



Manejo forestal sustentable de los recursos no maderables en el semidesierto del norte de México

Sustainable forest management of non-wood resources in the semi-desert of northern Mexico

Eulalia Edith Villavicencio-Gutiérrez¹, Antonio Cano-Pineda¹, David Castillo-Quiroz¹, Adrián Hernández-Ramos^{1*} y Oscar Ulises Martínez-Burciaga^{1†}

Resumen

Los ecosistemas semiáridos del norte de México abarcan 70.79 millones de hectáreas; se caracterizan por su alta vulnerabilidad a la desertificación y la presencia de población rural en extrema marginación, quienes aprovechan los recursos forestales no maderables (RFNM) de diversas especies para obtener materia prima. El objetivo de la presente revisión fue describir las investigaciones realizadas en los 35 años de existencia del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) referentes al manejo, aprovechamiento y conservación de los RFNM del norte de México para proporcionar información a los tomadores de decisiones en políticas públicas encauzadas a promover el desarrollo rural sustentable. Para la descripción de las investigaciones desarrolladas, se realizó una búsqueda en fuentes científicas digitales y bibliotecas físicas del INIFAP, enseguida se integró la información y se describió por especie el avance realizado en los diferentes programas de investigación del Instituto. Entre los temas que se han desarrollado están las prácticas de aprovechamiento, sistemas de muestreo, biometría forestal, modelación del potencial productivo, ordenamiento territorial, selección de material vegetativo, manejo de semilla, producción y calidad de planta en vivero e invernadero, establecimiento y manejo de plantaciones, así como conservación *ex situ* de recursos fitogenéticos de especies nativas. Estos resultados permiten conservar, aumentar la producción y productividad de los RFNM; además de promover la sustentabilidad de los recursos no maderables.

Palabras clave: Alometría, aprovechamiento, bioenergía, biotecnología, ecosistemas semiáridos, plantaciones.

Abstract

The semi-arid ecosystems of northern Mexico cover 70.79 million ha. These are characterized by their high vulnerability to desertification and by the presence of extremely marginalized rural populations, who exploit the non-wood forest resources (NWFR) of various species for the purpose of obtaining raw materials. The objective was to describe the research carried out in 35 years since the creation of the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* (INIFAP) (National Institute for Research on Forest, Agriculture and Livestock) (INIFAP) regarding the management, use and conservation of the NWFR of northern Mexico for the purpose of providing information to decision makers in public policies aimed at promoting sustainable rural development. In order to describe the research carried out, a search was carried out in the digital scientific sources and physical libraries of INIFAP; the information was then integrated, and the progress made in the several research programs of this Institute was described by species. Some of the topics that have been developed in relation to the NWFR are harvesting practices, sampling systems, forest biometrics, modeling of productive potential, land use planning, selection of vegetative material, seed management, production and quality of the plant in the nursery and greenhouse, establishment and management of plantations, and *ex situ* conservation of plant genetic resources of native species. These results make it possible to conserve these forest resources and increase their production and productivity, as well as to promote the sustainability of non-timber resources.

Key words: Allometry, exploitation, bioenergy, biotechnology, semi-arid ecosystems, plantations.

Fecha de recepción/Reception date: 22 de febrero de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 9 de julio de 2021

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: hernandez.adrian@inifap.gob.mx

Introduction

Non-wood forest resources (NWFR) in Mexico's semi-arid ecosystems account for 9.4 % of national production, and the northeastern part of the country is the most important area within this sector (Semarnat, 2020). This region is home to a rural population of more than 5 million inhabitants, made up of *ejidatarios*, communal farmers and small landowners, most of whom are affected by extreme poverty and high migration rates, and whose livelihoods are based on the NWFR, thus influencing their food security, health, wellbeing and economic income (Inegi, 2020).

In Mexico, the accumulated production of NWFR in the last 30 years is 844 620 t; the state of *Coahuila* stands out as the entity with the highest accumulated production (280 680 t), followed by *Tamaulipas* (191 270 t) and *Zacatecas* (155 850 t) (Semarnat, 2020). In these states, as well as in *Chihuahua*, *Nuevo León* and *San Luis Potosí*, the main species harvested are *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. (*candelilla*), *Agave lechuguilla* Torr. (*lechuguilla*), *Yucca carnerosana* Trel. (giant Spanish dagger), *Lippia graveolens* HBK. (*orégano*), and *Nolina cespitifera* Trel. (*cortadillo*) (Martínez, 2013). Other taxa with lower production are *Jatropha dioica* Sessé ex Cerv. (leatherstem), *Agave* spp. (*maguey*), *Dasyllirion* spp. (*sotol*), ornamental cacti, aromatic plants (*Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez), and *Prosopis* spp. (*mesquite*) (Martínez, 2013).

Given the importance of the NWFR in northern Mexico, sustainable management of their populations is necessary. This requires integrated planning, in which the components of production and conservation according to the biophysical and socioeconomic conditions of each region must be considered for the prescription of management practices and options that will ensure the conservation of the NWFR, and at the same time, the benefit of the social sector (FAO, 2010). In order to contribute to this purpose, this documentary research aimed to describe the research conducted in the 35 years of existence of the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* (INIFAP) (National Institute for Research on Forest, Agriculture and Livestock) (INIFAP), on the use, management and conservation of the NWFR of northern Mexico.

Criteria for information search and analysis

A thematic review of the 1985–2020 period was carried out in various scientific repositories and scientific journals available online, for example: *SciELO* (www.scielo.org/es), *Redalyc* (www.redalyc.org), *Google Scholar* (scholar.google.com), *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* (<https://cienciasforestales.inifap.gob.mx>), and the Digital Library of INIFAP (https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content). All scientific publications related to non-timber forest species of economic importance in the north of the country developed by INIFAP scientists as first authors were considered; they were ordered by taxon within the research programs of the Institute: Sustainable Forest Management and Environmental Services, Plantations and Agroforestry Systems, Non-timber Forest Genetic Resources, Biotechnology and Bioenergy.

Study area

The study area was limited to the semi-arid regions of northern Mexico where the NTFR are used, which include the states of *Baja California*, *Baja California Sur*, *Coahuila*, *Chihuahua*, *Durango*, *Nuevo León*, *San Luis Potosí*, *Sonora*, *Tamaulipas* and *Zacatecas*.

Sustainable Forest Management and Environmental Services

This research program considered the following topics: sustainable use of natural resources, forest inventories, biometry of non-wood forest species in semi-arid ecosystems of northern Mexico and modeling of productive potential, as well as the mapping of forest variables.



Sustainable exploitation of natural resources

The different types of scrubland in the arid and semi-arid zones in the north of the country are used for the exploitation of NWFR; this ecological region covers 70.79 million hectares (Challenger and Soberón, 2008).

Non-wood species are harvested in a variety of ways, due to the different plant structures that can be used. For several years, this has been done in a traditional manner and without technical support. For this reason, INIFAP conducts research work focused on the sustainable exploitation and management of these commercially important forest resources (Table 1).

Table 1. Non-wood species that can be harvested in northern Mexico.

Product	Species	Common name	Reference
Fiber	<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	<i>Lechuguilla</i>	Berlanga <i>et al.</i> (1992)
	<i>Yucca carnerosana</i> Trel.	Giant Spanish dagger	Villavicencio (1993)
	<i>Nolina cespitifera</i> Trel.	<i>Cortadillo</i>	Sáenz and Castillo (1992) Castillo and Sáenz (1993) Castillo <i>et al.</i> (2015)
Wax	<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.	<i>Candelilla</i>	De la Garza y Berlanga (1993) De la Garza <i>et al.</i> (1992)
Alcoholic beverage (<i>sotol</i>)	<i>Dasyilirion</i> spp.	<i>Sotol</i>	Melgoza <i>et al.</i> (2003) Vega <i>et al.</i> (2006) Cano <i>et al.</i> (2005, 2011) Sierra <i>et al.</i> (2008)
Aguamiel	<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	Maguey juice	Castillo and Cano (2006)
Alcoholic beverage (mescal)	<i>Agave durangensis</i>	Ashen maguey	Rosales-Serna <i>et al.</i> (2020)
Leaves	<i>Lippia graveolens</i> HBK	Oregano	Sáenz and Villavicencio (1993)
Charcoal	<i>Prosopis</i> spp.	Mesquite	Villanueva <i>et al.</i> (2004) Ríos <i>et al.</i> (2011) Valenzuela-Núñez <i>et al.</i> (2011) Ríos-Saucedo <i>et al.</i> (2012) Valenzuela-Núñez <i>et al.</i> (2013)

The different products extracted from each species (Table 1) are the raw material derived from the harvesting of the forest resource, without a transformation process. Regarding research on the regeneration period of the various plant structures that

are harvested, INIFAP has conducted studies on the harvesting season and technical shift; i.e. the time from extraction to the recovery of the plant's vegetative structure (Table 2).

Table 2. Harvesting season and technical shift for non-wood species in northern Mexico.

Species	Exploitable structure	Cutting season	Cutting shift (months)	Reference
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Buds ¹ (height ≥25 cm)	Fall-Winter	14 to 25	Berlanga <i>et al.</i> (1992) Castillo <i>et al.</i> (2008) Narcia <i>et al.</i> (2012)
<i>Yucca carnerosana</i> (Trel.) McKelvey	Buds ¹ (height ≥ 30 cm)	Summer-Fall	12-18	Villavicencio and Franco, (1992)
<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.	Stems (height ≥ 30 cm and coverage diameter ≥ 25 cm)	Fall-Winter	36 to 60	De la Garza <i>et al.</i> (1992) De la Garza and Berlanga (1993)
<i>Nolina cespitifera</i> Trel.	Leaves (≥ 40 a 50 cm)	Fall-Winter	12 to 21*	Sáenz and Castillo (1992)
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	Leaves	Summer	84 to 96	Castillo and Cano (2006)
<i>Lippia graveolens</i> HBK.	Leaves	Summer-Fall**	4 to 12	Villavicencio <i>et al.</i> (2010b)

¹Leaves of the apical growth zone; *Not affecting the apical growth zone; **Up to two cuttings per year, depending on rainfall.

From its colonial growth form, a harvesting system was established for *E. antisyphilitica* in which the extraction of 50 % of the colony was established to ensure the regeneration of the resource, through rotation of the harvesting areas (De la Garza *et al.*, 1992). In the case of *A. salmiana*, a system of rotation of harvesting areas in plantations was determined, in addition to the transplanting of young shoots for replanting (Castillo and Cano, 2006). Non-wood species respond to genotype-environment interaction, which generates differentiated ecotypes restricted to a specific habitat, with different growth and production characteristics, a situation that must be considered in their use.

The results of the studies included in tables 1 and 2 have served as the basis for the development of Mexican official standards on technical specifications for the

sustainable use of non-timber forest resources in arid and semi-arid zones. In addition, they are used in the preparation of Technical Justification Studies (TJS) for the harvesting of non-wood taxa.

Knowledge of the development and behavior of exploitable semi-desert taxa, as well as good management practices, contribute to the sustainable management of natural populations.

Forest inventories

The objective of forest inventories is to provide information on the quantification of forest resources, based on field sampling. In this regard, INIFAP has applied sampling techniques for the evaluation of the NWFR in the north of the country (Table 3).

Table 3. Sampling techniques for assessing NWFR and scope of application.

Species	Sampling type	State where applied	Reference
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	1		Berlanga <i>et al.</i> (1992)
<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.	1	Coahuila, Nuevo León, Chihuahua, Durango, Zacatecas	De la Garza <i>et al.</i> (1992) De la Garza y Berlanga (1993) Hernández <i>et al.</i> (2017)
<i>Dasyilirion</i> spp.	3, 4		Cano <i>et al.</i> (2005) Cano <i>et al.</i> (2011)
<i>Yucca carnerosana</i> (Trel.) McKelvey	2		Villavicencio and Franco (1992)
<i>Nolina cespitifera</i> Trel.	2	Coahuila	Sáenz y Castillo (1992) Sáenz y Villavicencio (1993)
<i>Lippia graveolens</i> HBK.	1,2	Coahuila, Nuevo León, Chihuahua, Durango, Tamaulipas, Zacatecas	Villavicencio <i>et al.</i> (2010b) Villavicencio <i>et al.</i> (2018)

¹Simple random, 100 m² sites; ²Systematic, 100 m² sites, sampling intensity of 0.5 %;

³Simple random, 1 000 m² sites; ⁴Systematic, 1 000 m² sites, sampling intensity of 3 %.

Systematic sampling is useful in stands with a uniform distribution of species such as *Y. carnerosana* and *N. cespitifera*. Random sampling can be applied to assess populations of *A. lechuguilla*, *E. antisyphilitica*, *L. graveolens*, and *Dasyilirion* spp. in

areas where the distribution of individuals is heterogeneous. These sampling techniques are reliable to assess the taxa mentioned above. As for *L. graveolens*, a structural analysis of its population in the area of distribution of the resource was carried out, which showed the need to establish reforestation actions in deteriorated areas (Table 1). This type of research conducted at INIFAP contributes to the sustainability of NTFR, as it evaluates the productivity of the ecosystem where these resources are developed, ensuring their sustainable use.

The use of appropriate sampling systems for each species and development condition allows a more precise quantification of the resource and optimizes costs and time in the preparation and execution of forest inventories.

Biometry of non-wood species in semiarid ecosystems of northern Mexico

Biometry is a tool for the estimation of vegetation variables, used to quantify the total stock in a stand. In this regard, INIFAP has conducted research that has resulted in the adjustment of 24 mathematical models and the generation of four production tables to estimate variables of non-timber species in semiarid ecosystems in northern and northeastern Mexico (Table 4). Tables that are useful for developing sustainable management plans, as well as in decision making for the use of the NWFR of these regions.



Table 4. Research on models for estimating forest variables of non-timber species in northern and northeastern Mexico.

Species	Variable	Area where applied	Structure	Reference
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Bud biomass	Coahuila	Production table	Berlanga <i>et al.</i> (1992)
	Fiber dry weight (FDW)	San Luis Potosí	$FDW = 0.00040DBC^{1.52498}TBH^{2.20623}$	Velasco <i>et al.</i> (2009)
			$FDW = 0.00078DBC^{1.64385}TBH^{1.33236}$	
$FDW = 0.00038DBC^{1.82763}TBH^{1.43348}$				
<i>Yucca camerosana</i> (Trel.) McKelvey	Bud biomass	Coahuila	Production table	Villavicencio and Franco (1992)
<i>Euphorbia antisiphilitica</i> Zucc.	Total Green weight (TGW)	Coahuila	Production table	De la Garza and Berlanga (1993)
			$TGW = 5.125135Exp\left(\frac{-60.80586}{ACD}\right)$	Hernández-Ramos <i>et al.</i> (2019)
			$TGW = 0.004682(ABD)^{1.127425}(ACD)^{0.841933}$	
			$TGW = 0.003614(ABD)^{0.48315}(ACD)^{1.268382}$	
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt.	Shoot dry weight (SDW)	Coahuila	$SDW = 0.30472(AD)^{1.61135}$	Meza (1997)
	Branch dry weight (BDW)		$BDW = 0.3405(AD)^{2.44254}$	
	Total dry weight (TDW)		$TDW = 0.03745(AD)^{2.21993}$	
<i>Prosopis</i> spp.	Exploitable volume	Durango and Coahuila	$V = 0.0108 + 0.000057(D^3H)$	(Villanueva <i>et al.</i> (2004)
	Stem volume	Chihuahua	$VNI = -10.58445 + 2.10597(ABDNI) + 0.90146(THNI)$	Sosa <i>et al.</i> (2011)
	Total comercial volume		$VNI = -10.55051 + 0.97614(BANI) + 1.30718(THNI)$	
	Aerial carbon per stem (Cs)		$CsNI = -3.13882 + 0.87661((BD^2TH)NI)$	
	Full tree aerial carbon (FTC)		$FTCNI = -2.76123 + 0.48339(BA^2TH)NI$	
<i>Dasyliroia cedrosanum</i> Trel.	Heart weight (HW)	Coahuila	$HW = -15.529 + 1.118(HD)$	Cano <i>et al.</i> (2005)
<i>Nolina cespitifera</i> Trel.	Dry leaf weight (DLW)	South of Coahuila	$DLWNI = NI(-1.143359) + 1.911099(BADNI)$	Castillo and Sáenz (2005)
	Dry leaf weight (DLW)	Coahuila	Production table	Villavicencio <i>et al.</i> (2010b)
<i>Lippia graveolens</i> HBK	Leaf area index (LAI)	Durango	$LAI = 0.1146 + 0.0101AWS - 0.00004AWS^2$	Villa-Castorena <i>et al.</i> (2011)
	Total plant biomass (TPB)		$TPB = -20.28 + 365.6LAI$	
	Dry leaf weight (DLW)	Coahuila	$DLW = 0.00599(AD)^{1.935454}(TH)^{0.256803}$	Villavicencio <i>et al.</i> (2018)
<i>Litsea parvifolia</i> (Hemsl.) Mez	Dry leaf weight (DLW)	Coahuila	$DLW = 0.00147(AD)^{1.993821}(TH)^{0.492306}$	Villavicencio-Gutiérrez <i>et al.</i> (2020c)

AD = Average diameter (cm); *HD* = Heart diameter; *ABD* = Average base diameter (cm); *ACD* = Average coverage diameter (cm); *BBD* = Bud base diameter (cm); *TH* = Total height (cm); *BA* = Basimetric area of the tree; *BD* = Steam base diameter; *TBH* = Total bud height (cm); *MH* = Mean height (cm); *V* = Volume (m³); *AWS* = Applied water sheet (cm); *Exp* = Exponential; *NI* = Natural logarithm.

Modeling of productive potential and mapping of forestry variables

In forest management, it is of utmost importance to make accurate estimates of the amount of raw material available for harvesting in a forest stand. To this end, INIFAP conducts studies focused on sustainable forest management and the generation of technical tools for the selection of sites where the establishment of both commercial forest plantations (CFP) and restoration forest plantations (RFP) is feasible in northern Mexico. These actions involve determining potential areas for the implementation of CFP and areas with productive potential for non-timber forest species (Table 5), as well as mapping stand variables for the estimation of total stock in a forest inventory.

Table 5. Research on potential areas for CFP establishment and productive potential by species.

Species	Potential	Area where applied	Potential surface area (ha)	Reference
<i>Nolina cespitifera</i> Trel.	CFP	Coahuila	High: 14 128 Medium: 66 826	Martínez and Castillo (2007)
	Productive	19 states of central and northern Mexico	14 138 623	Martínez et al. (2014)
<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.	CFP	Coahuila	High: 2 629 969 Medium: 4 718 910	Cano and Martínez (2007)
	Productive	Coahuila	2 202 098	Martínez et al. (2010)
		San Luis Potosí	820 702	Beltrán et al. (2011)
		Nuevo León	341 386	Martínez et al. (2011b)
		Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas	6 509 324	Martínez (2013)
		16 states of central and northern Mexico	16 673 562	Martínez et al. (2014)
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	CFP	Coahuila	High: 83,200 Medium: 1 194 877	Martínez et al. (2011a)
		Coahuila	5 159 273	Castillo-Quiroz et al. (2014a)
		Tamaulipas	106 272	Castillo-Quiroz et al. (2014b)
	Productive	Coahuila	5 446 971	Martínez et al. (2010)
		San Luis Potosí	357 596	Beltrán et al. (2011)
		Nuevo León	240 382	Martínez et al. (2011b)
		Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas	8 912 445	Martínez (2013)
		16 states of central and northern Mexico	17 608 351	Martínez et al. (2014)
<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.	Productive	Coahuila	1 828 300	Martínez et al. (2010)

		<i>San Luis Potosí</i>	60 970	Beltrán <i>et al.</i> (2011)
		<i>Nuevo León</i>	102 598	Martínez <i>et al.</i> (2011b)
		<i>Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas</i>	8 526 336	Martínez (2013)
		20 states of central and northern Mexico	High: 7 955 139 Medium: 14 512 803 Low: 8 045 010	Zamora-Martínez <i>et al.</i> (2013)
		11 states of central and northern Mexico	10 520 849	Martínez <i>et al.</i> (2014)
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	CFP	<i>Zacatecas</i>	High: 1 223 887 Medium: 743 973	Medina <i>et al.</i> (2003)
	Productive	<i>Coahuila</i>	5 206 366	Martínez <i>et al.</i> (2010)
		<i>San Luis Potosí</i>	2 561 217	Beltrán <i>et al.</i> (2011)
		<i>Nuevo León</i>	847 337	Martínez <i>et al.</i> (2011b)
<i>Agave tequilana</i> Weber	CFP	<i>Zacatecas</i>	High: 222 434 Medium: 442 622	Medina <i>et al.</i> (2003)
<i>Agave salmiana</i> subsp. <i>crassispina</i>	Productive	<i>Zacatecas</i>	61 520	Martínez (2013)
		<i>Coahuila</i>	7 411 315	Martínez <i>et al.</i> (2010)
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt	Productive	<i>San Luis Potosí</i>	1 604 717	Beltrán <i>et al.</i> (2011)
		<i>Nuevo León</i>	1 612 598	Martínez <i>et al.</i> (2011b)
		16 states of central and northern Mexico	36 201 781	Martínez <i>et al.</i> (2014)
		<i>Coahuila</i>	5 446 971	Martínez <i>et al.</i> (2010)
<i>Parthenium argentatum</i> A. Gray	Productive	<i>San Luis Potosí</i>	2 120 049	Beltrán <i>et al.</i> (2011)
		<i>Nuevo León</i>	477 517	Martínez <i>et al.</i> (2011b)
		17 states of central and northern Mexico	105 621 414	Martínez <i>et al.</i> (2014)
		<i>Coahuila</i>	1 685 163	Martínez <i>et al.</i> (2010)
<i>Dalea bicolor</i> Humb.	Productive	<i>San Luis Potosí</i>	1 561 026	Beltrán <i>et al.</i> (2011)
		<i>Nuevo León</i>	798 400	Martínez <i>et al.</i> (2011b)
		25 states of Mexico	24 984 153	Martínez <i>et al.</i> (2014)
		<i>Coahuila</i>	5 953 843	Martínez <i>et al.</i> (2010)
<i>Opuntia rastrera</i> F.A.C. Weber	Productive	<i>San Luis Potosí</i>	2 467 056	Beltrán <i>et al.</i> (2011)
		<i>Nuevo León</i>	2 320 610	Martínez <i>et al.</i> (2011b)
		19 states of central and northern Mexico	14 470 825	Martínez <i>et al.</i> (2014)
		<i>Coahuila</i>	907 757	Martínez <i>et al.</i> (2010)
<i>Lippia graveolens</i> HBK.	Productive	<i>San Luis Potosí</i>	361 435	Beltrán <i>et al.</i> (2011)
		<i>Nuevo León</i>	172 994	Martínez <i>et al.</i> (2011b)
		<i>Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas</i>	6 788 321	Martínez (2013)

The authors determined the productive potential or areas for CFP (Table 5) according to the characteristics of the optimal physical environment for the development of each species, using Geographic Information Systems (GIS) techniques to unify these agro-climatic requirements.

In regard to land use planning, a territorial management of productive activities for the social and economic development of its population based on the premises of conservation, restoration and sustainability of non-timber forest resources, has been proposed for *Coahuila* (Martínez *et al.*, 2010), *Nuevo León* (Martínez *et al.*, 2011b), and *San Luis Potosí* (Beltrán *et al.*, 2011).

Plantations and Agroforestry Systems

The demand for raw materials from NWFR has increased in recent years; it has been preferentially met by natural populations, whose production is subject to environmental conditions. The effect of overexploitation makes it difficult to collect the resources, requiring an investment of more time and effort without greater remuneration (Castillo *et al.*, 2015). INIFAP seeks to mitigate the degradation of these NWFR by conducting research on the establishment of non-timber forest plantations for restoration or commercial purposes, in order to restore degraded ecosystems, increase density and raw materials, and improve product quality (Table 6).



Table 6. Non-timber forest germplasm for the establishment of plantations in northern Mexico.

Species	Topic	Author
<i>Yucca carnerosana</i> (Trel.) McKelvey	Propagation material	Villavicencio (1993)
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	Selection of species	Castillo and Cano (2006)
	Selection and handling of vegetative material	
<i>Agave durangensis</i> Gentry <i>Dasyllirion</i> spp.	Chemical fertilization of plantations	Rosales-Serna <i>et al.</i> (2020)
	Chemical and biological pretreatments for germination	Castillo-Quiroz <i>et al.</i> (2018)
<i>Nolina cespitifera</i> Trel.	Plant quality	Sáenz <i>et al.</i> (2019)
	Nursery plant production and fertilization	
<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.	Selection of ecotypes	De la Garza <i>et al.</i> (1992)
	Conditioning, time and method of collection of planting material	
<i>Prosopis</i> spp.	Germplasm collection and processing	Ramírez and Villanueva (1998)
	Pre-germinative treatments	
	Plant quality	
	Nursery plant production	
<i>Lippia graveolens</i> HBK.	Plant conditioning	Villa-Castorena (2011) Cazares <i>et al.</i> (2010)
	Physical and physiological seed quality	
	Nursery and greenhouse plant production scheme	
	Nutrition, irrigation and planting density	
	Essential oils	

The technology generated in CFP demonstrates that monoculture and domestication are feasible for non-timber species, and management can reduce the technical shift of harvesting. In the case of *A. lechuguilla* under natural conditions, the shift varied from 24 to 25 months (Narcia *et al.*, 2012); while, in CFP it is reduced to 10 months, with yields of 220 and 560 kg ha⁻¹ (Castillo *et al.*, 2008). Likewise, in *L. graveolens*, the 10–12 month shift under natural conditions decreases to 4 months under CFP with yields of 3 t ha⁻¹ three years after its establishment (Villavicencio *et al.*, 2010b). The implementation and management of commercial forest plantations with species from arid and semi-arid zones is a viable strategy for the rehabilitation of degraded ecosystems and for covering the deficit of raw materials obtained from natural populations (Table 7).

Table 7. Research on the establishment and management of non-wood plantations in northern Mexico.

Species	Topic	Density (plants ha ⁻¹)	Author
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Reconversion of productive areas	20 000	Berlanga <i>et al.</i> (1992)
	Establishment and management of CFP	20 000	Castillo <i>et al.</i> (2008)
<i>Euphorbia antisiphilitica</i> Zucc.		Establishment and management of CFP	20 000
	20 000		De la Garza <i>et al.</i> (1992)
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	Reconversion of agricultural areas	840	Castillo and Cano (2006)
<i>Nolina-cespitifera</i> Trel.	Establishment and management of CFP	2 500	Castillo and Sáenz (2005)
<i>Prosopis</i> spp.		1 100 and 2 500	Ramírez and Villanueva (1998)

Non-Wood Genetic Resources

The term plant genetic resources for food and agriculture (PGRFA) refers to any material of plant origin, whether plants, seeds or vegetative parts, containing functional units of heredity with actual or potential value for food and agriculture (Gutiérrez *et al.*, 2015). The rugged land and the great variety of climatic conditions that exist in the arid and semi-arid zones of northern Mexico generate a range of environments with different types of vegetation, where the Cactaceae family has the greatest diversity of genera and species, many of them endemic and at risk status according to NOM-059-ECOL-2010 (Semarnat, 2010) and Appendixes I and II of the Convention on International Trade in Endangered Species (CITES, 2019).

At INIFAP, the *ex situ* conservation of important phylogenetic resources is carried out in vivo in the Cacti Germplasm Bank (CGB), with taxa of the genera and accessions of the *Cactaceae* tribe: *Ariocarpus*, *Astrophytum*, *Aztekium*, *Coryphantha*, *Echinocactus*, *Epithelantha*, *Ferocactus*, *Geohintonia*, *Leuchtenbergia*, *Mammillaria*, *Mammilloidya*, *Pelecypora*, *Stenocactus*, *Thelocactus*, and *Turbincarpus*; as well as of the *Pachycereeae* tribe: *Cephalocereus*, *Echinocereus*, and *Pachycereus*. Such Bank follows the guidelines of the PGRFA of the *Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas*, SNICS (National Seed Inspection and Certification System) (SNICS, 2018) and the International

Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV, 2011) to constitute the database of the native germplasm of the Chihuahuan Desert, according to the Germocalli information system (Upadhyaya *et al.*, 2008).

In this regard, distribution studies have been carried out, evaluating eight physiographic subprovinces of the Eastern *Sierra Madre*; mapping species richness, as well as providing taxonomic descriptions for the *Turbinicarpus* (Villavicencio *et al.*, 2006; Arredondo and Sotomayor, 2009; Villavicencio *et al.*, 2010a; Arias *et al.*, 2018), *Mammillaria*, and *Pelecypora* genera (Sotomayor *et al.*, 2006) and the morphological characterization of native materials (Villavicencio *et al.*, 2013a; Villavicencio *et al.*, 2013b), thereby generating a systematic description of qualitative and quantitative attributes of entries or accessions of the same species or crop, in order to differentiate them and to identify specific genes or attributes.

Furthermore, regeneration and multiplication technology has been developed with results in the propagation by seed of several taxa, and quality declared seeds have been subjected to physical and physiological tests; likewise, the propagation of several non-timber taxa has been studied to assess substrates, nutrition and fertigation (Arredondo and Camacho, 1995; Arredondo, 2002; Flores *et al.*, 2005; Vega *et al.*, 2006; Villavicencio *et al.*, 2019a), as well as greenhouse production of ornamental plants in containers (Villavicencio *et al.*, 2020a).

The procedures carried out at the CGB contribute to the sustainable management of native phytogenetic resources because the *ex situ* gene pool is conserved in its facilities, allowing actions to promote its use, enhancement, and pre-improvement, and constituting the raw material for the conservation of germplasm in the short and long term. The CGB has addressed the four strategic areas of the Second Global Plan of Action for the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) on PGRFA, and information has been generated for eight of the 18 priority lines and 10 indicators.

Research has focused on the northeastern region of Mexico; however, it is necessary to continue with selective collection, increasing the percentage of accessions with security duplicates, as well as with the regeneration and increase of *ex situ* samples.

The information generated is essential for the sustainability of these phylogenetic resources that, due to their cultural, economic or ecosystem-related value, require recovery, protection, responsible use, and a fair and equitable distribution of the benefits obtained from their sustainable use.

Biotechnology

For the *ex situ* conservation of phylogenetic resources of the Cactaceae family, INIFAP has an *in vitro* tissue bank to preserve germplasm of species in risk status and of ornamental interest, in the making of which biotechnological tools have been utilized. These include *in vitro* germination, shoot induction from axillary buds in multiplication, selection of the type and concentration of phytohormones in the induction of shoots and management of *in vitro* plants in acclimatization (Villavicencio *et al.*, 1999).

Micropropagation protocols have been successfully established for *Astrophytum myriostigma* Lem. (Villavicencio *et al.*, 2009), *Turbincarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha (Villavicencio *et al.*, 2011; Villavicencio *et al.*, 2012a), *Epithelantha micromeris* (Engelm.) F.A.C. Weber ex Britton. & Rose (Villavicencio *et al.*, 2012b; Villavicencio *et al.*, 2012c), *Echinocereus poselgeri* Lem. (Villavicencio *et al.*, 2020b), *Turbincarpus viereckii* subsp. major Glass & R.A. Foster and *Mammillaria plumosa* F.A.C. The technology thus generated has been transferred to producers of the *Comité Mexicano Sistema-Producto Flores y Ornamentales, CMSPFO* (Mexican System-Product Committee for Flowers and Ornamentals, CMSPFO).

For the *sotol* industry, a micropropagation protocol was generated for *D. cedrosanum*, a species used for the production of the alcoholic beverage of the same name with denomination of origin (Villavicencio *et al.*, 2007); this technology was transferred to the *Tequila Sauza S. A. de C. V.* company, given its experience in the industrial propagation of agave plants.

Bioenergy

Currently, the production of second generation (2G) biofuels from lignocellulosic biomass of wild plants from semi-arid areas has aroused the interest of the energy sector (Carmona *et al.*, 2017); however, it is a field in recent development. Among the species native to semi-arid zones with potential and for which the largest number of studies on ethanol production have been carried out, the following stand out: *A. lechuguilla*, whose biomass does not compete with food production, compared to first generation (1G) biofuels, which are obtained from feedstocks of agricultural crops such as corn and sugarcane (Serna *et al.*, 2011).

A. lechuguilla has great potential due to its wide distribution area across the country (17.5 million hectares) (Martínez *et al.*, 2014) and to the existence of an Official Mexican Standard for its use (Semarnat, 2003). Furthermore, it is a plant with a high enzymatic digestibility, which makes it important for the forestry sector. In this regard, INIFAP researchers have collaborated with an interdisciplinary group from the *Universidad Autónoma de Coahuila, UAC* (Autonomous University of Coahuila) in several studies, the results of which are summarized in Table 8.

Table 8. Research on bioenergy for ethanol production from *Agave lechuguilla* Torr. biomass in *Coahuila*, Mexico.

Topic	Authors
Determination of potential areas for <i>A. lechuguilla</i> plantations for ethanol production.	Castillo <i>et al.</i> (2014b)
Potential of <i>A. lechuguilla</i> as an energy crop.	Morales <i>et al.</i> (2014)
Chemical, structural and functional properties of <i>A. lechuguilla</i> .	Carmona <i>et al.</i> (2017)
Fungal pretreatment of the <i>A. lechuguilla</i> biomass.	Reyna-Martínez <i>et al.</i> (2019)



At present, *A. lechuguilla* is the most studied species, mainly for the production of ethanol; however, research on this raw material is needed to obtain liquid (butanol) and gaseous (hydrogen) biofuels and other alternative sources such as biogas. On the other hand, in arid zones there are other native species which, like *A. lechuguilla*, are a potential source for the production of biofuels.

Conclusions

The largest number of contributions developed by INIFAP researchers in the last 35 years on non-timber species of the semi-desert in Mexico focus on management and productive potential, biometry, establishment and management of plantations, and plant genetic resources of species at risk status, and, to a lesser but no less important extent, on forest inventories and harvesting practices, as well as on research on biofuels. Most of this work has been carried out in *Coahuila*, in consonance with its importance as the largest generator of non-timber products.

It is relevant to point out that all the products generated at INIFAP have had a great impact on the sustainability of the natural resources of the semi-desert region and have contributed in an outstanding way to improve the productive activities of the rural communities that depend on the use of these forest species.

The contributions documented in this review can be used to carry out programs to support communities in marginalized areas to help improve their economic situation, as well as to restore disturbed ecological areas, which will help to provide greater protection to the natural ecosystems of arid and semi-arid areas of Mexico.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.



Contribution by author

Eulalia Edith Villavicencio-Gutiérrez, Antonio Cano-Pineda, David Castillo-Quiroz, and Adrián Hernández-Ramos: compilation, drafting and review of the document; Oscar Ulises Martínez Burciaga: contributions of significant scientific research to the manuscript.

Referencias

Arias M., S., E. E. Villavicencio G. y M. A. Carranza P. 2018. Biznagas y Nopales (Cactaceae). *In*: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza (Eds.) La biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado Vol. II. CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza. Saltillo, Coah., México. pp. 71-182. www.sema.gob.mx/SRN-CONSER-ESTUDIO-V2.php (8 de noviembre de 2020).

Arredondo G., A. y F. Camacho M. 1995. Germinación de *Astrophytum myriostigma* (Lemaire) en relación con la procedencia de las semillas y la temperatura de incubación. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 40(2): 34-38. web.ecologia.unam.mx/cactsucmex/csm1995_40_1.pdf (10 de septiembre de 2020).

Arredondo G., A. 2002. Propagación y mantenimiento de cactáceas. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental San Luis. Folleto técnico No. 21. Soledad de Graciano Sánchez, SLP., México. 28 p. https://cultivandoflores.com/wp-content/uploads/2020/06/Gu%C3%ADa-de-Propagaci%C3%B3n-y-Mantenimiento-de-Cactaceas-PDF-CultivandoFlores.Com_.pdf (12 de julio de 2021).

- Arredondo G., A. y J. M. Sotomayor. 2009. Cactáceas en categoría de riesgo del Estado de San Luis Potosí. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental San Luis. Soledad de Graciano Sánchez, SLP., México. Publicación Especial No. 1. 114 p.
www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/811.pdf (2 septiembre de 2020).
- Beltrán L., S., O. U. Martínez B., G. Medina G., C. Loredó O. y R. Gutiérrez L. 2011. Opciones de ordenamiento productivo de las regiones árida y semiárida del estado de San Luis Potosí. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, SLP., México. Folleto técnico No. 43. 137 p.
www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/.pdf (2 de enero de 2021).
- Berlanga R., C. A., L. A. González L. y H. Franco L. 1992. Metodología para la evaluación de lechuguilla en condiciones naturales. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Sitio Experimental La Sauceda. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 1. 22 p.
www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/.pdf (2 de enero de 2021).
- Cano P., A., C. A. Berlanga R., D. Castillo Q., O. U. Martínez B. y A. Zárate L. 2005. Análisis dimensional y tablas de producción de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) para el estado de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 18. 24 p.
<http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/182.pdf> (2 de enero de 2021).
- Cano P., A. y O. U. Martínez B. 2007. Determinación de áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) en el estado de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 31. 28 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/183.pdf (10 de septiembre de 2020).



Cano P., A., O. U. Martínez B., C. A. Berlanga R., E. E. Villavicencio G. y D. Castillo Q. 2011. Guía para la evaluación de existencias de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) en poblaciones naturales del Estado de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 43. 29 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/887.pdf (8 de noviembre de 2020).

Carmona J., E. T. K. Morales-Martínez, M. Solange I., D. Castillo-Quiroz y L. Ríos-González. 2017. Propiedades químicas, estructurales y funcionales de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(42): 100-122. Doi: 10.29298/rmcf.v8i42.21.

Castillo Q., D. y J. T. Sáenz R. 1993. Aspectos ecológicos del cortadillo *Nolina* sp. en el sur de Saltillo, General de Cepeda y Parras de la Fuente, Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Sitio Experimental La Saucedá. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 4. 17 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/pdf (8 de noviembre de 2020).

Castillo Q., D. y J. T. Sáenz R. 2005. Tarifa de rendimiento de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) para el sur de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico Núm. 19. 23 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/195.pdf (3 de octubre de 2020).

Castillo Q., D. y A. Cano P. 2006. Establecimiento y manejo de plantaciones comerciales de maguey para la extracción de aguamiel en el sureste de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico Núm. 23. 18 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/199.pdf (10 de septiembre de 2020).



Castillo Q., D., C. A. Berlanga R., M. Pando M. y A. Cano P. 2008. Regeneración del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr. de cinco procedencias bajo cultivo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 33(103): 27-40.

<http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/739>
(11 de octubre de 2020).

Castillo Q., D., J. T. Sáenz R., M. Narcia V. y J. A. Vázquez R. 2013. Propiedades físico-mecánicas de la fibra de *Agave lechuguilla* Torr. de cinco procedencias bajo plantaciones. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4(19): 78-91. Doi: 10.29298/rmcf.v4i19.380.

Castillo-Quiroz, D., O. U. Martínez-Burciaga, D. Y. Ávila-Flores, F. Castillo-Reyes and J. D. Sánchez-Chaparro. 2014a. Identification of potential areas for establishment of plantations of *Agave lechuguilla* Torr. in Coahuila, México. Open Journal of Forestry 4: 520-526. Doi: 10.4236/ojf.2014.45056.

Castillo-Quiroz, D., O. U. Martínez-Burciaga, L. J. Ríos-González, J. A. Rodríguez-de la Garza, T. K. Morales-Martínez, F. Castillo-Reyes y D. Y. Ávila-Flores. 2014b. Determinación de área potenciales para plantaciones de *Agave lechuguilla* Torr. para la producción de etanol. Revista Acta Química Mexicana 3(12): 3-11. www.actaquimicamexicana.uadec.mx/?p=416 (13 de septiembre de 2020).

Castillo Q., D., D. Y. Ávila F., F. Castillo R., A. Antonio B. y O. U. Martínez B. 2015. *Nolina cespitifera* Trel. Recurso forestal no maderable de importancia económica y social del noroeste de México. Interciencia 40(9): 611-617. www.redalyc.org/pdf/339/33940998005.pdf (22 de octubre de 2020).

Castillo-Quiroz, D., A. Bautista-Antonio, D. Y. Ávila-Flores, J. T. Sáenz R. y F. Castillo-Reyes. 2018. Tratamientos químicos y biológicos para estimular la germinación en semillas de *Nolina cespitifera* Trel. Polibotánica (45): 151-160. Doi: 10.18387/polibotanica.45.11.

Carmona J., E. T. K. Morales-Martínez, M. Solange I., D. Castillo-Quiroz y L. Ríos-González. 2017. Propiedades químicas, estructurales y funcionales de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(42): 100-122. Doi: 10.29298/rmcf.v8i42.21.

Cazares A., N. P., E. E. Villavicencio G., J. Verde S., V. Pecina Q. y I. H. Alameyda L. 2010. Caracterización Molecular y Producción de Aceites Esenciales en Diferentes Genotipos de Orégano (*Lippia sp.*). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1): 85-94. Doi: 10.29298/rmcf.v1i1.656.

Challenger, A. y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres. *In: Alonso C., A., S. Anta, J. Carabias, R. Dirzo, E. Ezcurra, R. González, G. Halffter, J. Llorente-Bousquets, I. March, J. de la Maza, A. Mohar, I. Pisanty, J. Sarukhán y J. Soberón.* (comps.). *Capital natural de México, vol. I. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. México, D.F., México.* pp. 87-108.

http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I00_PrefacioGuia.pdf (5 de agosto de 2021).

Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas (CITES). 2019. Apéndices I, II and III. CITES. Ginebra, Suiza. 80 p.

<https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2019/S-Appendices-2019-11-26.pdf> (2 de diciembre de 2020).

De la Garza P., F. E., C. A. Berlanga R. y F. J. Tovar V. 1992. Guía para el establecimiento y manejo de plantaciones de candelilla. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental La Sauceda. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 2. 14 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/.pdf (9 de julio de 2021).

De la Garza P., F. E. y C. A. Berlanga R. 1993. Metodología para la evaluación y manejo de Candelilla en condiciones naturales. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental La Sauceda. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 5. 46 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/.pdf (8 de enero de 2021).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2010. El Segundo Informe sobre el estado de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura en el Mundo. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura. Roma, Italia. 28 p.
www.fao.org/3/i1500s/i1500s00.pdf (16 de septiembre de 2020).

Flores, J., A. Arredondo G. and E. Jurado. 2005. Comparative Seed Germination in Species of *Turbinicarpus*: an Endangered Cacti Genus. *Natural Areas Journal* 25(2): 183-187. www.researchgate.net/publication/236323883 (6 de enero de 2021).

Gutiérrez, B., R. Ipinza y S. Barros. 2015. Conservación de Recursos Genéticos Forestales, Principios y Prácticas. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 320 p.
www.researchgate.net/publication/284188875 (2 de octubre de 2020).

Hernández R., A., A. Cano P., C. Flores L., J. Hernández R., J. J. García M. y X. García C. 2017. Comparación de los estimadores de dos métodos de muestreo en poblaciones naturales de candelilla. *Revista Mitigación del Daño Ambiental Agroalimentario y Forestal de México* 3(3): 75-84. <https://docplayer.es/89890820-Revista-mitigacion-del-dano-ambiental-agroalimentario-y-forestal-de-mexico.html> (4 de diciembre de 2020).

Hernández-Ramos, A., A. Cano-Pineda, C. Flores-López, J. Hernández-Ramos, X. García-Cuevas, M. Martínez-Salvador y L. Martínez-Ángel. 2019. Modelos para estimar biomasa de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en seis municipios de Coahuila. *Madera y Bosques* 25(2): e2521806. Doi: 10.21829/myb.2019.2521806.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2020. Cuéntame. www.cuentame.inegi.org.mx/. (18 de enero de 2020).

- Martínez B., O. U. y D. Castillo Q. 2007. Identificación de sitios para plantaciones de cortadillo *Nolina cespitifera* Trel. en el sureste de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 34. 24 p.
www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/220.pdf (11 de enero de 2021).
- Martínez B., O. U., G. Medina G., C. Loredó O., M. Espinosa R., M. M. Silva S., H. Fuente S., R. Gutiérrez L., S. Beltrán L. y F. Moreno S. 2010. Propuesta de ordenamiento productivo de las regiones áridas y semiáridas del estado de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Publicación especial No. 15. 96 p.
www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/848.pdf (8 de enero de 2021).
- Martínez B., O. U., D. Castillo Q. y O. Mares A. 2011a. Caracterización y selección de sitios para plantaciones de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el estado de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 47. 26 p.
www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/886.pdf (5 de febrero de 2021).
- Martínez B., O. U., H. Fuente S. y G. Medina G. 2011b. Ordenamiento del uso de suelo para producción de especies no maderables de uso múltiple en el estado de Nuevo León. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 45. 30 p.
www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/884.pdf (8 de febrero de 2021).
- Martínez S., M. 2013. Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México. CIRNO-INIFAP, Sitio Experimental La Campana. Cd. Aldama, Chih., México. Folleto técnico No. 5. 226 p.
<https://docplayer.es/70889081-Ecologia-y-usos-de-especies-forestales-de-interes-comercial-de-las-zonas-aridas-de-mexico-martin-martinez-salvador.html>
(15 de febrero de 2021).

Martínez B., O. U., A. González H., F. Moreno S., J. A. Ruíz C. y K. Trinidad L. 2014. Distribución potencial de especies no maderables de zonas áridas bajo diferentes escenarios climáticos en México. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. MX-0-310699-52-03-15-09-62. 44 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/1011.pdf (9 de febrero de 2021).

Medina G., G., B. Cabañas C., J. A. Ruiz C., J. Madero T., S. Rubio D., A. Rumayor R., M. Luna F., C. Gallegos V., R. Gutiérrez V. y A. G. Bravo L. 2003. Potencial productivo de especies agrícolas en el estado de Zacatecas. CIRNOC-INIFAP, Campo Experimental Zacatecas. Zacatecas, Zac., México. Folleto técnico No. 2. 166 p. www.inifap-nortecentro.gob.mx/biblioteca_virtual_usuario.php (11 de febrero de 2021).

Melgoza C., A. y J. Sierra T. 2003. Contribución al conocimiento y distribución de las especies de *Dasyilirion* spp. (sotol) en Chihuahua, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 28(93): 25-40.

<https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/888> (1 de julio de 2021).

Meza S., R. 1997. Ecuaciones para estimar la fitomasa de *Atriplex canescens*. Revista Ciencia Forestal en México 22(81): 27-40.

<https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/busqueda> (10 de enero de 2021).

Morales M., T. K., J. Ríos G. L., J. A. Rodríguez de la G., Y. Garza G. y D. Castillo Q. 2014. Potencial del *Agave lechuguilla* como cultivo energético. Revista Cienciacierto 10: 13-15. www.cienciacierto.uadec.mx/2014/12/12/potencial-del-agave-lechuguilla-como-cultivo-bioenergetico-en-mexico/ (8 de agosto de 2020).

Narcia V., M., D. Castillo Q., J. A. Vázquez R. y C. A. Berlanga R. 2012. Turno técnico de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el noreste de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(9): 81-88. Doi: 10.29298/rmcf.v3i9.531.

Ramírez G., J. A. y J. Villanueva D. 1998. Selección y Manejo de material reproductivo de mezquite (*Prosopis* spp). CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Palma de la Cruz. San Luis Potosí, S.L.P., México. Folleto técnico No. 9. 20 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/763.pdf (4 de noviembre de 2020).

Reyna-Martínez, R., T. K. Martínez-Morales, D. Castillo-Quiroz, J. C. Contreras-Esquivel y L. J. Ríos-González. 2019. Pretratamiento fúngico de biomasa de *Agave lechuguilla* Torr. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 10(51): 86-106. Doi: 10.29298/rmcf.v10i51.336.

Ríos S., J., R. Trucíos C., L. M. Valenzuela N., G. Sosa P. y R. Rosales S. 2011. Importancia de las poblaciones de mezquite en el norte-centro de México. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP. Gómez Palacio, Dgo., México. Libro Técnico No. 8. 218 p. www.researchgate.net/publication/304749878 (1 de julio de 2021).

Ríos-Saucedo, J. C., R. Rosales-Serna, J. L. García-Rodríguez, R. Tracios-Caciano y L. M. Valenzuela-Núñez. 2012. Diagnóstico de reforestaciones de mezquite y métodos para incrementar su eficiencia en Durango, México. Revista Forestal Baracoa 31(2): 35-40. http://www.actaf.co.cu/revistas/rev_forestal/Baracoa-2012-2/FAO2%202012/DIAGN%C3%93STICO%20DE%20REFORESTACIONES%20DE%20MEZQUITE.pdf (1 de agosto de 2021).

Rosales-Serna, R., J. C. Ríos-Saucedo, S. Rosales-Mata, S. Santana-Espinoza y P. A. Domínguez-Martínez. 2020. Fertilización química y crecimiento de maguey cenizo y sotol en plantaciones comerciales establecidas en Durango. Ciencia e Innovación 3(1): 43-52. www.researchgate.net/publication/342393173 (3 de julio de 2021).

Sáenz R., J. T. y D. Castillo Q. 1992. Guía para la evaluación de cortadillo en el estado de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental La Sauceda. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 3. 13 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/ (10 de octubre de 2020).

Sáenz R., J. T. y E. E. Villavicencio G. 1993. Guía para la evaluación de orégano en el estado de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental La Saucedá. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 6. 16 p.

www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/ (20 de octubre de 2020).

Sáenz R., J. T., D. Castillo Q., F. Castillo R., H. J. Muñoz-Flores y D. Y. Ávila-Flores. 2019. Determinación de la calidad de planta en cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) con fertilización química y biológica en vivero. *Revista BioCiencias* 6: e547. Doi: 10.15741/revbio.06.e547.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-008-SEMARNAT-1996. Procedimientos, criterios y especificaciones para realizar aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos. *Diario Oficial de la Federación*. 24 de junio de 1996. México, D.F., México. www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3310/1/nom-008semarnat-1996.pdf (2 de septiembre de 2020).

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. 30 de diciembre de 2010. México, D.F., México. 130 p. <https://dof.gob.mx> (5 de diciembre de 2020).

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2020. Anuario estadístico de la producción forestal 2017. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México, CDMX., México. 284 p. <http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2020/2017.pdf> (16 de marzo de 2021).

Serna F., L. Barrera y H. Montiel. 2011. Impacto Social y Económico en el Uso de Biocombustibles. *Journal of Technology Management & Innovation* (6): 100-114. Doi: 10.4067/S0718-27242011000100009.

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) 2018. Catálogo Nacional de Variedades Vegetales. 3er. Trimestre 2018. SAGARPA-SNICS. México, CDMX., México. 49 p. www.gob.mx/snics (20 de octubre de 2020).

Sierra T., J. S., C. R. Lara M., R. Carrillo R., A. Mendoza C., C. Morales N. y M. H. Royo M. 2008. Los sotoles (*Dasyilirion* spp.) de Chihuahua. CIRNOC-INIFAP, Sitio Experimental La Campana-Madera. Aldama, Chih., México. Folleto técnico No. 20. 58 p. <https://docplayer.es/41619410-Los-sotoles-dasyilirion-spp-de-chihuahua.html> (12 de julio de 2021).

Sosa P., G., J. C. Ríos S. N. Chávez S., J. A. Sígala R. y D. Albarrán A. 2011. Modelos para la estimación del volumen y carbono del mezquite (*Prosopis* spp) en el estado de Chihuahua. CIRNOC-INIFAP, Sitio Experimental La Campana-Madera. Aldama, Chih., México. Folleto técnico No. 38. 39 p. www.researchgate.net/publication/283315604_Modelos_para_la_estimacion_del_volumen_de_carbono_del_mezquite_Prosopis_spp_en_el_Estado_de_Chihuahua (15 de marzo de 2021).

Sotomayor J., M., A. Arredondo G., F. R. Sánchez B. y M. Martínez M. 2006. *Pelecypophora strobiliformis* (Wedermann) Fric & Schelle ex Kreuzinger (Cactaceae): a new locality in San Luis Potosí, México. *Bradleya* (24): 112-114. <https://bioone.org/journals/bradleya/volume-2006/issue-24> (4 de febrero de 2021).

Unión Internacional Para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). 2011. Directrices de examen. Documento TC/47/2. Ginebra, Suiza. 11 p. www.upov.int/edocs/mdocs/upov/es/c_47/c_47_2.pdf (4 de febrero de 2021).

Upadhyaya, H. D., C.L.L. Gowda and D. V. S. S. R. Sastry. 2008. Plant genetic resources management: collection, characterization, conservation and utilization. *Journal of SAT Agricultural Research* 6:1-16.

Valenzuela-Núñez, L. M., R. Trucíos-Caciano, J. C. Ríos-Saucedo, A. Flores H. y J. L. González-Barrios. 2011. Caracterización dasométrica y delimitación de rodales de mezquite (*Prosopis* sp) en el estado de Coahuila. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 87-96. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.09.067.

Valenzuela-Núñez, L. M., M. Rivera-González, R. Trucíos-Caciano y J. C. Ríos-Saucedo. 2013. Características ecológicas y dasométricas de dos comunidades con mezquite (*Prosopis laevigata* [Humb. et Bonpl. ex Willd] M. C. Johnston) en el estado de Durango. *Tecnociencia Cihuahua* 7(1): 32-38.
http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v7n1/Data/Caracteristicas_ecologicas_y_dasometricas_de_dos_comunidades_con_mezquite_Prosopis%20laevigata_el_estado_de%20Durango.pdf (2 de julio de 2021).

Vega C., J., A. Melgoza C. y J. S. Sierra T. 2006. Caracterización del crecimiento de dos especies de sotol (*Dasyllirion leiophyllum* Engelm. ex Trelease y *D. sereke* Bogler) fertilizadas con nitrógeno y fósforo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 31(99): 55-71.
<http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/840> (1 de agosto de 2021).

Velasco B., A. Arredondo G., M. C. Zamora-Martínez y F. Moreno S. 2009. Modelos predictivos para la producción de productos forestales no maderables: Lechuguilla. Cenid Comef, INIFAP. México, D.F. México. Folleto técnico No. 2. 56 p.

Villa-Castorena, M., E. A. Catalán-Valencia, J. G. Arreola-Ávila, M. A. Inzunza-Ibarra y A. Román L. 2011. Influencia de la frecuencia del riego en el crecimiento de orégano (*Lippia graveolens* HKB). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* (17): 183-193. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.10.088.

Villanueva D., J., R. Jasso I., E. H. Cornejo O. y C. Potisek T. 2004. El mezquite en la comarca lagunera: su dinámica, volumen maderable y tasa de crecimiento anual. *Revista Agrofaz* 4(2): 633-648.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2302461> (4 de marzo de 2021).

Villavicencio G., E. E. y H. Franco L. 1992. Guía para la evaluación de existencias de palma samandoca (*Yucca carnerosana* Trel.) en el estado de Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 2. 18 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/40.pdf (4 de febrero de 2021).

Villavicencio G., E. E. 1993. Diagnostic on production and exploitation of fiber. Fourth International Conference on Desert Development: Sustainable Development for our common Future. México D.F., México pp. 214-224. www.drylanddevelop.org/uploads/6/1/7/8/61785389/4-.pdf (4 de febrero de 2021).

Villavicencio G., E. E., A. Villegas M., G. Arellano O. y J. Vargas H. 1999. Desarrollo de brotes *in vitro* de *Astrophytum myriostigma* Lem. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 44(2): 49-57. <https://biblat.unam.mx/es/revista/cactaceas-y-suculentas-mexicanas/9> (4 de febrero de 2021).

Villavicencio G., E. E., J. J. López G., O. U. Martínez B. y G. García P. 2006. Distribución digitalizada y características ecológicas del genero *Ariocarpus spp.* en Coahuila. CIRNE-INIFAP., Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Publicación especial No. 8. 53 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/203.pdf (4 de febrero de 2021).

Villavicencio G., E. E., A. Cano P. y A. Juárez S. 2007. Guía para la micropropagación y producción *in vitro* de plantas de sotol (*Dasylirion cedrosanum* Trel.). CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 37. 29 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/200.pdf (2 de enero de 2021).

Villavicencio G., E. E., A. Cano P. y A. Juárez S. 2009. Micropropagación producción de plantas del bonete o birrete de obispo, cactácea ornamental amenazada de extinción del Desierto Chihuahuense. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 39. 42 p.
www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/225108/Micropopagacion_y_produccion_de_plantas_del_bonete_o_birrete_de_obispo.pdf (1 de enero de 2021).

Villavicencio G., E. E., A. Arredondo G., M. A. Carranza P., O. Mares A., S. Comparan S. y A. González C. 2010a. Cactáceas ornamentales del Desierto Chihuahuense que se distribuyen en Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León, México. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Libro técnico No. 2. 345 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/846.pdf (8 de diciembre de 2020).

Villavicencio G., E. E., A. Cano P. y X. García C. 2010b. Metodología para determinar las existencias de orégano (*Lippia graveolens* H.B.K) en rodales naturales de Parras de la Fuente, Coahuila. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 42. 42 p.
www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/850.pdf (8 de diciembre de 2020).

Villavicencio G., E. E., A. González C., A. Arredondo G., L. Iracheta D. J., S. Comparan S. y R. Casique V. 2011. Micropropagación de *Turbincarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha cactacea ornamental del Desierto Chihuahuense, en estatus de riesgo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 2(6): 37-56. Doi: 10.29298/rmcf.v2i6.573.

Villavicencio G., E. E., M. A. Carranza P., S. Comparan S. y A. González C. 2012a. Micropropagación y producción de *Turbincarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha cactácea ornamental del Desierto Chihuahuense. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 48. 41 p.
www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/918.pdf (8 de enero de 2021).

Villavicencio G., E. E., A. González C., M. A. Carranza P. y A. Arredondo G. 2012b. Micropropagación y producción de *Epithelantha micromeris* (Engelm.) F.A.C. Weber ex Britt. & Rose cactácea ornamental del Desierto Chihuahuense. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 51. 41 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/921.pdf (4 de noviembre de 2020).

Villavicencio G., E. E., A. González C. y M. A. Carranza P. 2012c. Micropropagación de *Epithelantha micromeris* (Engelm.) F.A.C. Weber Ex Britt. & Rose cactácea ornamental y recurso fitogenético del Desierto Chihuahuense. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(14): 83-99. Doi: 10.29298/rmcf.v3i14.476.

Villavicencio G., E. E., M. A. Carranza P., A. González C., J. Valdés R., C. González H. y A. Arredondo G. 2013a. Guía técnica para la descripción varietal del chaute (*Ariocarpus retusus* Scheidw.) cactácea ornamental del Desierto Chihuahuense. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 56. 52 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/963.pdf (8 de enero de 2021).

Villavicencio G., E. E., M. A. Carranza P., A. González C., J. Valdés R., C. González H. y A. Arredondo G. 2013b. Manual gráfico para la descripción varietal del chaute (*Ariocarpus retusus* Scheidw.) cactácea ornamental del Desierto Chihuahuense. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico No. 57. 73 p. www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/962.pdf (1 de enero de 2021).

Villavicencio G., E. E., A. Hernández R., C. N. Aguilar G. y X. García C. 2018. Estimación de la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* Kunth del sureste de Coahuila. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(45): 187-207. Doi: 10.29298/rmcf.v9i45.139.

Villavicencio G., E. E., L. I. Trejo T., L. Bañuelos H., M. A. López L. y G. Arellano O. 2019a. Nutrición mineral con nitrógeno, fósforo y potasio en la producción del barril azul en invernadero. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas Pub. Esp. (23): 313-323. Doi: 10.29312/remexca.v0i23.2030.

- Villavicencio-Gutiérrez, E. E., M. A. Carranza-Pérez y B. E. Zamora-Martínez. 2020a. Propagación y cultivo de cactus de ornato del Desierto Chihuahuense. CIRNE-INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. Folleto técnico Núm. 65. 67 p. https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=12301 (15 de marzo de 2021).
- Villavicencio G., G. Arellano O. y V. A. Belmontes D. 2020b. Micropropagación del órgano pequeño sacasil (*Echinocereus poselgeri* Lem.) (Fam.: Cactaceae). Acta Horticulturae (1288): 123:130. Doi: 10.17660/ActaHortic.2020.1288.19.
- Villavicencio-Gutiérrez E. E., S. Mendoza-Morales y J. Méndez-González. 2020c. Modelo para predecir biomasa foliar seca de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Revista Mexicana de Ciencias Forestales 11(58): 113-133. Doi: 29298/rmcf.v11i58.642.
- Zamora-Martínez, M. C., C. Méndez E., R. Pérez M. y E. N. Cortés B. 2013. *Euphorbia antisyphilitica* Zucc.: recurso forestal no maderable de alto valor económico. Cenid Comef, INIFAP. México, D.F., México. Folleto técnico No. 12. 64 p. <https://docplayer.es/58637473-Directorio-institucional-secretaria-de-agricultura-ganaderia-desarrollo-rural-pesca-y-alimentacion-lic-enrique-martinez-martinez-secretario.html> (3 de enero 2021).



All the texts published by **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –with no exception– are distributed under a *Creative Commons* License [Attribution-NonCommercial 4.0 International \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which allows third parties to use the publication as long as the work's authorship and its first publication in this journal are mentioned.