicado: ---

RESUMEN

Existen diversas causas de la degradación de suelos en el estado de Michoacán, casi todas de carácter antrópico, que en conjunto afectan el 64.42 % de la superficie del suelo del estado. Diversos estudios han mostrado que los Sistemas Silvopastoriles representan una opción agroforestal que permiten la producción de bienes como carne, leche y madera de alta calidad, además, contribuyen a mantener la base de los recursos naturales mediante la disminución de la erosión del suelo, aumento de la captura de carbono, recuperación de la biodiversidad, diversificación de la producción, la reconversión de ecosistemas con vocación forestal y el mejoramiento del comportamiento hidrológico de las cuencas a través de sistemas agroforestales o silvopastoriles. El presente estudio tuvo como objetivo determinar las áreas potenciales para el establecimiento de sistemas silvopastoriles con

*Corresponding Author:

Castillo-Quiroz, D., Campo Experimental Saltillo. INIFAP. Carretera Saltillo-Zacatecas km 8.5 No. 9515 Col. Hacienda de Buenavista C.P. 25315. Saltillo, Coahuila de Zaragoza; México.. E-mail.: castillo.david@inifap.gob.mx

ecosystems with forest vocation and improvement of the hydrological behavior of the basins through agroforestry or silvopastoral systems. The objective of this study was to determine the potential areas for the establishment of silvopastoral systems with *Pinus devoniana* Lind. and *Chloris gayana* Kunth or *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees in temperate climate of Michoacán, Mexico. For the determination of the potential areas, a Geographical Information System was used, considering as inputs the agroecological conditions of altitude, precipitation, temperature, soil type and slope. Potential areas were determined, amounting to a total of 226,417 hectares; which represents 13.77 % of the regions with temperate climate in the state of Michoacán, mainly in the localities of Hidalgo, Tuxpan, Zitácuaro, Salvador Escalante, Ario de Rosales, Tingambato, Uruapan, Tancítaro, Nuevo Parangaricutiro, Peribán and Los Reyes.

KEY WORDS

Potential Areas; Geographic Information System; silvopastoral systems; grass.

Introduction

The state of Michoacán has a total area of 5'893,103 ha, where 61 % (3,596,428 ha) present a forest use (forests, scrub, mesquite woodland, palm grove, jungles and mangroves) and the rest (38.8 %) is destined for temporary and irrigation agriculture, livestock, human settlements, bodies of water and material banks (COFOM, 2015).

Forest ecosystems in Michoacán present different degrees of environmental deterioration mainly due to anthropic factors, such as deforestation (28.5 %) and land use change (27.9 %). In this last one, the increase of the agricultural and livestock frontier has caused environmental imbalances, irreversible in some cases. In the year 2014, it was reported that nearly 1,138,897 ha of forest area in the state had some type of degradation, and 518,067 ha of his are assigned for livestock activities (COFOM, 2015).

The historical process of the anthropogenic activities evidences the agricultural and livestock frontier over the forestry. On the other hand, the productive alternatives are limited for the recovery of land with a forest vocation. A

Pinus devoniana Lind. y *Chloris gayana* Kunth o *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees en clima templado de Michoacán. Para la determinación de las áreas potenciales se utilizó un Sistema de Información Geográfica considerando como insumos las condiciones agroecológicas de altitud, precipitación, temperatura, tipo de suelo y pendiente. Se determinaron las áreas potenciales sumando un total de 226,417 hectáreas, que representa el 13.77 % de las regiones con clima templado en el estado de Michoacán, distribuidas principalmente en los municipios de Hidalgo, Tuxpan, Zitácuaro, Salvador Escalante, Ario de Rosales, Tingambato, Uruapan, Tancítaro, Nuevo Parangaricutiro, Peribán y Los Reyes.

PALABRAS CLAVE

Áreas Potenciales; Sistemas de Información Geográfica; Sistemas sivolpastoriles; pastos.

Introducción

El estado de Michoacán tiene una superficie total de 5,893,103 ha, donde el 61 % (3,596,428 ha) presentan un uso forestal (bosques, matorrales, mezquiales, palmares, selvas y manglares) y el resto (38.8 %) se destina para la agricultura de temporal y riego, ganadería, asentamientos humanos, cuerpos de agua y bancos de material (COFOM, 2015).

Los ecosistemas forestales en Michoacán se encuentran con diferentes grados de deterioro ambiental debido principalmente a factores antrópicos, tales como la deforestación (28.5 %) y el cambio de uso del suelo (27.9 %). Dentro de este último el aumento de la frontera agrícola y ganadera han provocado desequilibrios ambientales, en ciertos casos irreversibles. Para el año 2014, se reportó que 1,138,897 ha de superficie forestal en el estado presentaban algún tipo de degradación, de estas 518,067 ha son dedicadas para actividades ganaderas (COFOM, 2015).

Es evidente que a través del proceso histórico de las actividades antropogénicas se ha hecho más notorio el avance de la frontera agrícola y pecuaria sobre la forestal; por otro lado, son escasas las alternativas productivas para la recuperación de terrenos con vocación forestal. Una estrategia para contrarrestar la fragmentación y el deterioro ambiental de los ecosistemas forestales de clima templado frío en Michoacán, es la implementación de sistemas silvopastoriles. Diversos estudios han demostrado que bajo un buen manejo es posible incrementar la producción de

strategy to counteract the fragmentation and environmental deterioration of cold temperate forest ecosystems from Michoacán is the implementation of silvopastoral systems. Several studies have shown that under good management it is possible to increase the production of fodder crops such as native or introduced grasses and high quality timber (Alonso, 2011; Schroth, 1999). On the other hand, it is possible to recover forest use, reduce soil erosion, increase the capture of organic carbon and biodiversity, increase the productivity of traditional systems and improve the hydrological behavior of watersheds (Robinson, 2000; SAGARPA, 2009; Sáenz et al., 2010).

The State of Michoacán, due to its ecological, geological, physiographic and topographic characteristics, presents favorable conditions for the development of silvopastoral systems in temperate regions. These systems can incorporate components such as conifers such as *Pinus devoniana* Lind. found in the Red List of threatened species (Farjon, 2013) and can be associated with perennial forage crops such as introduced grasses such as *Chloris gayana* Kunth or *Eragrostis curvula* (Schard.) Nees, these can produce up to 4 times more forage than native grasses. The importance of the use of the wood of *P. devoniana* is destined to industry of sawmill, paper, piles, construction, cabinetry, furniture, plywood, sheet, stave, among others (Cornejo & Ibarra, 2008; Sáenz et al., 2012). These systems can be a productive alternative for the land reconversions with forest vocation and benefit for the local communities. However, in order to make the components of the silvopastoral system more efficient, it is necessary to delimit the areas with the best potential for the establishment of these species. The Geographic Information Systems (GIS) represent a tool to explain and help resolve the main problems such as deforestation and land use change. The results obtained for their implementation are basic for efficient decision making on the planning of land use for conservation, protection and/or restoration of degraded ecosystems. The Geographic Information systems have been used in studies of productive potential for the establishment of plantations in different ecosystems from arid and semi-arid, tropical and temperate forests (Meza, 2001; Meza, 2003; Sotelo et al., 2005; Chacón et al., 2010; Sáenz et al., 2010; Castillo et al., 2014; Muñoz et al., 2016a; Muñoz et al., 2016b).

The objective of this work was to determine potential areas to establish silvopastoral systems with *Pinus devoniana* Lind. in association and *Chloris gayana* Kunth or *Eragrostis curvula* (Schard.) Nees in temperate climate of Michoacán.

cultivos forrajeros como los pastos nativos o introducidos y de madera de alta calidad (Alonso, 2011; Schroth, 1999). Asimismo, se ha reportado que se puede recuperar el uso forestal, disminuir la erosión del suelo, aumentar la captura de carbono orgánico y la biodiversidad, aumentar la productividad de los sistemas tradicionales y mejorar el comportamiento hidrológico de las cuencas (Robinson, 2000; SAGARPA, 2009; Sáenz et al., 2010).

El Estado de Michoacán por sus características ecológicas, geológicas, fisiográficas, y topográficas, presenta condiciones favorables para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en regiones con clima templado. Estos sistemas pueden incorporar componentes como las coníferas como por ejemplo *Pinus devoniana* Lind. se encuentra en la Lista Roja de especies amenazadas (Farjon, 2013) asociadas a cultivos forrajeros perennes como pastos introducidos como *Chloris gayana* Kunth o *Eragrostis curvula* (Schard.) Nees, estos pueden llegar a producir hasta 4 veces más forraje que los pastos nativos. La importancia del aprovechamiento de la madera de *P. devoniana* está destinada a la industria del aserrío, papel, pilotes, construcción, ebanistería, muebles, triplay, chapa, duela, entre otros (Cornejo & Ibarra, 2008; Muñoz et al., 2012), dichos sistemas pueden ser una alternativa productiva de reconversión de terrenos con vocación forestal y de beneficio para las comunidades locales. Sin embargo, para eficientar los componentes del sistema silvopastoril, es necesario delimitar las áreas con el mejor potencial para el establecimiento de estas especies. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan una herramienta para explicar y hacer frente a los principales problemas como la deforestación y el cambio de uso del suelo; los resultados que se obtienen mediante su implementación son básicos para la toma de decisiones de una manera eficaz en la planeación del uso de suelo con fines de conservación, protección y/o restauración de ecosistemas degradados. Los sistemas de Información Geográfica han sido empleados en estudios de potencial productivo para el establecimiento de plantaciones en diferentes ecosistemas desde áridos y semiáridos, tropicales y bosques templados entre los que destacan los realizados por Meza, 2001; Meza, 2003; Sotelo et al., 2005; Chacón et al., 2010; Sáenz et al., 2010; Castillo et al., 2014; Muñoz et al., 2016a; Muñoz et al., 2016b.

El objetivo de este trabajo fue determinar áreas potenciales para establecer sistemas silvopastoriles con *Pinus devoniana* Lind. y *Chloris gayana* Kunth o *Eragrostis curvula* (Schard.) Nees en clima templado de Michoacán.

Material and Methods

Study area

The study area included regions with temperate climate (1,644,469 ha): Oriente, Centro, Meseta Purépecha and Sierra de Coalcomán, which represent 28 % of the total area (5,873,103 ha) of the state of Michoacán (Figure 1), located between 20° 23' 43" - 18° 09' 47" of Latitude North (LN) and 100° 04' 45" - 103° 44' 49" Latitude West (LO) with an extension of 59,864 km² and represents the 2.9 % of the country, adjoins to the North with the states of Guanajuato and Jalisco, to the Northwest with Querétaro, to the East with the State of Mexico, to the Southeast with Guerrero, to the South with the Pacific Ocean, to the West with Colima and the South part of Jalisco; and is made up of 113 municipalities (INEGI, 2012; COFOM, 2015).

In Michoacán the climates are strongly distributed according to the altimetry contrasts of the relief and presents the following climatic types: A (w), warm subhumid; A (C) (m), semi-warm humid; A (C) (w), semi-warm subhumid; C (m), temperate humid; C (w) = temperate subhumid; C (E) (m), semi-cool humid; and BS1 (h), dry and semi-dry, very warm and warm, according to (García, 1981). The monthly mean temperatures fluctuate from 13 to 29 °C; the highest temperatures occur in the regions of the Coast and Tierra Caliente, particularly in the areas with lowest altitude,

Material y Métodos

Área de estudio

El área de estudio comprende las regiones con clima templado (1,644,469 ha): Oriente, Centro, Meseta Purépecha y Sierra de Coalcomán, que representan el 28 % de la superficie (5,873,103 ha) del estado de Michoacán (Figura 1), localizado entre 20° 23' 43"- 18° 09' 47" de Latitud Norte (LN) y 100° 04' 45"-103° 44' 49" Latitud Oeste (LO) con una extensión de 59,864 km² y representa el 2.9 % del país, colinda al norte con los estados de Guanajuato y Jalisco, al noroeste con Querétaro, al este con el Estado de México, al sureste con Guerrero, al sur con el Océano Pacífico, al Oeste con Colima y la parte Sur de Jalisco; y está conformado por 113 municipios (INEGI, 2012; COFOM, 2015).

La distribución de los climas en el Estado de Michoacán está fuertemente relacionada a los contrastes altimétricos del relieve y presenta los siguientes tipos climáticos: A (w)= Cálido subhúmedo, A (C) (m)= Semicálido húmedo, A (C) (w)= Semicálido subhúmedo, C (m)= Templado húmedo, C (w)= Templado subhúmedo, C (E) (m)= Semifrío húmedo y BS1 (h)= Seco y semiseco muy cálido y cálido, según (García, 1981). Las temperaturas promedio mensuales fluctúan de 13 a 29 °C; las más elevadas se registran en las regiones de la Costa y Tierra Caliente, particularmente

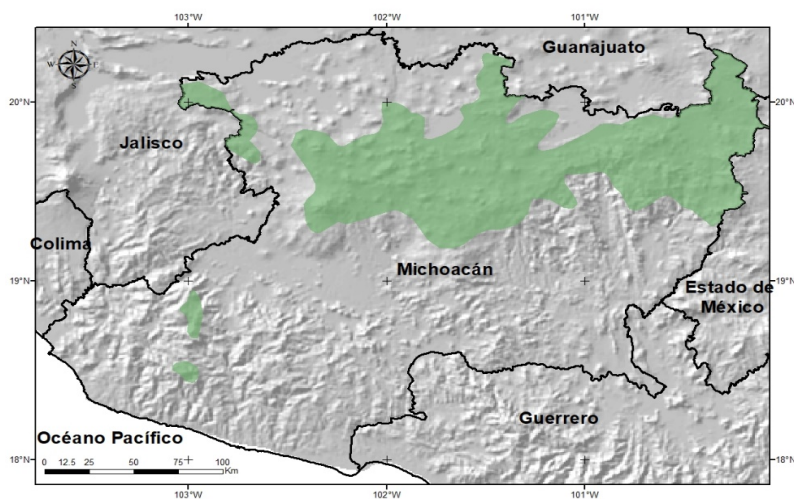


Figure 1. Location of temperate zones in the state of Michoacán, Mexico.

Source: Own elaboration.

Figura 1. Ubicación de las zonas templadas en el estado de Michoacán, México.

Fuente: Elaboración propia.

where the mean annual values are near to 30 °C, the lowest temperatures are recorded in the mountain areas; the maximum extreme temperatures range from 27 to 48 °C and extreme minimums from -7 to 18 °C. The precipitation varies from 600 to 1,600 mm per year (INAFED, 2013, COFOM, 2015).

Silvopastoral components

Forestry component

Pinus devoniana Lind. Pinaceae (Tropicos, 2018) commonly known as "Pino lacio," is a native tree species from Mexico and Central America; its distribution area extends from central Guatemala to northern Mexico. In Mexico, this species has been reported in the states of Chiapas, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Jalisco, Zacatecas, Mexico state, Durango, Guerrero, Hidalgo, Puebla, Morelos, Nuevo Leon, Veracruz and Guanajuato. In Michoacán, *P. devoniana* is distributed in the Eastern, Southwestern and Central regions. These regions have an average annual precipitation between 650 to 1,600 mm, but their best station quality is between 900 to 1,200 mm and temperatures between -8 to 45 °C and an average of 17.8 °C (Sánchez, 2008). Generally, it is located at altitudes between 1,500-2,400 masl, although its highest development reaches it between 1,800 to 2,000 masl; however, its altitudinal limits are usual between 1,075 and 3,000 m (Perry, 1992). In relation to the production of wood, increases by 3 to 10 m³ ha⁻¹ per year are reported, so that, in a period of 20-25 years, it could be expected at least 350 m³ ha⁻¹ (PRODEFO, 2001; SEMARNAT, 2005; Sánchez, 2008), this production is destined for the sawmill industry, paper and among others (Cornejo & Ibarra, 2008; Muñoz et al., 2012).

Forage components

1.- *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees, Poaceae (Tropicos, 2018) colloquially known as weeping lovegrass, is a perennial species introduced in Mexico, whose origin is South Africa; in Mexico, weeping lovegrass is reported in the states of Chihuahua, Coahuila, Mexico City, Durango, Guanajuato, Michoacán, Nuevo León, Querétaro, Sonora and Tlaxcala (Valdés, 2015); it is characterized for being resistant to drought, it grows mainly in spring-summer and responds quickly to rainfall after a deficiency of prolonged rain, with great potential to recover and increase forage productivity, mainly in degraded areas; It adapts easily to soils with a sandy-loam and clay-loam texture with pH

en las porciones de menor altitud en donde los valores promedio anuales alcanzan extremos cercanos a los 30 °C y las temperaturas más bajas se registran en las zonas de montaña; las temperaturas máximas extremas oscilan de 27 a 48 °C y las mínimas extremas de -7 a 18 °C. La precipitación varía de 600 a 1,600 mm anuales (INAFED, 2013; COFOM, 2015).

Componentes silvopastoriles

Componente forestal

Pinus devoniana Lind. Pinaceae (Tropicos, 2018) cuyo nombre común es pino lacio, es una especie arbórea nativa de México y Centroamérica; su área de distribución abarca desde Guatemala central hasta el Norte de México. En México se ha reportado en los estados de Chiapas, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Jalisco, Zacatecas, Edo. de México, Durango, Guerrero, Hidalgo, Puebla, Morelos, Nuevo León, Veracruz y Guanajuato. En Michoacán *P. devoniana* se distribuye en las regiones Oriental, Suroccidental y Centro. Estas regiones presentan una precipitación promedio anual entre 650 a 1,600 mm, pero su mejor calidad de estación se ubica entre 900 a 1,200 mm y temperaturas entre -8 a 45 °C con un promedio de 17.8 °C (Sánchez, 2008). Generalmente, se ubica en altitudes entre los 1,500-2,400 masl, aunque su mayor desarrollo lo alcanza entre los 1,800 a 2,000 masl; sin embargo, sus límites altitudinales se fijan entre los 1,075 a 3,000 m (Perry, 1992). En relación a la producción de madera, se reportan incrementos de 3 hasta 10 m³ ha⁻¹ año, por lo que, en un turno de 20-25 años podría esperarse por lo menos 350 m³ ha⁻¹ (PRODEFO, 2001; SEMARNAT, 2005; Sánchez, 2008), dicha producción destinada para la industria del aserrío, papel entre otros (Cornejo & Ibarra, 2008; Muñoz et al., 2012).

Componentes forrajeros

1.- *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees, Poaceae (Tropicos, 2018) conocido coloquialmente como Pasto llorón, es una especie perenne introducida en México, cuyo origen es Sudáfrica; en México está reportada en los estados de Chihuahua, Coahuila, Ciudad de México, Durango, Guanajuato, Michoacán, Nuevo León, Querétaro, Sonora y Tlaxcala (Valdés, 2015); se caracteriza por ser resistente a la sequía, crece principalmente en primavera-verano y responde rápidamente a las precipitaciones después de una escasez de lluvia prolongada, con gran potencial para recuperar e incrementar la productividad

between 6 and 8, with good drainage. It is estimated that it can produce up to 4 times more forage than native grasses, that is, from 2.8 to 3.5 t ha⁻¹ of dry matter, compared to 0.8 t that can be produced by a pasture of *Bouteloua gracilis* (Kunth) Lag. ex Steud in good condition. In terms of forage value, the crude protein content is up to 15 % in the spring-summer cycle, although it decreases to less than 5 % in winter (Esqueda & Carrillo, 2012; CONABIO, 2017).

2.- *Chloris gayana* Kunth. Poaceae (Tropicos, 2018) which is commonly known as Rhodes grass, is an introduced grass, native from Africa, there are distribution records in North, Central and South America, including the Caribbean. In Mexico, it is distributed in 22 states including Michoacán. This species is distributed in a wide range of climates ranging from subtropical to temperate, as well as light to heavy soils, at altitudes between 1,000 to 2,200 masl, average annual temperature of 18 to 25 °C and annual rainfall of 500 to 1,500 mm. However, it can grow in areas with annual rainfalls between 600 and 850 mm (Medina *et al.*, 2001; Velázquez *et al.*, 2001; Oprandi *et al.*, 2009; Vibrans, 2009). *C. gayana* is a grass that allows direct grazing and in addition, can be reserve in the winter and/or stored as good quality hay when the cut is made prior to flowering. This species is an alternative for forage production in rainfed crops, in the soils rehabilitation due its favors the formation of aggregates and increases the content of organic matter in tepetates soil (Velázquez *et al.*, 2001). In Michoacán, dry matter yields between 5 and 15-ton ha⁻¹ are reported (Jiménez, 2001).

Determination of potential areas

The research was developed in the years 2012 and 2013 for the determination of potential areas for the establishment of silvopastoral systems in the temperate climate of Michoacán. The variables and ranges of forest component (*Pinus devoniana* Lind.) and the forage component (*Chloris gayana* Kunth. or *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees) was defined based on the literature search of the agroecological requirements of the two components (Medina *et al.*, 2001; Velázquez *et al.*, 2001; Aguilar *et al.*, 2005; SEMARNAP, 2006; Sánchez, 2008; Oprandi *et al.*, 2009; Vibrans, 2009; Sáenz *et al.*, 2010; Debreczy *et al.*, 2011), these were: altitude, precipitation, temperature, type of soil and slope (Table 1).

forrajera, principalmente en áreas degradadas; se adapta fácilmente a suelos de textura franco-arenosa y franco-arcillosa con pH entre 6 y 8, con buen drenaje. Se estima que puede llegar a producir hasta 4 veces más forraje que los pastos nativos, es decir, desde 2.8 hasta 3.5 t ha⁻¹ de materia seca, en comparación con 0.8 t que puede producir un pastizal de *Bouteloua gracilis* (Kunth.) Lag. ex Steud en buenas condiciones. En cuanto a su valor forrajero, el contenido de proteína cruda es de hasta 15 % en el ciclo primavera-verano, aunque disminuye a menos del 5 % en invierno (Esqueda & Carrillo, 2012; CONABIO, 2017).

2.- *Chloris gayana* Kunth. Poaceae (Tropicos, 2018) cuyo nombre común es zacate rhodes, es un pasto introducido, nativo de Africa, se tienen registros en el Norte, Centro y Sudamérica, incluyendo el Caribe; en México, se distribuye en 22 estados incluyendo Michoacán. Esta especie se distribuye en una amplia gama de climas que van desde los subtropicales hasta los templados, así como suelos con textura ligera a pesada, en altitudes de 1,000 a 2,200 masl, temperatura promedio anual de 18 a 25 °C y precipitación anual de 500 a 1,500 mm, sin embargo, se puede cultivar en zonas con precipitaciones entre 600 y 850 mm anuales (Medina *et al.*, 2001; Velázquez *et al.*, 2001; Oprandi *et al.*, 2009; Vibrans, 2009). Es una gramínea que permite realizar pastoreo directo, como reserva en el invierno y/o almacenado como heno de buena calidad cuando se efectúa el corte previo a la floración. Esta especie es una alternativa para producción de forraje en siembras de temporal, en la rehabilitación de suelos dado que favorece la formación de agregados y aumenta el contenido de materia orgánica en tepetates (Velázquez *et al.*, 2001). En Michoacán se reportan rendimientos en materia seca entre 5 y 15 ton ha⁻¹ (Jiménez, 2001).

Determinación de áreas potenciales.

El trabajo se desarrolló en el año de 2012 y 2013 y para para la determinación de las áreas potenciales para establecimiento de sistemas silvopastoriles en clima templado de Michoacán, se definieron las variables y los rangos para el componente forestal (*Pinus devoniana* Lind.) y el componente forrajero (*Chloris gayana* Kunth. o *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees) en base a la búsqueda en la literatura de los requerimientos agroecológicos de los dos componentes (Medina *et al.*, 2001; Velázquez *et al.*, 2001; Aguilar *et al.*, 2005; SEMARNAT, 2006; Sánchez, 2008; Oprandi *et al.*, 2009; Vibrans, 2009; Sáenz *et al.*, 2010; Debreczy *et al.*, 2011), estos fueron: altitud, precipitación, temperatura, tipo de suelo y pendiente (Tabla 1).

Para la determinación de las áreas potenciales para el sistema silvopastoril con *P. devoniana* y *C. gayana* o *E. curvula*, se utilizó el programa IDRISI 32 ver. 2.0 (Eastman, 1999), que es un

Table 1.
Agroecological requirements to determine the potential areas of silvopastoral system components in the state of Michoacan, Mexico.

Tabla 1.
Requerimientos agroecológicos de los componentes de sistemas silvopastoriles para determinar las áreas potenciales en el estado de Michoacán, México.

Forest component	Forage Component	Altitude (masl)	Precipitation (mm)	Annual Media Temperature (°C)	Soil Class	Slope (%)
<i>Pinus devoniana</i>	<i>Chloris gayana</i> o <i>Eragrostis curvula</i>	1,500-2,400	800-1,500	12-21	Andosol and Luvisol	10-20

In the determination of the potential areas for the silvopastoral system with *P. devoniana* and *C. gayana* or *E. curvula*, the program IDRISI 32 ver. 2.0 (Eastman, 1999) was used, which is a software that works with Geographic Information Systems (GIS), as well as the digital cartographic and climatic information generated by the National Institute of Agricultural and Livestock Forestry Research (INIFAP).

The RECLASS command was used for reclassifying the altitude, precipitation, average annual temperature, slope and soil type maps from the state of Michoacán, the areas that did not meet the characteristics required for the species were discarded but not those that did. To this end, a stratification system of the potential areas was designed, which was based on the following categories or levels of aptitude: Not suitable = 0, includes areas that do not have optimal conditions for the development and growth of the species under study, and areas apt = 1, includes the areas that guarantee the adaptation of the species, by presenting favorable conditions for its development. These covers individually contain the interval of each variable associated with the distribution of the species under study. The images obtained were superimposed by the OVERLAY command, thus obtaining the potential areas for the species. Through the AREA command, the surface of these areas was calculated. Once the images of the potential areas were obtained in RASTER format with the (GIS) IDRISI 32, the REFORMAT command was used to convert the image to vector, later each image was exported to shapefile format to work in GIS ArcView version 3.2 (ESRI, 1999) where images in 1: 100,000 and 1: 250,000 scale were obtained.

software que trabaja con Sistemas de Información Geográfica (GIS), así como la información cartográfica y climática digital generada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Mediante la reclasificación de los mapas de altitud, precipitación, temperatura media anual, pendiente y tipo de suelo del estado de Michoacán, con el comando RECLASS, se descartaron las áreas que no reunieron las características requeridas para la especie y se dejaron solo aquellas que sí las tuvieron. Para ello se diseñó un sistema de estratificación de las áreas potenciales, el cual se basó en las siguientes categorías o niveles de aptitud: No apto=0, comprende áreas que no presentan condiciones óptimas para el desarrollo y crecimiento de la especie en estudio y áreas aptas=1, comprende las áreas que garantizan la adaptación de la especie, al presentar condiciones propicias para su desarrollo. Estas cubiertas contienen en forma individual el intervalo de cada variable asociada a la distribución de la especie en estudio. Las imágenes obtenidas se sobrepusieron mediante el comando OVERLAY, obteniendo así las áreas potenciales para la especie. A través del comando AREA se calculó la superficie de dichas áreas. Obtenidas las imágenes de las áreas potenciales en formato RASTER con el (GIS) IDRISI 32, se utilizó el comando REFORMAT para convertir la imagen a vector, posteriormente se exportó cada imagen a formato shapefile para trabajarla en SIG ArcView versión 3.2 (ESRI, 1999) con el cual se obtuvieron imágenes escala 1: 100,000 y 1: 250,000.

Resultados y Discusión

El análisis para la determinación del potencial productivo para los dos componentes de *P. devoniana* y *C.*

Results and Discussion

The analysis for determining the productive potential for the two components of *P. devoniana* and *C. gayana* or *E. curvula* for the state of Michoacán according to the methodology used and based on the agroecological requirements of altitude, precipitation, average annual temperature, type of soil, and slope of each one of the components that would integrate the silvopastoral system, indicate that for the state of Michoacán it can be implemented in a total of 226,417 ha (Table 2). This surface is susceptible for a productive reconversion due to its

gayana o *E. curvula* para el estado de Michoacán acorde a la metodología utilizada y en base a los requerimientos agroecológicos de altitud, precipitación, temperatura promedio anual, tipo de suelo, y pendiente de cada uno de los componentes que integrarían el sistema silvopastoril, indican que para el estado de Michoacán se puede implementar en un total de 226,417 ha (Tabla 2). Esta superficie es susceptible para una reconversión productiva por su vocación forestal y forrajera, en clima templado en el estado de Michoacán (Figura 2).

En la Figura 2, se muestran los sitios con aptitud apropiada para establecer el sistema silvopastoril *Pinus devoniana*

Table 2.
Potential area and localities for the establishment of silvopastoral systems with
Pinus devoniana Lind. and *Chloris gayana* (Schrud.) Nees or *Eragrostis curvula* Kunth.
in areas of temperate climate of Michoacán, México.
Tabla 2.
Superficie potencial y principales municipios para establecimiento de sistemas
silvopastoriles con *Pinus devoniana* Lind. y *Chloris gayana* (Schrud.) Nees o *Eragrostis curvula*
Kunth. en clima templado de Michoacán, México.

Silvopastoral systems components	Potential area (ha)	Municipalities
<i>Pinus devoniana</i> Lind. y <i>Eragrostis curvula</i> Kunth. o <i>Chloris gayana</i> (Schrud.) Nees	226,417	Hidalgo, Tuxpan, Zitácuaro, Salvador Escalante, Ario de Rosales, Tingambato, Uruapan, Tancitaro, Nuevo Parangaricutiro, Peribán y Los Reyes.

forestry and forage vocation, in a temperate climate in the state of Michoacan (Figure 2).

In Figure 2, the sites with appropriate aptitude to establish the silvopastoral system *Pinus devoniana* Lind and *Eragrostis curves* Kunth. or *Chloris gayana* (Schrud) Nees are shown. The establishment of these systems could be used in the short term for livestock, medium and long term for the use of forest products such as firewood, andirons, cellulosic and wood, including livestock grazing.

The identification of proposed potential areas with the silvopastoral system was made taking into account the agroecological characteristics of each of the species involved; so the types of andosol and luvisol soils are suitable for the development of both the forest component and the forage components, under the design of alley cropping.

Lind. y *Eragrostis curvula* Kunth. o *Chloris gayana* (Schrud.) Nees. El establecimiento de estos sistemas se podría utilizar en el corto plazo para la ganadería, a mediano y largo plazo para el aprovechamiento de productos forestales como leña, morillos, celulósicos y madera, incluyendo el pastoreo de ganado.

La identificación de las zonas con potencial para el sistema silvopastoril propuesto, fue realizado tomando en cuenta las características agroecológicas de cada una de las especies involucradas; por lo que los tipos de suelos andosol y luvisol son los adecuados para el desarrollo tanto del componente forestal como de los componentes forrajeros, bajo el diseño de cultivos en callejones.

Schroth (1999) plantea que los sistemas de raíces de plantas asociadas interactúan en diferentes vías que

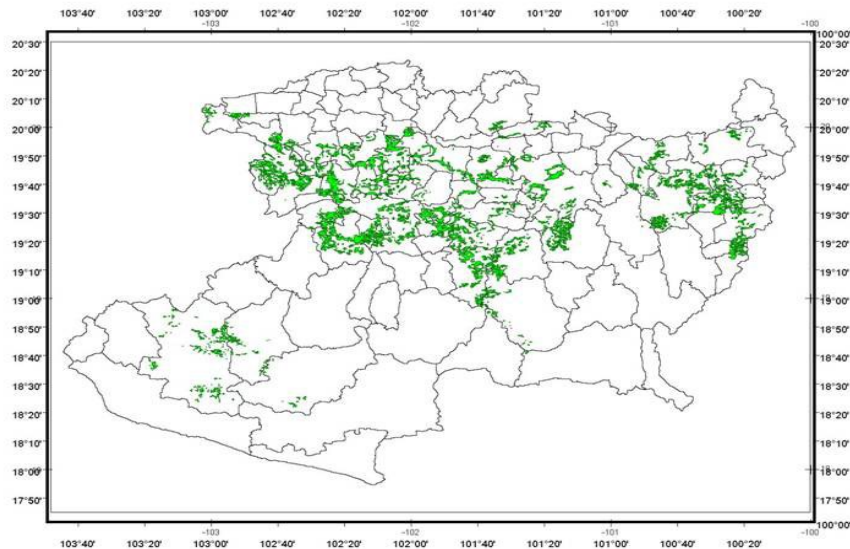


Figure 2. Potential area for establishment of the silvopastoral system with *Pinus devoniana* Lind. and *Eragrostis curvula* Kunth. or *Chloris gayana* (Schrad.) Nees, in areas of temperate climate of Michoacán, Mexico.
Source: Own elaboration with INIFAP database.

Figura 2. Superficie potencial para establecimiento del sistema silvopastoril con *Pinus devoniana* Lind. y *Chloris gayana* (Schrad.) Nees o *Eragrostis curvula* Kunth. en clima templado en el estado de Michoacán, México.
Fuente: Elaboración propia con base de datos INIFAP.

Schroth (1999) states that the root systems of associated plants interact in different ways, ranging from severe competition to complementation and facilitation. Even, when competition occurs, it is not necessarily negative for root systems, since the total nutrients and water use may increase; as cited by Eastman *et al.* (1990) which comments, this can be positive since with an increase of tree density, the use of groundwater increased and the absorption of nutrients in a silvopastoral system in Australia may increase as well.

Based on the above and the characteristics of soil types of andosol (rich in minerals, excellent structure and high fertility) and luvisol (fertile, rich in bases and with a marked textural differentiation). In addition, the differentiation in growth of the root systems of the silvopastoral system components, where *Pinus* species have pivoting root, with a development between 2.30 and 3.9 m of depth, while the roots of the pastures are at a lower depth, in a range of 1.40 a 2.6 m (Canadell *et al.*, 1996), there is the possibility of a slight competition among roots for the space and nutrients in the arboreal and grass component.

varían desde la competencia severa, a través de la complementación y llegando hasta la facilitación. Incluso, cuando la competencia ocurre, no necesariamente es negativa para los sistemas de raíces, ya que los nutrientes totales y el uso de agua pueden incrementar; tal como lo cita Eastham *et al.*, (1990) que puede ser positiva, ya que con un aumento de la densidad de árboles, incrementó el uso del agua del subsuelo y puede aumentar la absorción de los nutrientes en un sistema silvopastoril en Australia.

En base a lo anterior y por las características de los tipos de suelos andosol (ricos en minerales, excelente estructura y alta fertilidad) y luvisol (fértil, ricos en bases y con una marcada diferenciación textural), además de la diferenciación de crecimiento de los sistemas radiculares de los componentes del sistema silvopastoril, donde en especies del género *Pinus* la raíz es pivotante, con un desarrollo entre 2.30 a 3.9 m de profundidad, en tanto las raíces de los pastos se encuentran a menor profundidad, en un rango de 1.40 a 2.6 m (Canadell *et al.*, 1996), por lo que existe la posibilidad de una competencia leve entre raíces por el espacio y nutrientes de los componentes arbóreo y las gramíneas.

These areas with potential for the establishment of silvopastoral systems coincide with the results obtained by Sáenz *et al.* (2007) in the determination of potential areas for silvopastoral systems in Michoacán with *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus michoacana* var. *cornuta* Martínez, *Pinus montezumae* Gordon & Glend. and *Pinus lawsonii* Roehl ex Gordon with forage species in the Cuitzeo Lake Basin; also, with Chacón *et al.* (2010), who generated thematic maps that represent a tool for decision making in the management, use and exploitation of natural forest resources in the arid and semi-arid zones of southern Chihuahua.

This methodology (GIS) is of great importance, because it helps to identify the sites with the best capacity for establishment and development of the species, as shown by our results and other works by Sáenz *et al.* (2000) and Rueda *et al.* (2007), who used the same variables used in this research, and generated maps with potential areas for the establishment of forest plantations for Michoacán and Jalisco states using tree species from tropical and cold climate ecosystems. Likewise, this results coincide with the ones obtained by Meza (2001) and Meza (2003) who determined the potential areas for plantations of *Azadirachta indica* A. Juss and *Turnera diffusa* Willd. in Baja California Sur; and with the study conducted by Sotelo *et al.* (2005) who defined the areas with the environmental requirements for the cultivation of *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose for the south of the State of Mexico. Similarly, with Islas *et al.* (2005) in the determination of the potential distribution for edible wild mushroom species such as *Russula lutea* (Huds.) Gray, *Morchella esculenta* L. Sowerby, among others, in coniferous forests of the state of Oaxaca. In addition, it constitutes the basis for the planning of programs and decision making for the establishment of silvopastoral systems in temperate climates in the state of Michoacan.

The silvopastoral systems integrated by *Pinus devoniana* Lind. and *Eragrostis curves* Kunth. or *Chloris gayana* (Schrad.) Nees have been established in Pátzcuaro and Cuitzeo Lake Basins, in the "El Calabozo" microbasin and the eastern region of the state of Michoacán. This places are characterized by presented a temperate climate with precipitation between 800 to 1,200 mm and a temperature of 12 to 18 °C, soils andosol and luvisol type with slopes of 5 to 20 % and 1,800 to 2,400 meters above sea level (Sáenz *et al.*, 2010; Sáenz *et al.*, 2011; Sáenz *et al.*, 2013); these systems have been established with the design of alley

Estas áreas con potencial para establecimiento de sistemas silvopastoriles coincide con los resultados obtenidos por Sáenz *et al.*, (2007) en la determinación de áreas potenciales para sistemas silvopastoriles en Michoacán con *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus michoacana* var. *cornuta* Martínez, *Pinus montezumae* Gordon & Glend. y *Pinus lawsonii* Roehl ex Gordon; y con especies forrajeras en la Cuenca del Lago de Cuitzeo. Asimismo, coincide con Chacón *et al.* (2010), quienes generaron mapas temáticos que representan una herramienta para la toma de decisiones en el manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales forestales en las zonas áridas y semiáridas del sur de Chihuahua.

Esta metodología (GIS) es de gran importancia, ya que ayuda a identificar los sitios con la mejor capacidad de establecimiento y desarrollo de las especies, tal como lo muestran nuestros resultados y de otros trabajos realizados por Sáenz *et al.*, (2000) y Rueda *et al.*, (2007), quienes utilizaron las mismas variables utilizadas en esta investigación, generaron mapas con las áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones forestales con especies arbóreas de ecosistemas de clima frío y del trópico para los estados de Michoacán y Jalisco. Así mismo, coinciden con Meza (2001) y Meza (2003) quienes determinaron las áreas potenciales para plantaciones de *Azadirachta indica* A. Juss y *Turnera diffusa* Willd. en Baja California Sur; y con el estudio realizado por Sotelo *et al.* (2005) quienes definieron las áreas que reúnen los requerimientos ambientales para el cultivo de *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose para el sur del Estado de México. De igual forma, Islas *et al.* (2005) determinaron la distribución potencial para las especies de hongos silvestres comestibles como *Russula lutea* (Huds.) Gray, *Morchella esculenta* L. Sowerby, entre otras, en bosques de coníferas del estado de Oaxaca. Además, constituye la base para la planeación de programas y toma de decisiones para establecimiento de sistemas silvopastoriles en clima templado en el estado de Michoacán.

Los sistemas silvopastoriles con *Pinus devoniana* Lind. y *Eragrostis curvula* Kunth. o *Chloris gayana* (Schrad.) Nees se han establecido en las Cuencas de los Lagos de Pátzcuaro y Cuitzeo, Microcuenca "El Calabozo" y región Oriente del estado de Michoacán, en clima templado con precipitación de 800 a 1,200 mm y temperatura de 12 a 18 °C, suelos de tipo andosol y luvisol con pendientes del 5 al 20 % y de 1,800 a 2,400 masl (Sáenz *et al.*, 2010, Sáenz *et al.*, 2011; Sáenz *et al.*, 2013); se han establecido con el diseño de cultivos en callejones y plantación forestal con densidades de 625 y 1,250 árboles ha⁻¹. El componente forrajero C.

cropping and forest plantation with densities of 625 and 1,250 trees ha⁻¹. For the forage component of *C. gayana* or *E. curvula*, 4 and 6 kg per ha of seed are required and a fertilization dose of 40-46-00 and 32-23-00 is applied at the time of planting and each year at the beginning of the rainy season, respectively. In both pastures, after each cut or livestock grazing, a fertilization dose of 46-00-00 should be applied. In this silvopastoral system, the use of grasses begins on average 90 days after sowing and is possible to maintain 4 to 6 cattle units/ ha / year or 40 to 60 of smaller livestock, during the period of rain, while the forest component continues in development; this animal load decreases from 2 to 3 units' animal ha, as the trees is growing, until reaching an age greater than 10 years, due to competition for space and light (Sáenz et al., 2010; Sáenz et al., 2011).

The establishment of silvopastoral systems, will help in the productive reconversion of soils with forest aptitude, diversification of production, increase in productivity, generation of economic resources in the short and medium term by forage crops and livestock production, for the direct benefit of the inhabitants from the rural area; In addition, the prairie establishments with any of the two forage components, will contribute ecological benefits, such as: reduction of surface runoff, the increase of infiltration to the soil, and in consequence the reduction of soil erosion and the risk of flooding downstream (Park et al., 2017). In addition, the SIG constitutes the basis for the planning of programs and decision making for the establishment of silvopastoral systems in temperate climates in the state of Michoacán.

Conclusions

The potential surface for establishment of the silvopastoral system with *Pinus devoniana* Lind. in associated with *Chloris gayana* (Schrad.) Nees or *Eragrostis curvula* Kunth. in the state of Michoacán is near 226,417 ha, and integrates in the municipalities of Hidalgo, Tuxpan, Zitácuaro, Salvador Escalante, Ario de Rosales, Tingambato, Uruapan, Tancítaro, Nuevo Parangaricutiro, Peribán and Los Reyes.

This area of 226,417 ha with capacity for silvopastoral establishment, represents 13.77 % from temperate climate areas and 43 % from area total allocated to livestock grazing in the forest areas, and 19.8 % from total forest

gayana o *E. curvula*, para la siembra se requieren de 4 y 6 kg de semilla ha⁻¹, aplicando una dosis de fertilización 40-46-00 y 32-23-00 al momento de la siembra y cada año al inicio de la temporada de lluvias, respectivamente. En ambos pastos, después de cada corte o consumo directo del ganado, se debe aplicar una dosis de fertilización de 46-00-00. En este sistema silvopastoril, la utilización de los pastos inicia en promedio a los 90 días después de la siembra y es posible mantener de 4 a 6 unidades animal ha⁻¹/año de ganado vacuno o 40 a 60 de ganado menor, durante el periodo de lluvias, en tanto continúa el desarrollo del componente forestal; esta carga animal disminuye de 2 a 3 unidades animal ha⁻¹/año, conforme va creciendo el arbolado, hasta alcanzar una edad mayor de 10 años, debido a la competencia por espacio y luz (Sáenz et al., 2010; Sáenz et al., 2011).

El establecimiento de sistemas silvopastoriles, repercutirá en la reconversión productiva de suelos con aptitud forestal, diversificación de la producción, aumento en la productividad, generación de recursos económicos a corto y mediano plazo por los cultivos forrajeros y producción ganadera, en beneficio directo de los pobladores del área rural; además, con el establecimientos de praderas de los dos componentes forrajeros, traerá beneficios ecológicos, como la reducción de los escurrimientos superficiales, el incremento de la infiltración al suelo, y como consecuencia la reducción de la erosión del suelo y el riesgo de inundación aguas abajo (Park et al., 2017). Además, constituye la base para la planeación de programas y toma de decisiones para establecimiento de sistemas silvopastoriles en clima templado en el estado de Michoacán.

Conclusiones

La superficie potencial para establecimiento del sistema silvopastoril con *Pinus devoniana* Lind. asociado con *Chloris gayana* (Schrad.) Nees o *Eragrostis curvula* Kunth. en el estado de Michoacán es de 226,417 ha, con mayor extensión en los municipios de Hidalgo, Tuxpan, Zitácuaro, Salvador Escalante, Ario de Rosales, Tingambato, Uruapan, Tancítaro, Nuevo Parangaricutiro, Peribán y Los Reyes.

La determinación total de ha (226,417) con capacidad de establecimiento silvopastoril representa el 13.77 % de las zonas con clima templado, un 43 % del total de las ha destinadas a la ganadería en zonas forestales y 19.8 %

area with problems of ambiental deterioration in Michoacán state. Given this consideration, it is required that new silvopastoral or agroforestry systems components be explored, in order to reconvert the more than one million hectares with problems of deterioration in this State.

de la superficie total forestal con problemas de deterioro en Michoacán. Ante esta consideración, se requiere que se exploren nuevos componentes de sistemas silvopastoriles o agroforestales, para reconvertir las más de un millón de hectáreas con problemas de deterioro en este Estado.

Referencias

- Aguilar, A., S., C. Sáenz R., M. A. Silva F., S. Madrigal S. and S. I. Lara C. (2005). Distribución altitudinal y variación morfológica de *Pinus devoniana* Lindley (*Pinus michoacana* Martínez) en Michoacán. I. Análisis univariado. In: Memoria de Resúmenes del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. CONAFOR. Fundación Produce Chihuahua. Fideicomiso Chihuahua Forestal. FIRA. CONAZA. INIFAP. SEMARNAT. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Chihuahua. Chihuahua. Chih. México. p. 320-321.
- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2): 107-115. <http://www.redalyc.org/html/1930/193022245001/>
- Canadell J., Jackson R.B., Ehleringer J.R., Mooney H.A., Sala O.E. and Schulze E.D. (1996). Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* 108: 583-595, <https://doi.org/10.1007/BF00329030>
- Castillo, Q. D., Martínez B.O.U., Ávila F.D.Y., Castillo R.F. and Sánchez Ch. J. D. (2014). Identification of Potential Areas for Establishment of Plantations of *Agave lechuguilla* Torr. in Coahuila, Mexico. *Open Journal of Forestry*, 4: 520-526. <http://doi.org/10.4236/ojf.2014.45056>
- Chacón, S. J. M., Escárzaga, L. J. L. and Viramontes, O. O. A. (2010). Sistema de Información Geográfica Forestal del semi-desierto sur del estado de Chihuahua. In: VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas Ecología, Manejo y Conservación. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. p. 186-196.
- COFOM (Comisión Forestal del Estado de Michoacán) (2015). Inventario Estatal Forestal y de Suelos Michoacán de Ocampo 2014. Morelia, Michoacán. México. 372 p.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2017). Poaceae = Gramineae. Zacate amor, llorón. *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees. (Last checked: February 2017).
- Cornejo, G. & G. Ibarra. (2008). Flora ilustrada de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México. 80(3): 441 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532009000300034
- Debreczy, Z., Musial K. and Racz I. (2011). The Apulco Ravine Pine, its morphology, taxonomy and relationships. *Studia Botanica Hungarica*, 42: 77-101. <http://publication.nhmus.hu/studbot/cikkreszletes.php?idhoz=4720>
- Eastman, J. R. (1999). IDRISI32 2.0: Guide to GIS and Image Processing. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University. http://planet.uwc.ac.za/nisL/GIS/IDRISI/Idrisi32%20Tutorial/Documents/Idrisi_Guide1.pdf
- Esqueda, C. M. H. & Carrillo R. R. L. (2012). Producción de forraje y carne en pastizales resemebrados con gramíneas introducidas. Técnica Pecuaria en México, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 39 (2):139-152. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1328>
- Farjon, A. (2013). *Pinus devoniana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T42356A2974898. _____
- García, E., (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 3ra. Edición, México, D.F. Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. 6 p. http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal) (2013). (Last checked: August, 2015).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2012). Perspectivas Estadísticas Michoacán de Ocampo. Diciembre 2012. Aguascalientes, México. 97 p. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/perspectivas/perspectiva-mic.pdf>
- Islas, G., F., Ramón L. C., Zamora M.M.C. and Velasco B.E. (2005). Los sistemas de información geográfica para la

- definición de áreas potenciales de hongos silvestres. *In*: Memoria de Resúmenes del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. CONAFOR. Fundación Produce Chihuahua. Fideicomiso Chihuahua Forestal. FIRA. CONAZA. INIFAP. SEMARNAT. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Chihuahua. Chihuahua. Chih. México. 180-181pp.
- Jiménez, O. J. (2001). El pasto rhodes como alternativa para producir forraje en praderas de temporal. Desplegable para productores Núm. 5. CIRPAC-INIFAP-SAGARPA. CONACYT. Fundación Produce Michoacán, A. C. 2 p.
- Medina, G. G., Salinas G.H. and Rubio A. F.A. (2001). Potencial productivo de especies forrajeras en el estado de Zacatecas. Libro Técnico No. 1. INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro. C. E. Zacatecas. Calera, Zacatecas, México. 145p. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1966/Potencial%20productivo%20de%20especies%20forrajeras%20en%20el%20estado%20de%20zacatecas.pdf?sequence=1>
- Meza, S. R. (2001). Áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) en Baja California Sur. *In*: Memorias del Congreso Mexicano de Recursos Forestales. "Manejo de Recursos Forestales para el 3er. Milenio". CUCBA-Universidad de Guadalajara. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales, A. C. Guadalajara, Jal. México. 10 p.
- Meza, S. R. (2003). Identificación de áreas con potencial productivo para damiana en Baja California Sur. Folleto Científico. Núm. 2. SAGARPA-INIFAP. México. 28 p.
- Muñoz, F. H. J., Castillo Q. D., Castillo R. F., Sáenz R. J. T., Ávila F. D. and Rueda S. A. (2016a). Potential Areas for Commercial Timber Plantations of *Tabebuia rosea* (Bertol. DC. in Michoacán, México. *Open Journal of Forestry*, 7(1): 48-57. <http://doi.org/10.4236/ojf.2017.71004>
- Muñoz, F. H. J., Sáenz R. J. T., Rueda S. A., Castillo Q. D., Castillo R. F. and Avila F. D. Y. (2016b). Areas with Potential for Commercial Timber Plantations of *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. in Michoacán, México. *Open Journal of Forestry*, 6(5): 476-485. <http://doi.org/10.4236/ojf.2016.65036>
- Oprandi, G., Colombo F. and Parodi M.I. (2009). Grama Rhodes, una alternativa productiva para los sistemas ganaderos del norte de Santa Fe. AER INTA Tostado. EEA INTA Reconquista. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 2 p. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/209-GramaRhodes.pdf
- Park, J.Y., Ale S., Teague W.R. and Dowhower S.L. (2017). Simulation hydrologic responses to alternative grazing management practices at the ranch and watershe scales. *Journal of Soil and Water Conservation*, 72 (2): 102-121. <http://doi.org/10.2489/jswc.72.2.102>
- Perry, J. P. (1992). The Pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. USA. *Cookies en Cab Direct*. 231 p.
- PRODEFO (Programa de Desarrollo Forestal del Estado de Jalisco). (2001). Monografías de especies nativas promisorias para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en Jalisco *Pinus tenuifolia* y *Pinus devoniana*. Documento Técnico 29. Programa de Desarrollo forestal de Jalisco. Guadalajara, Jal. México. 80 p.
- Robinson, J. L. (2000). Notas de Agroforestería. USDA National Agroforestry Center, USDA NRCS. <https://www.fs.usda.gov/nac/documents/agroforestrynotes/an18s03-e.pdf>
- Rueda, S. A., Ruiz J. A., Benavides S. J. de D. and Flores G. J. G. (2007). Definición de áreas favorables para seis especies forestales tropicales en el estado de Jalisco. SAGARPA-CIRPAC-INIFAP. Libro Técnico. Núm. 5. Tepatlán de Morelos, Jalisco. México. 165 p.
- Sáenz, R. J. T., Chávez L. G., García M. J. and Anguiano C. J. (2000). Regionalización de áreas potenciales para plantaciones forestales en la región Oriente de Michoacán. *In*: Memoria Primer Congreso Nacional de Reforestación. Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General del Programa Nacional de Reforestación. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. México. 6 p.
- Sáenz, R. J. T., Anguiano C. J., Muñoz F. H. J., Villaseñor R. F. J., Rueda S. A. and García M. J. J. (2007). Áreas potenciales para plantaciones forestales comerciales en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. *In*: Resúmenes Simposio Acciones y Resultados para el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. Morelia, Mich. México. p. 29.

- Sáenz, R. J. T., González T. J., Jiménez O. J., Larios G. A., Gallardo V. M. and Villaseñor R. F. J., Ibáñez R. C. (2010). Alternativas agroforestales para reconversión de suelos forestales. Folleto Técnico Núm. 18. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 52 p. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1293/ALTERNATIVAS%20AGROFORESTALES%20PARA%20RECONVER..?sequence=1>
- Sáenz, R. J. T., Jiménez O. J., Muñoz F. H. J., Rueda S. A. and Sáenz C. J. E. (2013). Sistema silvopastoril y cultivos de cobertera en la microcuenca "El Calabozo", Morelia, Michoacán. In: XI Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Saltillo, Coahuila, México. 413 p.
- Sáenz, R. J. T., Jiménez O. J., Rueda, S. A., Ibáñez R. C. and García M. J. J. (2011). Regionalización de áreas potenciales para sistemas silvopastoriles en clima templado de Michoacán. Folleto Técnico Núm. 23. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 42 p.
- Muñoz F. H. J., Sáenz, R. J. T. and Rueda S. A. (2012). Monografías de especies forestales para plantaciones comerciales en clima templado de Michoacán. Libro Técnico Núm. 14. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 213 p. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3548/3936%20Monografias%20de%20especies%20forestales%20en%20clima%20tropical%20de%20Mich..pdf?sequence=1>
- Schroth, G. (1999). A review of belowground interactions in agroforestry, focussing on mechanisms and management options. *Agroforestry Systems*, 43: 5-34. <https://doi.org/10.1023/A:1026443018920>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación) (2009). Sistemas silvopastoriles. Subsecretaría de Desarrollo Rural Dirección General de apoyos para el Desarrollo Rural (Last checked: February, 2016).
- Sánchez, A. (2008). Una visión actual sobre la diversidad y distribución de los pinos en México. *Madera y Bosques*, 14 (1): 107-120. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712008000100008
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca), (2005). Especies con usos no maderables en bosques de encino, pino y pino-encino en los estados de Chihuahua, Durango, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. PROCYMAF. (Last checked: November, 2006).
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). (2006). Especies con usos no maderables en bosques de encino, pino y pino-encino en los estados de Chihuahua, Durango, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Last checked: May, 2007).
- Sotelo, R. E. D., S. Ortiz T. and M. I. Rizo A. (2005). Áreas potenciales para el cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Bretton. & Rose) en el Sur del Estado de México. *Revista Ciencias Forestales en México*, 30 (98): 87-97. <https://biblat.unam.mx/fr/revista/ciencia-forestal-en-mexico/articulo/areas-potenciales-para-el-cultivo-de-pitahaya-hylocereus-undatus-haw-britt-rose-en-el-sur-del-estado-de-mexico>
- Tropicicos (2018). (Last checked: January, 2018).
- Valdés, R.J. (2015). Gramíneas de Coahuila. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO. 556 p. <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/12717.pdf>
- Velázquez, A., Flores D. and Acevedo O. (2001). Formación de agregados en tepetates por influencia de especies vegetales. *Agrociencia Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal* 35: 311-320. <http://www.redalyc.org/html/302/30200306/>
- Vibrans, H. (2009). Malezas de México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/chloris-gayana/fichas/pagina1.htm>