



El monitoreo forestal por medio de Sitios Permanentes de Investigación Silvícola en Chihuahua, México Forest monitoring by means of Permanent Plots for Forestry Research in Chihuahua, México

Martín Martínez Salvador^{1*}, Gabriel Sosa Pérez², Juan Manuel Chacón Sotelo¹, Alfredo Pinedo Álvarez¹, Federico Villarreal Guerrero¹ y Jesús Alejandro Prieto Amparan¹

Abstract

Forest monitoring allows the generation of databases with valuable information, which are useful for developing knowledge and technology to make a better management of the natural resources. In the state of *Chihuahua*, Mexico, forest monitoring started in 1950. At that time, the first silvicultural monitoring in permanent plots (SPIS) was established in a forest known as "El Poleo", which is located in *Madera* municipality, *Chihuahua*. Later, from 1980 to 1990, a group of 234 permanent plots were established in the research station of INIFAP, which is located in the south of the same municipality. From 1990 to 2000, another 48 permanent plots were carried out in the *Bocoyna* municipality as a part of the International Model Forest Network, and 16 more in the *Guachochi* municipality. Finally, from 1998 to 2001 the Forest Development Program (Prodefor), in 2013 and 2014, 857 sites promoted by Conafor were established along different *ejidos* in the forest of *Chihuahua* contributed to set down another 48 permanent plots in the *Guadalupe y Calvo* municipality, located in the south of *Chihuahua* State. The sites of *El Poleo* in *Madera* and *Llano Blanco* in *Guadalupe y Calvo*, were resampled after their establishment. The records of these plots show an annual timber increment from 4 to 16 m³ha⁻¹. Historical information and databases of the SPIS are a valuable precedent for the forest monitoring in the north of Mexico, as well as a contribution to generate better methods for a sustainable forest management in the region.

Kew words: forest ecosystem, forest inventories, sustainable forest management, silvicultural methods, forest monitoring, SPIS.

Resumen

El monitoreo forestal es de gran interés para integrar bases de datos que permitan generar conocimiento y nuevas tecnologías para optimizar la producción, proteger los recursos y acrecentar el valor de los bosques, a través del manejo forestal sustentable. En el estado de Chihuahua, el monitoreo para el desarrollo de conocimiento científico relativo a estos ecosistemas se inició en 1950 con el establecimiento del primer Sitio Permanente, de Investigación Silvícola (SPIS), en el paraje conocido como "El Poleo", el cual se ubica en el norte del municipio Madera. En la década de 1980-1990 se establecieron 234 parcelas en el área experimental del INIFAP, localizada en la región sur del ejido El Largo; de 1990 a 2000, se implementaron 48 parcelas en el municipio Bocoyna y 16 en el municipio Guachochi, como parte del proyecto: Bosque Modelo. Finalmente, entre 1998 y 2001 se delimitaron 48 parcelas en el municipio Guadalupe y Calvo con el apoyo del Programa de Desarrollo Forestal (Prodefor). Las parcelas localizadas en El Poleo, Madera, Llano blanco, así como Guadalupe y Calvo tienen datos de remediciones periódicas; las cuales muestran incrementos medios anuales superiores a 4 m³ha⁻¹, con registros de hasta 16 m³ha⁻¹ en el sur de la entidad. La información histórica y las bases de datos de los SPIS son un valioso antecedente para el seguimiento de los programas de monitoreo y el desarrollo de métodos silvícolas para el manejo sustentable de los bosques de la región.

Palabras clave: Ecosistemas forestales, inventarios forestales, manejo forestal, métodos silvícolas, monitoreo forestal, SPIS.

Fecha de recepción/Reception date: 22 de marzo de 2019

Fecha de aceptación/Acceptance date: 26 de agosto de 2019

¹Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.

²Campo Experimental La Campana. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México

*Autor por correspondencia; Correo-e: msalvador@uach.mx

Introducción

La superficie de bosques templados del estado de Chihuahua es de 7.4 millones de hectáreas, de las cuales 86 % son de uso colectivo o ejidal (Inegi, 2014). En estos bosques, la composición florística clímax está representada por especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*, principalmente (Martínez *et al.*, 2012). La cosecha de madera en la entidad es de 1.16 millones m³ en promedio, lo que equivale a 18 % de la producción nacional (Semarnat, 2017); estos datos destacan la importancia socioeconómica y biológica de esos ecosistemas, así como la necesidad de implementar programas de monitoreo forestal y realizar el diseño de estrategias para el manejo sustentable de los recursos naturales (Kleinn y Morales, 2002).

Antes de revisar la evolución del monitoreo en el estado es necesario puntualizar las diferencias entre el de tipo silvícola y el forestal. El primero se refiere a la colecta de información periódica para evaluar la respuesta del bosque ante la aplicación de tratamientos de manejo y cosecha (Martínez *et al.*, 2012); mientras que el segundo, además de incluir al silvícola, incorpora la medición de indicadores que abordan la complejidad de los ecosistemas, al considerar la estructura y funcionamiento de las poblaciones, comunidades, paisajes e indicadores socioeconómicos y culturales (Palmer, 2011)

El monitoreo forestal en sus inicios se centró en conocer la cantidad y distribución de los bosques a través de indicadores de estructura de los ecosistemas, tales como la superficie forestal, composición botánica y existencias maderables con fines silvícolas (Päivinen *et al.*, 1994; FAO, 2017). Posteriormente, con la creciente discusión sobre el caos ambiental y la incorporación de las teorías sobre sustentabilidad y cambio climático, se reconoció la necesidad de generar conocimiento sobre las funciones del ecosistema, tales como captura de carbono, producción de agua, conservación de la biodiversidad, productividad y degradación de los suelos (Bugmann y Solomon 1995; Wulder *et al.*, 2004; Saarinen *et al.*, 2018). En la actualidad, se le han incorporado algunas variables relacionadas con la participación social y cultural en el manejo de los bosques (FAO, 2017).

Uno de los primeros esquemas de monitoreo forestal implementado en Chihuahua fue la red de "Bosque Modelo" (Besseau *et al.*, 2002). Este sistema tuvo influencia en México a través del establecimiento de parcelas de monitoreo en las áreas boscosas del estado en el año de 1995 (Martínez *et al.*, 2012). A finales de la década de los 90, se impulsó el proceso de auditoría internacional para la certificación forestal del Consejo de Manejo Forestal (FSC, por sus siglas en inglés) (Ismail *et al.*, 2011) y recientemente, el sistema Monitoreo, Reporte, Verificación (MRV) como parte del mecanismo de la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero Causadas por la Deforestación y Degradación de los Bosques (REDD+) (Palmer, 2011; Plugge y Köhl, 2012).

No obstante, la historia del monitoreo forestal en Chihuahua data de mediados del siglo pasado, con el primer Sitio Permanente de Investigación Silvícola (SPIS) conocido como "El Poleo", el cual se ubicó en el municipio Madera, en el año de 1950 con la finalidad de evaluar el efecto de diferentes intensidades de corta sobre el incremento maderable (Mas y Pahuja, 1989). A este le siguieron una serie de sitios de monitoreo descritos en el presente documento, hasta el año 2002, los cuales fueron establecidos por técnicos forestales, con apoyo de diferentes dependencias (Tena, 2000; Meléndez, 2001a; Meléndez 2001b; Martínez *et al.*, 2012; Nava-Miranda *et al.*, 2014).

Cabe destacar que, durante los años 2007, 2013 y 2014 se delimitaron 3 669 sitios permanentes en 14 estados de la república mexicana, que incluyen los de Chihuahua, en cuyos bosques templados se localizaron 857 sitios. Este esfuerzo fue desarrollado por la Comisión Nacional Forestal (Conafor), con el apoyo de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED) para el almacenamiento de la información en línea, mediante el sistema denominado Monafor (Nava-Miranda, 2014).

Por otra parte, la influencia de los inventarios forestales en el monitoreo de los bosques del estado de Chihuahua también ha sido importante. El primer inventario se realizó en el periodo 1961-1985, en el cual se utilizaron como referencias espaciales fotografías aéreas y muestreos de campo dirigidos sobre las principales áreas arboladas del país (SARH, 1992). Este dio pauta a que en 1991 se implementara

el Inventario Nacional Forestal de Gran Visión (SARH, 1992), en el que por primera vez las áreas forestales se plasmaron en mapas escala 1: 1 000 000. En 1992, se inició el Inventario Nacional Forestal Periódico (SARH, 1994), y a partir del año 2004 el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) a una escala de 1: 250 000 (Conafor, 2009a). Este concluyó en noviembre de 2007, momento en que iniciaron las remediciones periódicas en 10 % de los conglomerados del INFyS a nivel nacional (Conafor, 2009a).

A pesar del interés local, regional y nacional por tener sistemas óptimos de monitoreo forestal y silvícola, son pocas las experiencias que se consideran bien documentadas para formar una base de datos confiable que permita cuantificar los crecimientos o incrementos maderables, lo cual es necesario para implementar sistemas de manejo sustentables en el ámbito local de los bosques de Chihuahua (Martínez *et al.*, 2012). El presente documento muestra un antecedente de los SPIS establecidos en la entidad en los últimos 70 años. La información es útil para el desarrollo de proyectos que incidan en la investigación ecológica estatal, así como una evidencia histórica del monitoreo silvícola en la región.

Localización de los SPIS

La historia del monitoreo en la investigación silvícola del estado de Chihuahua evidencia que entre los años 1950 y 2004, se establecieron 346 parcelas distribuidas en 16 Sitios Permanentes de Investigación, en diferentes regiones del estado (Cuadro 1).



Cuadro 1. Localización de los SPIS en el estado de Chihuahua.*

| Nombre del sitio | Localidad | Latitud | Longitud | Núm. de parcelas |
|--------------------------------|--|--------------|---------------|------------------|
| El Poleo | Mesa del Negro, municipio Madera | 29°33'3.55" | 108° 31'56.7" | 9 |
| Área Experimental Madera | El Largo Madera, Zona Sur, Madera | 29°06'45" | 108°11'45" | 225 |
| San Ignacio de Arareco | Ejido San Ignacio de Arareco, municipio Bocoyna, Chihuahua | 27°40'21.6" | 107°32'17.8" | 16 |
| San Juanito | Ejido San Juanito, municipio Bocoyna | 28°0 47.7" | 107°35'44.9" | 16 |
| Cusarare | Ejido Cusarare, municipio Guachochi | 27°34'49.7" | 107°28'13.3" | 16 |
| Retiro y Gumeachi | Ejido El Retiro y Gumeachi, municipio Bocoyna | 27°59'5.6" | 107°40' 54.6" | 16 |
| Caseta de la Judicial | Ejido Chinatú, Guadalupe y Calvo | 26°04'50.00" | 106°45'15.00" | 4 |
| Rancho del Indio | Ejido Chinatú, Guadalupe y Calvo | 26°01'15.00" | 106°46'01.00" | 4 |
| Puerto El Sabinal | Ejido Chinatú, Guadalupe y Calvo | 26°01'15.00" | 106°47'55.00" | 4 |
| Llano Blanco | Ejido Llano Blanco, Guadalupe y Calvo, Chihuahua | 26°03'34.0" | 106°54'28.6" | 12 |
| Pista aérea del Zorrillo | Ejido El Pinito, Guadalupe y Calvo | 26°03'4.66" | 106°58'42.51" | 4 |
| Las Cuevas | Ejido El Pinito, Guadalupe y Calvo | 26°05'18" | 107°00'24.4" | 4 |
| Área de regeneración | Ejido El Pinito, Guadalupe y Calvo | 26°05'38.5" | 107°01'13.4" | 4 |
| Ojuelos o Aguaje | Ejido Redondeados y anexos, Guadalupe y Calvo | 25°44' | 106°51' | 4 |
| Entronque a mesa de San Rafael | Ejido Redondeados y anexos, Guadalupe y Calvo | 25°47' | 106°47' | 4 |
| Área de regeneración | Ejido Redondeados y anexos, Guadalupe y Calvo | 25°05' | 106°01' | 4 |

*No se incluye la localización de 857 parcelas permanentes establecidas por la Conafor (Nava-Miranda *et al.*, 2014); dicha información está protegida por la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED) en su página <http://forestales.ujed.mx/monafor/inicio/creditos.php>.

Para la integración documental de los SPIS, se realizaron revisiones de los proyectos de Sitios Permanentes de Investigación Silvícola, desde el año 1950. Se consultaron bases de datos existentes en los archivos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, así como en las Unidades de Manejo Forestal de las regiones Madera (0802), San Juanito (0805) y Guadalupe y Calvo, Chihuahua (0808). En la Figura 1 se muestra la distribución espacial de los SPIS en el estado, que comprende la zona norte en el área de Madera, la centro en la región de Bocoyna y Guachochi y la del sur en el municipio Guadalupe y Calvo. En el periodo de 2013 al 2014 se implementaron 857 parcelas permanentes en diversos predios del estado, con tamaños que varían de 625 m² (25 × 25 m), 1 000, 1 500 o 2 500 m² en masas mixtas (Nava-Miranda *et al.*, 2014).



Figura 1. Localización de los SPIS en el estado de Chihuahua.

Características de los SPIS en el estado de Chihuahua

Los SPIS están formados por parcelas experimentales para la colecta de información con múltiples objetivos, entre los que destaca el interés por evaluar la productividad de los bosques ante diferentes niveles de densidad o edades de los árboles.

Sitio experimental El Poleo

Se estableció en 1950, desde entonces y hasta 1980, se remidieron el diámetro normal, altura total, altura del fuste limpio y diámetros de copa de todos los árboles cada diez años, en nueve parcelas de una hectárea, cada una.

El Poleo, inicialmente, presentó dos condiciones: la denominada de viejo crecimiento, con estructuras maduras, diámetros superiores a 30 cm con escasa presencia de arbolado joven; y la condición de masas jóvenes o de segundo crecimiento, con altas densidades por unidad de superficie. En ambas, se encuentran las especies *Pinus durangensis* Martínez y *Pinus arizonica* Engelm., asociadas a diferentes taxones de *Quercus* spp (Manzanilla, 1993; Tena, 2000).

La estructura de las parcelas es de forma cuadrada, con 300 m por lado y una extensión de nueve hectáreas. Cada una subdividida en nueve unidades experimentales de una hectárea (100 × 100 m). En estas parcelas se aplicaron cuatro intensidades de corta (IC), con cuatro repeticiones, con la intención de evaluar el efecto de la densidad residual sobre el incremento en volumen (Figura 2). También, se evaluó el efecto de la densidad en un testigo (tratamiento sin intervención) (Mas y Pahuja, 1989).

| | | | | |
|-------|-------|----------|--------------------|-----------|
| 100 m | → | | | |
| | | G 20% | H 50% | I 100% |
| ↓ | 100 m | D 25% | E 0% Testigo | F 50% |
| | | A 25% | B 75% | C 75% |

Figura 2. Distribución de los tratamientos en el sitio El Poleo.

(Modificado de Manzanilla, 1993).

La información de volumen e incrementos para el periodo 1950-1960 muestra evidencias del efecto de la densidad residual sobre los incrementos en los primeros diez años (Cuadro 2). Se observan valores anuales mayores en las parcelas testigo, 50 % y 75 % de intensidad de corta, con 5.4, 5.2 y 4.2 m³ha⁻¹ de volumen total árbol (vta), respectivamente; en las siguientes décadas, así como en la evaluación promedio de incremento medio anual (IMA), los tratamientos con cortas menos intensivas (A, D, E y G) mostraron menores incrementos en comparación con los tratamientos de mayor intensidad (B, H, I). Lo anterior se atribuye al efecto de competencia a través del manejo de densidades, lo cual redujo considerablemente el aumento en biomasa.

Cuadro 2. Volumen e incrementos en el SPIS El Poleo para el periodo 1950-1980.

| Parcela | IC % | VTA m ³ ha ⁻¹ e IMA en el periodo correspondiente | | | | | | | IMA |
|---------|------|---|-------|-----|-------|-----|-------|-----|----------|
| | | 1950 | 1960 | IMA | 1970 | IMA | 1980 | IMA | Promedio |
| A | 25 | 217.8 | 225.6 | 0.8 | 254.0 | 2.8 | 278.0 | 2.4 | 2.0 |
| B | 75 | 57.7 | 86.7 | 2.9 | 163.9 | 7.7 | 218.4 | 5.5 | 5.4 |
| C | 75 | 61.4 | 103.1 | 4.2 | 144.3 | 4.1 | 173.6 | 2.9 | 3.7 |
| D | 25 | 108.9 | 139.7 | 3.1 | 180.6 | 4.1 | 194.6 | 1.4 | 2.9 |
| E | 0 | 178.8 | 232.4 | 5.4 | 265.7 | 3.3 | 288.7 | 2.3 | 3.7 |
| F | 50 | 104 | 118.6 | 1.5 | 130.8 | 1.2 | 162.7 | 3.2 | 2.0 |
| G | 20 | 148.2 | 172.3 | 2.4 | 230.3 | 5.8 | 233.6 | 0.3 | 2.8 |
| H | 50 | 112.1 | 163.6 | 5.2 | 205.0 | 4.1 | 251.3 | 4.6 | 4.6 |
| I | 100 | 16.3 | 17.7 | 0.1 | 81.7 | 6.4 | 144.2 | 6.3 | 4.3 |

VTA = Volumen total del árbol, IC = Intensidad de corta, IMA = Incremento Medio Anual en m³ha⁻¹ vta; IMA Promedio = IMA para el periodo estudiado.

Sitios del Área Experimental Madera

En los años 1980 y 1981 se implementó una red de 100 sitios permanentes de investigación silvícola (SPIS), de una hectárea cada uno en el Área Experimental del INIFAP, localizada en la zona sur del ejido El Largo, Madera, Chihuahua; cuya finalidad era determinar el desarrollo de la regeneración de *P. arizonica* bajo diferentes tratamientos de aclareos y árboles Padre; sin embargo, estos fueron afectados por incendios en el periodo de 1991 a 1995 (Alanís *et al.*, 2000). Después, en 1985, se establecieron 125 SPIS de forma circular, de un décimo de hectárea como parte de un sistema de monitoreo conocido como Inventario Forestal Continuo (IFC), el cual pertenece a un sistema de monitoreo del ejido El Largo.

SPIS en Bocoyna y Guachochi, Chihuahua

La red de sitios de investigación silvícola en Bocoyna formó parte del programa "Manejo integrado de los recursos naturales en un programa piloto de Bosque Modelo en la región centro de la sierra de Chihuahua", el cual se realizó en colaboración con el Programa Internacional de Bosque Modelo, la Dirección de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado y el INIFAP con el objetivo de mantener bajo constante monitoreo las estructuras arbóreas (diámetro normal, altura total, diámetro de la copa, además del crecimiento), con o sin tratamiento silvícola (Martínez *et al.*, 2012).

Se consideraron diferentes condiciones de productividad del bosque (Cuadro 3) y se establecieron 64 SPIS: 16 sitios de alta productividad en el ejido San Juanito, 16 de media productividad en el ejido San Ignacio de Arareco, 16 de baja productividad en el ejido Cusarare, y 16 de muy alta productividad en el ejido Retiro y Gumeachi (Chacón y Cano, 1998).

Cuadro 3. Tratamientos aplicados en los bosques de la región San Juanito-Creel, Chihuahua.

| Alta, Media y Baja productividad | Muy Alta Productividad |
|---|-------------------------------|
| 60 % | 50 % |
| 40 % | 40 % |
| 30 % | 70 % |
| 0 % | 0 % |

Cada tratamiento corresponde al porcentaje de aclareo aplicado en las parcelas por nivel de productividad.

Los sitios ubicados en el municipio Bocoyna, al igual que los del municipio Madera, solo cuentan con la información del establecimiento, por lo que no fue posible realizar inferencias en relación con atributos de crecimiento o de incremento.

Guadalupe y Calvo, Chihuahua

En el municipio Guadalupe y Calvo, localizado en el sur del estado de Chihuahua, se establecieron SPIS entre los años 1999 y 2000 en cuatro ejidos, para evaluar la respuesta del arbolado residual a diferentes niveles de densidad.

Ejido Chinatú

En el año 1999 se implementaron 12 parcelas en un bosque con edades entre los 30 y 60 años, con el objetivo de evaluar el comportamiento de *P. arizonica* y su dinámica de desarrollo (Tena, 2000; Meléndez, 2001a). El tamaño de las parcelas fue de 625 m², se establecieron en tres clases de edad (30, 45 y 60 años), con cuatro repeticiones por clase. Cada una se dividió en cuatro cuadrantes, y se numeraron todos los árboles mayores a 7.5 cm de diámetro normal, con base en la metodología de Manzanilla, modificada por Martínez *et al.* (2012).

Al año siguiente, se adicionaron otras 12 parcelas experimentales con el objetivo de conocer la respuesta de crecimiento de *P. arizonica* en tres calidades de sitio (buena, regular y mala), de acuerdo a las condiciones de profundidad y tipo de suelo, así como

a la pendiente; y calificados en función de la experiencia del técnico forestal. Se consideraron tres densidades de arbolado. En este caso, las edades fluctuaron entre 20 y 25 años. Las parcelas tuvieron una superficie de 400 m², en las cuales se instaló un diseño experimental de cuatro tratamientos, con diferente número de árboles por hectárea: 100, 900, 1 100, y un testigo con el número de árboles en alta densidad. A cada tratamiento le correspondieron cuatro repeticiones (Meléndez, 2001a). A la fecha, no hay información de mediciones.

Ejido Llano Blanco

El objetivo de este SPIS fue evaluar el efecto de las densidades en el incremento en volumen de *P. arizonica*. El diseño utilizado fue completamente al azar, con cuatro tratamientos: Testigo, 1 100, 1 600, 2 500 árboles ha⁻¹. Se establecieron tres repeticiones por tratamiento. Las parcelas fueron de forma cuadrada (10 m x 10 m), con orientación norte-sur y una separación entre sitios de 5 a 10 m. Se colectó información de los árboles con diámetro normal mayor a 7.5 cm.

En el Cuadro 4 se muestran los incrementos anuales superiores a 4 m³ha⁻¹ vta, los cuales asumen alta productividad en la región, en comparación con los datos institucionales, ya que para bosques de coníferas y latifoliadas de México, la Comisión Nacional Forestal (Conafor) estima un incremento medio anual de 1.35 m³ha⁻¹ vta (Conafor, 2018).

Por otra parte, los resultados evidencian que para densidades de 1 600 árboles por hectárea existen tendencias de incrementos de hasta 16.3 m³ha⁻¹ vta. Este dato califica a la región como una de las zonas más productivas del norte de México.

Los incrementos registrados en el ejido Llano Blanco respaldan los resultados preliminares de la red de parcelas permanentes que alberga la página electrónica de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), los cuales incluyen crecimientos promedio para los bosques de Durango de: 6.36, 1.9, 0.47, y 1.51 m³ha⁻¹, para los géneros *Pinus*, *Quercus*, otras hojosas, y otras coníferas, respectivamente. Además, se indica la existencia de regiones donde los incrementos podrían ser tres veces superiores (Nava-Miranda *et al.*, 2014).

Cuadro 4. Volumen e incrementos en el Sitio Experimental Llano Blanco para el periodo 2000-2004.

| Tratamiento 32 (Árboles ha⁻¹) | Núm. sitio | DN1 (cm) | DN2 (cm) | A1 (m) | A2 (m) | VOL1 (m³ha⁻¹) | VOL2 (m³ha⁻¹) | IMA (VOL) (m³ha⁻¹) |
|---|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|---|
| 1 600 | 1 | 11.6 | 12.9 | 9.3 | 10.0 | 94.64 | 126.65 | 10.38 |
| 2 500 | 2 | 9.9 | 11.6 | 8.7 | 9.8 | 99.95 | 120.23 | 6.58 |
| Testigo | 3 | 8.7 | 9.5 | 8.2 | 8.8 | 200.57 | 215.86 | 4.96 |
| 1 600 | 4 | 8.7 | 10.5 | 7.9 | 8.5 | 44.09 | 50.73 | 2.16 |
| Testigo | 5 | 7.1 | 8.3 | 7.8 | 8.4 | 177.19 | 174.58 | -0.85 |
| 1 100 | 6 | 10.5 | 12.2 | 8.3 | 9.0 | 46.86 | 63.17 | 5.29 |
| 2 500 | 7 | 6.5 | 7.6 | 4.9 | 5.7 | 24.37 | 12.38 | -3.89 |
| Testigo | 8 | 8.3 | 9.3 | 8.1 | 8.9 | 150.70 | 122.01 | -9.31 |
| 1 100 | 9 | 11.9 | 13.4 | 8.7 | 9.5 | 62.54 | 84.37 | 7.08 |
| 1 600 | 10 | 14.3 | 16.0 | 10.5 | 11.3 | 152.70 | 202.99 | 16.31 |
| 2 500 | 11 | 10.6 | 11.7 | 8.7 | 9.5 | 114.62 | 151.44 | 11.94 |
| 1 100 | 12 | 11.4 | 12.7 | 9.1 | 9.8 | 58.66 | 76.63 | 5.83 |

DN1, DN2 = Diámetros normales promedio después del aclareo y en la remediación;
 A1 y A2 = Alturas totales promedio por sitio después del aclareo y en la remediación;
 VOL1 y VOL2 = Volúmenes por sitio después del aclareo y en la remediación
 (volumen total árbol (vta); IMA = incremento medio anual (periodo de 3.08 años).

Ejido El Pinito

El establecimiento de los SPIS se realizó en el año 2000, con el objetivo de conocer el crecimiento y el rendimiento de tres rodales con diferente clase de edad (joven, mediana y madura): 15-25 años, 35-45 años y 45-55, respectivamente; mediante la aplicación de diferentes densidades de aclareo. Las parcelas se ubicaron en los parajes denominados: Pista Aérea del Zorrillo, Las Cuevas y Área de Regeneración (Meléndez, 2001b).

Se eligieron tres rodales con dominancia de *P. arizonica* y *P. duranguensis*, en asociación con *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltl. y *Pinus lumhotzii*, con presencia de algunas especies de los géneros *Quercus* spp, *Juniperus* spp, *Arbutus* spp y *Alnus* spp.

La clase de edad joven se ubicó en el paraje El Zorrillo, con parcelas a densidades de 32, 40 y 48 árboles y un testigo con 91 individuos; la clase mediana en el paraje Las Cuevas, con parcelas de 20, 24, 28 árboles y 38 árboles como testigo; mientras que, la clase de edad madura se estableció en el paraje Área de Regeneración, con densidades de 8, 12 y 16 árboles y 42 árboles en el sitio testigo. Actualmente sólo existe información de su establecimiento.

Ejido Redondeados

En el año 2000 se implementaron 12 parcelas experimentales, con el objetivo de conocer el efecto de la densidad en masas jóvenes. El establecimiento de los SPIS se hizo en forma dividida en tres parajes conocidos como Ojuelos o Aguaje, entronque a la Mesa de San Rafael y Rancho de Carlos. En cada uno se localizaron cuatro sitios de 2 500 m², en forma de cuadros de 50 m por 50 m, en los cuales se aplicaron cuatro tratamientos de densidad residual: 20, 32, 42 árboles y un testigo con 52 árboles. En la actualidad, este sitio está administrado por personal técnico del ejido, quien continúan los procesos de remediación.

Los Sitios Permanentes de Investigación Silvícola existentes en el estado de Chihuahua se están retomando para continuar con el proceso de monitoreo. La información presentada en el presente documento muestra un antecedente del monitoreo silvícola adicional al que realizan los profesionales forestales para la elaboración de los programas de manejo con fines de aprovechamiento, y a los esfuerzos que llevan a cabo algunas dependencias con fines específicos de conservación o protección.

Discusión

Las decisiones más acertadas para el uso, manejo y conservación de los recursos forestales están sustentadas en los resultados del análisis de series de datos confiables aportadas por el monitoreo forestal, el cual basa su calidad en la definición clara de su escala y objetivos; no obstante, cualesquiera que sean estos, el monitoreo forestal suele ser un proceso costoso, sobre todo, por el involucramiento de personal científico o técnico altamente calificado (Palmer, 2011).

Los SPIS del estado de Chihuahua representan una buena referencia del monitoreo forestal en el norte de México. Sin embargo, es evidente que ese sistema ha cumplido de manera parcial su objetivo, debido a la interrupción en la colecta periódica de información, situación que se puede relacionar con las carencias de financiamiento, falta de operación de proyectos de largo plazo y escaso involucramiento de los pobladores locales o de los dueños de los bosques.

En años recientes, se ha intensificado el esfuerzo para el establecimiento de Parcelas Permanentes de Investigación Silvícola en México, que incluyeron 857 parcelas en Chihuahua, como parte de una estrategia de monitoreo implementada por la Conafor (Nava-Miranda *et al.*, 2014). La información de las mediciones y remediciones de esos sitios, establecidos en la última década, se encuentra almacenada en una base de datos llamada: Monitoreo Nacional Forestal (Monafor), la cual se hospeda en la página principal de la Universidad Juárez del Estado de Durango (<http://forestales.ujed.mx/monafor/inicio/>).

Por otra parte, en el ámbito internacional se ha sugerido abordar la colecta de información, a partir del esquema denominado *community-based/locally based monitoring* o Monitoreo Local Comunitario (Danielsen *et al.*, 2005; García y Lescuyer, 2008, Conafor, 2009b). Este monitoreo involucra la participación de los dueños y usuarios locales de los bosques, con la participación de los pobladores, tanto en la decisión de que indicadores medir como en la colecta periódica de los datos (Danielsen *et al.*, 2009).

Este tipo de intervención local ha sido muy aceptada por el sistema MRV del mecanismo REDD+; asimismo, es considerado parte esencial de la gobernanza ambiental y como una salvaguarda para la gestión de los bosques (Palmer, 2011; Skutsch, 2011).

El Monitoreo Local Comunitario se ha implementado en el estado de Oaxaca, en el sur de México, a través del sistema conocido como Silvicultura Comunitaria (Barton y Merino, 2005). Sin embargo, en Chihuahua, ha sido difícil de introducir, probablemente, por las formas de organización social y la interpretación de los derechos y obligaciones de las poblaciones locales en el uso, manejo y conservación de los recursos naturales.

En los ámbitos nacional e internacional existe un creciente interés por la colecta de información para generar estrategias para frenar la degradación de los ecosistemas, cuidar la biodiversidad y sostener la producción de bienes y servicios, así como por evaluar la participación social en el manejo de los bosques (FAO, 2017). Entre estas iniciativas destaca el Sistema MRV del Mecanismo REDD+ (Plugge y Köhl, 2012) y los mecanismos de certificación, nacionales o internacionales (Ismail *et al.*, 2011), los cuales han impulsado el establecimiento de sitios de monitoreo con múltiples objetivos, que incluyen variables no solo ambientales, sino también sociales y económicas.

En lo referente al diseño de las parcelas permanentes de investigación silvícola o forestal en el estado de Chihuahua, en sus inicios, el establecimiento de Sitios Permanentes de Investigación Silvícola se basó, principalmente, en la metodología propuesta por Manzanilla en 1993. Dicho formato lo han retomado algunos investigadores, quienes han adaptado el sistema de monitoreo a las condiciones actuales de los bosques y a las nuevas necesidades de información (Corral-Rivas *et al.*, 2009). Además, también se tiene la estructura de los conglomerados del INFyS, con sitios circulares y subparcelas para medir la vegetación mayor y menor, la regeneración, así como las características del suelo y de los combustibles. Este diseño posee una base de datos de alto valor para el conocimiento de los ecosistemas forestales de México (Conafor, 2018).

Cabe destacar, que para referirse al monitoreo silvícola y forestal en el norte de México es recomendable considerar el sistema de monitoreo establecido en el estado de Durango, cuyos datos se pueden consultar en el sistema Monafor. A partir de este esfuerzo digital, se ha iniciado un proceso de remediciones, que ha permitido identificar información relevante en relación con los incrementos maderables y que se hayan generado herramientas para el manejo silvícola, como guías de densidad y ecuaciones de crecimiento de las estructuras del arbolado, así como la validación de los sistemas de planeación para el manejo de los bosques de la región (von Gadow *et al.*, 2016; Corral-Rivas *et al.*, 2019; Quiñonez-Barraza *et al.*, 2018)

Por otra parte, el uso de sensores remotos, en el ámbito internacional se ha convertido en una herramienta de fácil acceso y con alta confiabilidad para el monitoreo de los bosques (De León *et al.*, 2014; Saarinen *et al.*, 2018). Entre las principales variables posibles de monitorear a través del uso de sensores remotos están la pérdida de cubierta forestal, la fragmentación de los bosques, la captura de carbono, incendios y plagas forestales, así como los cambios en el uso del suelo (Banskota *et al.*, 2014).

Tanto el monitoreo local comunitario, como el uso de herramientas geoespaciales como los sensores remotos son elementos que permitirán implementar un sistema de monitoreo forestal moderno e incluyente, el cual favorecerá que la sociedad tenga un mayor acceso a los recursos forestales y desarrolle herramientas más efectivas de acuerdo con la complejidad biológica, cultural y socioeconómica de la actividad silvícola en los ecosistemas.



Conclusiones

Desde 1950 se iniciaron los esfuerzos para el establecimiento de un sistema de monitoreo silvícola en el estado de Chihuahua. En el periodo 1950-2002 se implementaron 346 SPIS y en años recientes (2013 y 2014) se ubicaron 857 más en diversos predios del estado. No obstante, la política forestal y la toma de decisiones a nivel local no ha sido asertiva en el proceso de remediación de dichas parcelas, ya que en la mayoría de ellas solo se tiene información de su establecimiento, lo cual frustra los objetivos del monitoreo.

La falta de financiamiento ininterrumpido puede ser un factor importante para limitar el monitoreo, por lo que se podrían incorporar alternativas, como el monitoreo comunitario y el uso de herramientas modernas, sensores remotos, para asegurar la colecta continua de información. Para el sitio El Poleo se estimaron incrementos promedio de hasta $5.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de volumen total árbol, mientras que para el sur del estado en el ejido Llano Blanco fueron de hasta $16.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ VTA. Estos datos no han sido documentados con anterioridad, y muestran el alto potencial de incrementos maderables que se tienen en los bosques del estado.

El monitoreo realizado en el estado de Chihuahua en el periodo considerado se ha enfocado en la evaluación del incremento y crecimiento en biomasa de los árboles, en función de la aplicación de tratamientos de cosecha; por lo que se sugiere incorporar sistemas de monitoreo que involucren indicadores de función de los ecosistemas, así como variables socioeconómicas y culturales.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica Conacyt-Gobierno del Estado de Chihuahua, por el apoyo brindado para la realización del proyecto CHIH-2009-CO2-126249. Al personal técnico del ejido El Largo. Al ing. Antonio Galván Moreno e Ing. Roberto Armendáriz Olivas quienes contribuyeron en el establecimiento y mediciones de los SPIS en el ejido Llano Blanco.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en el proceso de la investigación que originó el presente documento.

Contribución por autor

Martín Martínez-Salvador: coordinación, análisis y redacción del documento; Gabriel Sosa-Pérez: colecta y digitalización de la información, revisión y discusión; Juan Manuel Chacón-Sotelo: aportación de archivos históricos, colecta de información y revisión del manuscrito; Alfredo Pinedo-Álvarez: análisis de información y redacción del documento; Federico Villarreal-Guerrero: sistematización de la información digital, revisión y edición; Jesús Alejandro Prieto-Amparan: colaboración en la discusión y edición del documento.

Referencias

- Alanís, M. H., M. Cano R., M. Tena V. y R. Armendáriz O. 2000. Efecto de los daños causados por incendios forestales en bosques de pino del Área Experimental Madera. INIFAP. Folleto Técnico Núm. 15. Chihuahua, Chih., México. 24 p.
- Banskota, A., N. Kayastha, M. J. Falkowski, M. A. Wulder, R. E. Froese and J. C. White. 2014. Forest Monitoring Using Landsat Time Series Data: A review. *Canadian Journal of Remote Sensing* 40(5):362–384. Doi: 10.1080/07038992.2014.987376.
- Barton, B. D. y P. Merino L. 2005. La experiencia de las comunidades forestales en México: veinticinco años de experiencia y construcción de empresas forestales comunitarias. Semarnat- Consejo Civil Mexicano. México, D. F., México. 273 p.
- Bugmann, H. K. M. and M. Solomon A. 1995. The use of a European forest model in North America: a study of ecosystem response to climate gradients. *Journal of Biogeography* 22(2): 477-484. Doi: 10.2307/2845944.

Chacón, S. J.M. y M. Cano. 1998. Estructuras arbóreas de la región de San Juanito-Creel y su comportamiento. Folleto Científico Núm. 8. INIFAP. Chihuahua, Chih., México. 33 p.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2009a. Inventario nacional forestal y de suelos: manual y procedimientos para el muestreo de campo. Semarnat-Conafor. Guadalajara, Jal., México. 133 p.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2009b. Inventario Nacional Forestal y de Suelos México 2004-2009. Una herramienta que da certeza a la planeación, evaluación y el desarrollo forestal de México. Comisión Nacional Forestal. San Juan de Ocotán Zapopan, Jal., México. 22 p.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2018. Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe de Resultados 2009-2014. Presidencia de la República. Zapopan, Jal, Méx. 200 p.

Corral-Rivas J., M. S. González-Elizondo, J. E Lujan-Soto and K. von-Gadow. 2019. Effects of density and structure on production in the communal forests of the Mexican Sierra Madre Occidental. *Southern Forests: a Journal of Forest Science* 81(1): 1-10. Doi: 10.2989/20702620.2018.1463152.

Corral-Rivas, J.J., B. Vargas L., C. Wehenkel, O. Aguirre C., G. Álvarez J.y A. Rojo A. 2009. Guía para el Establecimiento de Sitios de Investigación Forestal y de Suelos en Bosques del Estado de Durango. Editorial UJED. Durango, Dgo., México. 81p.

Danielsen, F., D. Burgess N. and A. Balmford. 2005. Monitoring matters: examining the potential of locally-based approaches. *Biodiversity and Conservation* 14(11): 2507–2542. Doi: 10.1007/s10531-005-8375-0.

- Danielsen, F., D. Burgess N., A. Balmford, P. Donald, M. Funder, J. Jones P., P. Alviola, S. Balete D., T. Blomley, J. Brashares, B. Child, M. Enghoff, J. Fjeldsø, S. Holt, H. Hübertz, E. Jensen A., M. Jensen P, J. Massao, M. Mendoza M, Y. Ngaga, K. Poulsen M., R. Rueda, M. Sam, T. Skielboe, G. Stuart-Hill, E. T opp-Jørgensen and D. Yonten. 2009. Local participation in natural resource monitoring: a characterization of approaches. *Conservation Biology* 23:31–42. Doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.01063.x.
- De León M., G. D., A. Pinedo A. y G. Martínez J. 2014. Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 84 2014: 42-53. Doi: 10.14350/rig.36568.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2017. Voluntary guidelines on national forest monitoring. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 77 p.
- Garcia, C. A. and G. Lescuyer. 2008. Monitoring, indicators and community based forest management in the tropics: pretext or red herrings? *Biodiversity and Conservation* 17(6): 1303–1317. Doi: 10.1007/s10531-008-9347-y.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 2014. Carta de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI, Serie VI-2014 y Marco Geoestadístico 2010 versión 5.A. 1:250000. Aguascalientes, Ags., Mex. s/p.
- Ismail, M., A. Rossi and N. Geiger. 2011. A Compilation of Bioenergy Sustainability Initiatives: Update. Food and Agriculture Organization of the UN (FAO). Rome, Italy. 24 p.
- Kleinn, C. y D. Morales. 2002. Consideraciones metodológicas al establecer parcelas permanentes de observación en bosque natural o plantaciones forestales. *Revista Forestal Centroamericana* 39 (40): 6-12.

Manzanilla, B. H. 1993. Los sitios permanentes de investigación silvícola un sistema integrado para iniciarse en el cultivo de los ecosistemas forestales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México, D.F., México. 101 p.

Martínez, S. M., G. Sosa P., A. G. Valles G., J. A. López H., J. C. Monarrez G., R. Armendáriz O., J. M. Chacón S., A. Galván M. y C. Meléndez O. 2012. Estado actual del conocimiento de sitios permanentes de investigación silvícola (SPIS) en el estado de Chihuahua. INIFAP. Publicación especial Núm 4. Chihuahua, Chih., México. 125 p.

Mas, P. J. y A. G. Pahua. 1989. El sitio permanente de experimentación silvícola "La Nieve" a 27 años de su establecimiento. *Ciencia Forestal* 66(14):44-96.

Meléndez, O. C. 2001a. Respuesta de la calidad de sitio ante tres densidades de aclareo. Informe Final del proyecto en el Ejido Chinatú. Asociación de Productores y Responsables Técnicos de la Zona Sur del Estado de Chihuahua. Chihuahua, Chih., Méx. 97 p.

Meléndez, O. C. 2001b. Crecimiento de tres rodales de pino, con diferentes clases de edad y diferentes densidades de aclareo. Informe Final del proyecto en el Ejido El Pinito. Asociación de Productores y Responsables Técnicos de la Zona Sur del Estado de Chihuahua. Chihuahua, Chih., Méx. 110 p.

Nava-Miranda, M. G., H. L. Ávila-Márquez y J. J. Corral-Rivas. 2014. Una red de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos (spifys) disponible en México. *Innovación Forestal*.
https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=2951 (17 de agosto de 2019).

Päivinen, R., H. G. y de L., S. Poso and T. Zawila-Niedzwiecki. 1994. IUFRO: International Guidelines for Forest Monitoring. IUFRO World Series Vol. 5. IUFRO. Vienna, Italy. Doi: 10.13140/RG.2.1.4136.4568.

Palmer, F. B. 2011. Community forest monitoring in REDD+: the 'M' in MRV? *Environmental Science and Policy* 14 (2): 181-187. Doi: 10.1016/j.envsci.2010.12.004.

Peter B., D. Kafui and J. Frederick. 2002. The International Model Forest Network (IMFN): Elements of Success. *The Forestry Chronicle* 78(5):648-654. Doi: 10.5558/tfc78648-5.

Plugge, D. and M. Köhl. 2012. Estimating carbon emissions from forest degradation: implications of uncertainties and area sizes for a REDD+ MRV system. *Canadian Journal of Forest Research* 42(11):1996-2010. Doi: 10.1139/x2012-129.

Quiñonez-Barraza, G., J.C. Tamarit-Urias, M. Martínez-Salvador, X. García-Cuevas, H. M. De los Santos-Posadas and W. Santiago-García. 2018. Maximum density and density management diagram for mixed-species forests in Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 24(1): 73-90. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2017.09.056.

Saarinen, N., J. C. White, M.A. Wulder, A. Kangas, S. Touminen, V. Kankare, M. Holopainen, J. Hyyppa and M. Vastaranta. 2018. Landsat archive holdings for Finland: opportunities for forest monitoring. *Silva Fennica* 52(3):1-11. Doi: 10.14214/sf.9986.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1992. Inventario Nacional de Gran Visión, 1991-1992. Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre, SARH. Base de datos. México, D.F., México.
http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv1m92gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no (18 de agosto de 2019).

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico, 1992-1994, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, SARH. Base de datos. México, D.F., México. 141 p.

Secretaría del Medio Ambiente y recursos Naturales(Semarnat). 2017. Anuario estadístico de la producción forestal 2016. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Semarnat. México D.F., México. 228 p.

Skutsch, M. 2011. Community Forest Monitoring for the carbon market, opportunities under REDD. Earthscan. London, UK. 187 p.

Tena, V. M. 2000. Dinámica, desarrollo e impacto ecológico de los bosques del Estado de Chihuahua, en base a monitoreo de sitios permanentes de investigación silvícola. Informe final del proyecto. CONACYT-SIVILLA. Chihuahua, Chih., México. 59 p.

von-Gadow, K., X. H. Zhao, V. P. Tewari, C. Y. Zhang, A. Kumar, J. J. Corral-Rivas J. J. and R. Kumar. 2016. Forest observational studies: an alternative to designed experiments. *European Journal of Forest Research* 135(3): 417-431. Doi: 10.1007/s10342-016-0952-0.

Wulder, M. A., A. Werner K. and M. Gillis. 2004. National level forest monitoring and modeling in Canada. *Progress in Planning* 61(4):365-381. Doi: 10.1016/S0305-9006(03)00069-2.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.