



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS  
FORESTALES**

**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE  
LA MODELACIÓN FORESTAL EN MÉXICO**

**TESIS**

que como requisito parcial para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN CIENCIAS FORESTALES**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Presenta:

**SAIRA YESENIA MARTÍNEZ SANTIAGO**

Chapingo, Estado de México. Mayo de 2016.



Tesis realizada por **Saira Yesenia Martínez Santiago** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

Director:  \_\_\_\_\_

**Dr. David Cristóbal Acevedo**

Codirector:  \_\_\_\_\_

**Dr. Francisco José Zamudio Sánchez**

Asesor:  \_\_\_\_\_

**Dr. Arturo Antonio Alvarado Segura**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Chapingo, por todo el apoyo otorgado y al programa de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales por permitirme obtener el grado de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para efectuar los estudios durante los dos años del programa.

Al Dr. Francisco J. Zamudio Sánchez, por compartir su filosofía de vida

Al Dr. Arturo A. Alvarado Segura, por su asesoría, amistad y confianza.

Al Dr. José Cristóbal Acevedo, por la revisión de la presente tesis.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa, por el apoyo brindado.

A la comunidad de profesores y administrativos del programa de Maestría en Ciencias Forestales.

Gracias a todos mis compañeros, por su amistad y tiempo.

Gracias a mi familia y a la familia que yo elegí, por su apoyo en todo momento.

## DATOS BIOGRÁFICOS

**Saira Yesenia Martínez Santiago** (25 de noviembre de 1987) nació en Santa Rosa de Lima, municipio de Ocotlán de Morelos, Oaxaca. Realizó sus estudios de nivel básico en la misma localidad. Cursó el Bachillerato en el Colegio de Bachilleres del Estado (COBAO). Estudió la Carrera de Ingeniero Forestal en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (2006-2010). Desde su egreso laboró en empresas de corte ambiental ejecutando y elaborando proyectos, tanto para el sector forestal y de servicio. En primavera de 2014 ingresó al programa de posgrado en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

## CONTENIDO

DATOS BIOGRÁFICOS .....	iv
LISTA DE CUADROS .....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
3. JUSTIFICACIÓN .....	4
4. OBJETIVO .....	5
5. LÍMITES Y ALCANCES DEL TRABAJO .....	6
6. MARCO TEÓRICO.....	7
6.1 Las redes .....	7
6.1.1 Algunos estudios realizados en el mundo.....	12
6.1.2 Algunos usos de análisis de redes en México.....	14
6.2 Evolución de la educación forestal, superior y de los centros de investigación .....	16
6.3 Evolución de la normatividad forestal .....	21
6.4 Producción Forestal.....	28
7. MATERIALES Y MÉTODOS .....	33
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	38
8.1 Distribución temporal y geográfica de la producción científica .....	38
8.2 Distribución geográfica de las investigaciones .....	45
8.3 Autorías por redes .....	48
8.4 Origen y destino de las publicaciones .....	53
9. CONCLUSIONES.....	60
10. REFERENCIAS .....	62
11. ANEXOS.....	80

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características de los tipos y tipologías de redes. ....	7
Cuadro 2. Evolución de la normatividad forestal en el país .....	23
Cuadro 3. Oferta académica en ciencias forestales y recursos naturales en México. ....	27
Cuadro 4. Producción maderable en México del periodo de 1994 a 2013.....	30
Cuadro 5. Origen de las revistas y factor de impacto .....	57

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Índice de centralidad.....	10
Figura 2. Grado de intermediación.....	11
Figura 3. Red de ciencias biológicas en el periodo 1902-1979.....	15
Figura 4. Red de autores en el área de Agricultura durante periodo 1942-1979.....	15
Figura 5. Porcentaje de publicaciones de los temas preferidos de la ciencia en México (1800-1950). ....	19
Figura 6. Artículos publicados por áreas de conocimiento.....	19
Figura 7. Áreas Naturales Protegidas de competencia Federal (25 628 239 ha) en dos periodos.....	26
Figura 8. Tipos de vegetación y nivel de producción maderable por estado en México. ....	29
Figura 9. Diagrama de flujo de la metodología utilizada. ....	33
Figura 10. Técnica de la bola de nieve.. ....	34
Figura 11. Producción anual de artículos de modelación forestal en México de 1980 a 2015. ....	40
Figura 12. Evolución temporal de la producción científica en modelación forestal, producción maderable y Áreas Naturales Protegidas. ....	41
Figura 13. Distribución de artículos por entidad federativa y categoría. ....	46
Figura 14. Redes de colaboración para el periodo de 1980 a 1995.....	49
Figura 15. Redes de colaboración en el periodo de 1996 a 2005.....	50
Figura 16. Redes de colaboración en modelación forestal de 1980 a 2015. ....	51
Figura 17. Redes de colaboración de instituciones.....	54
Figura 18. Instituciones de autorías de correspondencia.....	56

# ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA MODELACIÓN FORESTAL EN MÉXICO

## ANALYSIS SPATIO-TEMPORAL OF MODELING FOREST IN MEXICO

Saira Y. Martínez Santiago<sup>1</sup>, David Cristóbal Acevedo<sup>2</sup> Francisco J. Zamudio Sánchez<sup>3</sup> y Arturo A. Alvarado Segura<sup>4</sup>.

### RESUMEN

Actualmente hay un consenso de que las acciones antropogénicas están degradando los ecosistemas a un ritmo alarmante. La modelación y las nuevas tecnologías, como las TIC's, se utilizan para tomar decisiones sobre el manejo y la conservación de los recursos naturales. En este trabajo se analizan la evolución temporal y la distribución espacial a nivel nacional de la producción científica en modelación forestal en México. De 1980 a 2015, 454 autores participaron en la publicación de 259 artículos en 37 revistas (84% de ellas son mexicanas), de las cuales 28 están indizadas en el JCR. Los trabajos sobre manejo forestal han sido los más relevantes aunque tienen una importancia relativa a la baja, mientras que los de servicios ambientales y distribución potencial ganan importancia. Los autores pertenecen a 89 instituciones, de las cuales el 65% son mexicanas. Durante el periodo, el número de autores (y las colaboraciones) se incrementó doce veces y el de las publicaciones, nueve veces. Estos incrementos coinciden con la implementación de políticas normativas y la creación y apoyo del Sistema Nacional de Investigadores.

**Palabras Clave:** producción científica, redes de colaboración, manejo forestal, servicios ambientales.

### ABSTRACT

There is a consensus that anthropogenic activities are degrading ecosystems at an alarming rate. Modeling and new technologies, as ICT's, are increasingly used in making decisions about the management and conservation of natural resources. In this study, the time evolution and spatial distribution of the Mexican scientific production in forest modeling are analyzed. From 1980 to 2015, 454 authors participated in the publication of 259 articles on 37 journals (84% are Mexican), of which 28 are indexed in the JCR. The studies on forest management have been the most relevant but are losing relative weight, while environmental services and potential distribution of species are becoming more important. Authors belong to 89 institutions, of which 65% are Mexican. During the period, the number of authors (and partnerships) increased twelve times, while the number of publications, nine times. These increases agree with the implementation of regulatory framework and the establishment and support of the National System of Researchers. Collaborations in the current forest modeling network still have big potential growth.

**Keywords:** scientific production, collaborative networks, forest management, environmental services.

1 Tesista  
2 Director  
3 Codirector  
4 Asesor

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de los recursos forestales en cada región está determinado por metas y restricciones definidas, por lo que se requieren herramientas objetivas para la toma de decisiones óptimas sobre su aprovechamiento y/o conservación. La modelación puede emplearse como herramienta clave para establecer relaciones y comprender fenómenos o procesos multifactoriales relacionados con los bosques, como el crecimiento y rendimiento, la producción del sitio, la distribución de especies, la dinámica del rodal o la captura de carbono (Hynynen, 2011). La idea del manejo forestal data al menos del Siglo XI, con la primera legislación forestal en Inglaterra (Mendoza-Briseño, 1993). A través del tiempo, las técnicas utilizadas para la toma de decisiones sobre el aprovechamiento y la conservación de los bosques han requerido tanto de fundamentos teóricos (e.g. ecología, fisiología, genética) como de análisis cuantitativos.

En las condiciones actuales de cambios grandes y acelerados en la biodiversidad y el manejo de recursos naturales (Cardinale, et al., 2012; Naeem 2012), la actividad forestal requiere de la formulación de modelos conceptuales y matemáticos, el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC's) y el uso de los métodos de optimización para la selección de las mejores soluciones (e.g. Barnsley, 2007; Sheridan, et al., 2014; Uhde, et al., 2015). Uno de los grandes desafíos es contar con información completa y organizada, que

permita conocer la evolución histórica, el estado actual y las perspectivas del sector forestal, de modo que sea de utilidad para investigadores y responsables de las políticas públicas.

La productividad científica se puede medir por el número y la calidad de las publicaciones, principalmente de los artículos con revisión por pares (Ríos y Herrero, 2005; Galeano, 2007). A través de algunos análisis bibliométricos, se puede conocer quiénes producen qué (personas, instituciones, países), cuánto producen, qué tan usado es lo producido (citas) y cómo colaboran los investigadores o las instituciones en las redes (Prat, 2001; Huamaní y Mayta-Tristán, 2010). Dicha información permite ubicar a los investigadores e instituciones que generan conocimiento y que son sujetos de recibir financiamiento, así como detectar las prioridades de las redes de colaboración (Prat, 2001; Gerolin et al., 2010; Huamaní y Mayta-Tristán, 2010).

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En México se ha utilizado el análisis de redes para investigar sobre política, ciencias sociales, economía y bases de datos de revistas. Sin embargo, aún no se han realizado trabajos en temáticas enfocadas a los recursos naturales, a pesar del número considerable de instituciones dedicadas a la formación de capital humano y la generación de conocimiento en diferentes disciplinas relacionadas con los recursos forestales, y en consecuencia, la generación de una cantidad importante de boletines, folletos, tesis y artículos.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La modelación forestal es un tema de interés para los estudiantes, investigadores, técnicos e instituciones que están interesados en conocer las temáticas abordadas, los investigadores más productivos y las instituciones con mayor tradición de investigación. Los resultados presentados en este trabajo pueden ayudar en: (i) las políticas públicas de asignación eficiente de recursos así como a los profesionistas relacionados con los recursos forestales, (ii) la consulta e identificación de las principales investigaciones y actores del sector forestal, para saber dónde se requiere mayor inversión o gestión de recursos y cuánto capital (material y humano) hay en cada área de estudio. Por otro lado, es una fuente de consulta para quien busque establecer lazos con algún grupo de investigación o requiera conocer el estado actual de la modelación forestal en México.

#### **4. OBJETIVO**

El objetivo de este trabajo fue analizar la evolución espacio-temporal de la modelación forestal en México para identificar las potencialidades y las perspectivas a mediano plazo de la producción científica; para ello, se utilizaron las publicaciones en revistas de revisión por pares de 1980 a 2015.

## **5. LÍMITES Y ALCANCES DEL TRABAJO**

Esta investigación nos permitió conocer lo que se ha hecho en modelación forestal en los últimos 30 años a nivel nacional, quiénes son los expertos en las diferentes áreas analizadas (incluyendo las categorías de manejo forestal, servicios ambientales, distribución potencial, incendios forestales y abastecimiento y tecnología), las instituciones más productivas, los estados en los que se han realizado la mayor cantidad de investigaciones y cuáles son las perspectivas a mediano plazo en la investigación en modelación forestal. En este trabajo no se abarcan las investigaciones de las autoridades internacionales en la temática ni la evolución de ésta en otros países.

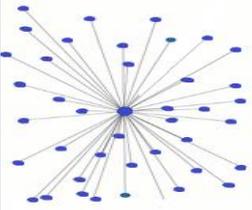
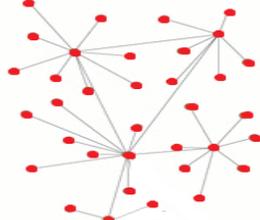
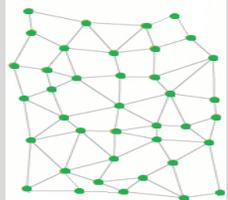
## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1 Las redes

Las redes están formadas por un conjunto de nodos (actores), unidos por líneas (vínculos) que representan la relación o relaciones que los unen y el flujo, que indica la dirección del vínculo (Newman, 2003). El análisis de redes se fundamenta en la teoría de grafos que es la base de la representación de cualquier identificación topológica en una red (Tutte, 2001). Existen diferentes tipos y tipologías de redes según sus características; algunas de las diferencias entre unas y otras radican en los datos empleados para la elaboración y extracción de las matrices (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de los tipos y tipologías de redes.

<b>Tipos y tipologías</b>	<b>Características</b>	<b>Ejemplos</b>
Redes pequeñas	-Contienen un máximo de 100 nodos -Fácil visibilidad de nodos, enlaces y atributos (tamaño de nodos)	Redes sociales, ecosistemas biológicos, exportación-importación
Redes de tamaño medio	-Contienen entre 100 y 1000 nodos -Es posible representar todos sus nodos, pero no todas sus etiquetas, atributos y enlaces.	Redes genéticas, metabólicas o económicas y algunas científicas
Grandes redes	-Contiene más de 1000 nodos -La visualización de nodos es difícil -Se dificulta la poda de nodos por la posible pérdida e información relevante -Dificulta el etiquetado y su exploración	Redes informáticas, telefónicas, transportes o carreteras y científicas

<p>Centralizada</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Un solo nodo concentra y distribuye la información</li> <li>-Los demás nodos se relacionan a través del nodo central</li> <li>-Si el nodo principal desaparece, la red se pierde</li> </ul>	
<p>Descentralizada</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Replica la estructura centralizada en varias redes centralizadas</li> <li>-La información no se concentra en un solo actor</li> <li>-Si se pierde un nodo, quedan incomunicados los que se conectan a través de él.</li> </ul>	
<p>Distribuida</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Todos los nodos están conectados</li> <li>-Distribuyen la información de forma más eficiente</li> <li>-La desaparición de un nodo no afecta la estructura de la red</li> </ul>	

Fuente: Newman (2003); Perianes-Rodríguez et al. (2008)

El interés en las redes en las ciencias biológicas se debe a que en los fenómenos naturales se manifiestan múltiples interacciones, a diferentes niveles de organización. Por ejemplo, algunas redes biológicas que encontramos a nivel microscópico son las redes de regulación genética, las redes de proteínas, las redes neuronales y las redes metabólicas. Por otro lado, a un nivel de organización mucho mayor, encontramos redes económicas, de comunicación e informáticas, sociales (amistades, colaboradores científicos, propagación de enfermedades, etc.) y redes ecológicas (Fig. 1) (Aldana, 2006; Romance, 2010); el objetivo de estudiar las redes, su estructura y función es entender la conectividad de una red y cómo ésta presenta conductas complejas. Las redes son construidas con datos extraídos de una serie de bases de datos; para identificar el impacto de los autores, caracterizar las propiedades y la evolución

de los campos de interés se utilizan algunos indicadores (Newman, 2007). Los cinco indicadores que describen la estructura de las redes son: el tamaño, la densidad, el índice de centralización, el grado de centralización y el grado de intermediación (Otte y Rousseau, 2002; Velázquez y Aguilar, 2005; Hayashi, 2012). Estos indicadores se describen en seguida:

1) **Tamaño.** Es el número total de nodos que participan en la red.

2) **Densidad.** Es un indicador del nivel de conectividad de una red. Si cada nodo está conectado a todos los demás, tenemos una alta densidad en la red; por lo tanto es una medida relativa con valores entre 0 y 1. La densidad de una red se define como el número de enlaces existentes (E) dividido por el número de enlaces posibles (N=nodos) y multiplicado por 100.

$$D = \frac{(E)}{N(N - 1)} \times 100$$

3) **Índice de Centralidad.** Es la condición en que un nodo tiene un papel central en la red, está altamente conectado y es el puente para que los demás se conecten.

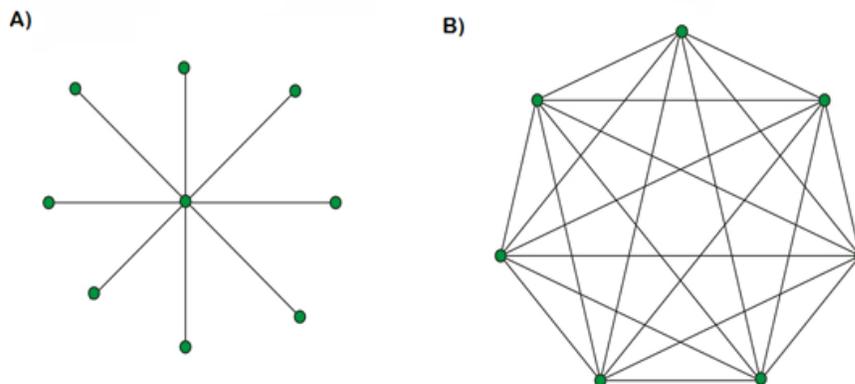


Figura 1. Índice de centralidad. A) Se indica la presencia de un nodo estrella y representa el 100% de centralidad, B) Todos los nodos de la red están ligados y representan 0% de centralidad, esto es, que todos tienen el mismo grado de importancia dentro de la red.

4) El **grado de centralidad** de la red de grupo ( $C_D$ ) se puede definir como:

$$C_D = \frac{\sum_{i=1}^n [C_D(P^*) - C_D(P_i)]}{n^2 - 3n + 2}$$

Donde  $n$  es el número de nodos de la red del grupo,  $C_D(P^*)$  es el grado de centralidad del actor que tiene el valor más alto de centralidad en la red, y  $C_D(P_i)$  es el grado de centralidad del actor  $i$ .

La centralidad de grado de cada nodo  $j$  se puede definir como:

$$C_{DEG}(j) = \sum_i a_{ij}$$

Donde asumimos que cada posición  $a_{ij}$  tiene el valor 1 si existe la arista  $(i, j)$  y el valor 0, si no existe. El grado de centralidad se divide en grado de entrada (colaboración) y grado de salida (autoría) y dependen de la dirección del flujo; si el grado de centralidad de toda la red es bajo (<10%), indica que muchos autores no están conectados.

5) **Grado de intermediación.** Es la posibilidad que tiene un nodo para mediar las comunicaciones entre pares de nodos. Se obtiene al contar las veces que el nodo

aparece en las rutas más cortas que conectan a todos los pares de nodos de la Red.

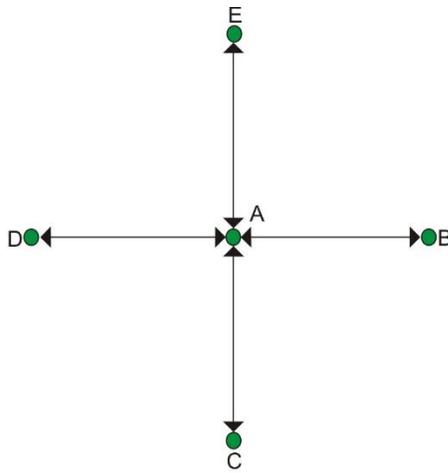


Figura 2. Grado de intermediación. En esta figura se muestra que el nodo A aparece en todos los caminos posibles para que los otros puedan conectarse (E-B, E-C, E-D, B-C, B-D y C-D) por lo que su grado de intermediación es 6 y 0 para el resto de los nodos.

La expresión matemática con la que se obtiene es:

$$b(i) = \sum \frac{g_{jik}}{g_{jk}}$$

Donde  $g_{jk}$  es el número de trayectorias más cortas desde el nodo  $j$  al nodo  $k$  ( $j, k \neq i$ ), y  $g_{jik}$  es el número de caminos más cortos desde el nodo  $j$  al nodo  $k$  pasando a través del nodo  $i$ .

### **6.1.1 Algunos estudios realizados en el mundo**

El empleo de las técnicas bibliométricas, para el análisis de las publicaciones y las citas y la evaluación de la actividad científica hacen posible la evaluación de la producción científica y la colaboración entre grupos, comunidades e instituciones científicas (Narin, 1976; FCCyT, 2012). Una de las técnicas empleadas en los estudios bibliométricos es el uso de las redes, las cuales producen cambios importantes en el sector educativo y científico, facilitando herramientas para generar las colaboraciones internacionales, fortalecer la interacción y apoyo entre investigadores (Hernández, 2012); también ayudan a integrar soluciones científico-tecnológicas a problemas complejos multidisciplinarios o multiinstitucionales, potenciar recursos financieros, optimizar la infraestructura, la transferencia de grandes cantidades de información y uso de TICS (Royero, 2007).

Existen muchas investigaciones sobre el tema de las redes sociales (e.g. Luo, 2005; Oh et al., 2006; Otte y Rousseau, 2002; Molina, 2005; Hayashi, 2012), siendo la modelación de los procesos y los movimientos de los actores con fines comerciales, políticos, institucionales y sociales, la temática que más se aborda.

Las redes de colaboración entre investigadores en los países, regiones e instituciones reflejan las relaciones entre sus miembros, y los vínculos laborales y académicos, con las cuales se puede evaluar el proceso de generación de conocimiento (McGrail et al., 2006; Huamaní y Mayta-Tristán, 2010). Las redes de investigación consolidadas, o la construcción de éstas, permiten el incremento de la producción y las citas de los trabajos (Hill, 2008), así como la obtención de

beneficios académicos y logísticos (Gaughan y Ponomariov 2008; Huamaní y Mayta-Tristán, 2010).

Con base en la co-autoría de las publicaciones, las redes de colaboración científica se han estudiado en áreas relacionadas con la administración, la sociología y la psicología, en diferentes niveles organizacionales (Luo, 2005; Oh *et al.*, 2006; Hou *et al.*, 2008; Larsen, 2008; Arroyave, 2014). En estos estudios, se ha analizado la estructura de las redes, la co-ocurrencia, los conglomerados y la frecuencia de las palabras para la gestión de las mismas (Abbasi y Altmann, 2010; García, 2012). Estos análisis permiten identificar los principales campos de interés en cada red (y sus respectivas sub-redes) y las variables más relacionadas con la productividad de los grupos como son la centralidad y el tamaño de la red.

En los trabajos relacionados con el área forestal a nivel mundial, se ha analizado la estructura y evolución de la interdisciplinariedad (Luzar, *et al.*, 2014), la gestión ambiental (Palacio *et al.*, 2003; Arroyave, *et al.*, 2014; Martínez, *et al.*, 2015) y la evolución temporal y espacial de la investigación en silvicultura comunitaria (e.g. Bullock y Lawler, 2015). Asimismo, se han identificado las tendencias de la investigación en bosques modelo (Bonell, 2012), se ha evaluado el impacto científico de revistas forestales basados en el índice de citas (Vanclay, 2008a, b; Malesios y Arabatzis, 2012) y se han analizado las publicaciones sobre manejo forestal sostenible en un gran número de revistas indizadas en el JCR (Klenk *et al.*, 2010). Estos trabajos reflejan una relación entre el tamaño de los grupos de investigación y la productividad de los mismos (García, 2012; Luzar *et al.*, 2014;

Bullock y Lawler, 2015) y mencionan que la visualización de las redes facilitan el descubrimiento, el análisis y la selección de resultados de investigaciones en una base de datos.

### **6.1.2 Algunos usos de análisis de redes en México**

En México se ha utilizado el análisis de redes para investigar sobre política, ciencias sociales, economía y bases de datos de revistas (Calderón y Flores, 2012; Herrera-Miranda, 2013; Nuñez-Espinoza, 2014; Vega, 2014). También se han analizado las redes de colaboración científica en periodos tempranos (de 1900 a 1979) para las áreas ciencias químicas, las ingenierías, las matemáticas, las ciencias sociales y humanidades (CONACYT, 2014). En estos análisis de colaboraciones se han encontrado redes de distintos tamaños (chicas medianas y grandes), de tipo centralizadas y descentralizadas y en todas ellas se han identificado a los autores principales por el tamaño de sus nodos; tal es el caso de la red de biología y agronomía que son las más afines a nuestra área (Figuras 3 y 4). La red de biología tiene más de 25 autorías individuales, presenta dos subredes de mayor tamaño en las cuales se observa que las burbujas de mayor tamaño representan a los autores con el mayor número de publicaciones. La red de agricultura hay muchos pequeño grupos, un autor principal y escasas autorías individuales; por el tamaño de las burbujas podemos ver quiénes son los autores principales.

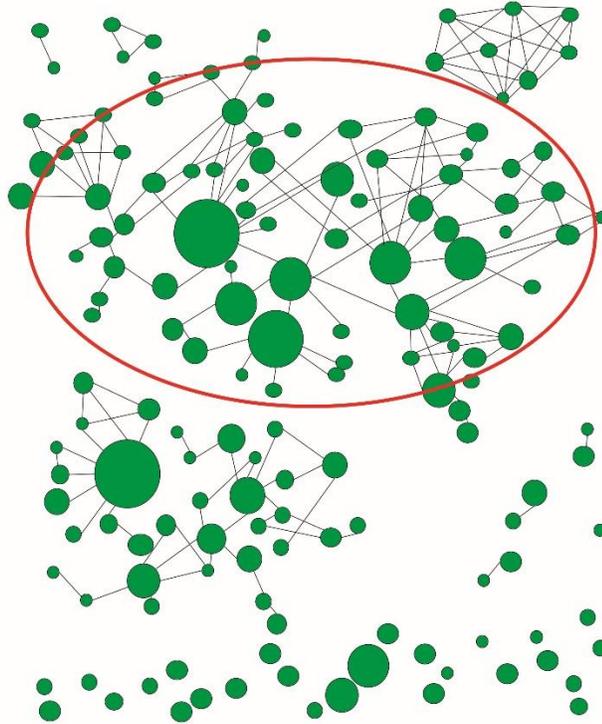


Figura 3. Red de ciencias biológicas en el periodo 1902-1979

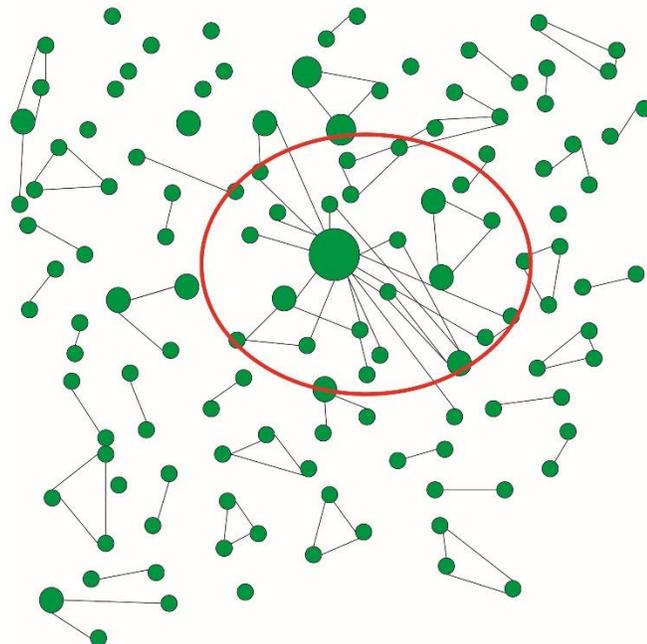


Figura 4. Red de autores en el área de Agricultura durante periodo 1942-1979.

## **6.2 Evolución de la educación forestal, superior y de los centros de investigación**

Los sistemas de ciencia y tecnología del siglo XX en América Latina han sido impulsados por organismos como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Organización de Estados Americanos (OEA), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMYT) y el Banco Mundial (Sánchez, 2004). Estos organismos han permitido la creación de escenarios científicos y tecnológicos, el desarrollo de las políticas de investigación y el financiamiento de las actividades de investigación. En algunos países desarrollados se muestra que no existe una política óptima en el desarrollo de la ciencia y tecnología, sino que las políticas evolucionan en la medida que los sistemas sociales y productivos cambian (CyT DES, 2007). Sin embargo, en numerosas regiones son los acontecimientos geopolíticos los que remodelan la ciencia y tecnología (UNESCO, 2015); por lo que generar capacidades empresariales y acercarse a la frontera tecnológica requiere orientar políticas para invertir en investigación básica y formación.

En México se estableció el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) en 1984 en medio de una crisis económica para identificar, reconocer y otorgar estímulos económicos a los científicos y tecnólogos más productivos (CONACYT, 2015). El SNI inició con 1396 investigadores, en el año 2000 habían 7466 y en 2014 sumaban 22408; de éstos, 55% corresponden al nivel I, 18% al nivel II, 8% al nivel III y 18% son candidatos (Foro consultivo, 2014a; Foro consultivo, 2014b). El presupuesto asignado al CONACYT ha incrementado 200% de 2006 a 2013,

puesto que pasó de \$12,183 millones de pesos a \$25,246 millones de pesos (Foro consultivo, 2014c). Actualmente el programa representa hasta 30% del salario de los investigadores y apoya con diversos programas sectoriales como CONACYT-CONAFOR, CONACYT-SAGARPA, CONACYT-SEMARNAT, etc. (Foro Consultivo, 2014a).

El Gasto en Investigación Científica y Desarrollo Experimental (GIDE) es la inversión destinada a la realización de proyectos de investigación científica y desarrollo experimental (IDE), el indicador GIDE/PIB da a conocer el grado de desarrollo de un país sustentándose en investigación científica y tecnológica; en América, países como Estados Unidos, Canadá y Brasil han dedicado 2.77%, 1.74% y 1.16% respectivamente de su PIB al GIDE (OECD, 2013). En México el valor de este indicador ha variado de 0.30% a 0.43% en el periodo de 1994 a 2012 sin rebasar el 0.5%. En 2012 el GIDE reportado fue de 66,720 millones de pesos, lo que representó 0.43% del PIB (CONACYT, 2013a).

En el mundo actualmente hay aproximadamente 7.8 millones de científicos e ingenieros contratados en actividades de investigación; desde 2007 el número de investigadores ha aumentado 21%, crecimiento notable que se refleja también en la explosión del número de publicaciones científicas (UNESCO, 2015). El desempeño de las actividades científicas de un país, se miden cuantitativa y cualitativamente; la primera medición se efectúa con los artículos publicados en revistas reconocidas por su calidad y la segunda (impacto de las publicaciones) se mide con las citas que reciben los trabajos de investigación (Ríos y Herrero, 2005; Galeano, 2007).

La producción científica de artículos publicados en México en 2006 fue de 7,249 y en 2012 de 10,181 que representa un incremento de 40%, y de acuerdo a las citas el Institute for Scientific Information (ISI) se reporta un crecimiento de 5.8% de 2008 a 2012 (175,432 citas) respecto al periodo 2003-2008 (CONACYT, 2013b). Sin embargo, la producción científica sigue siendo muy baja en comparación con la mayoría de los países miembros de la OCDE, puesto que en 2012 México solo contribuyó con 0.79% de la producción mundial, lo que representa menos de una tercera parte que Brasil.

De 1800 a 1950, México tuvo intereses en algunos campos de la ciencia como la geología y la medicina (Figura 5); sin embargo, en un periodo más reciente de 1900 a 1950 la biología y la agricultura también han sido temas estudiados (TICTL, 2014).

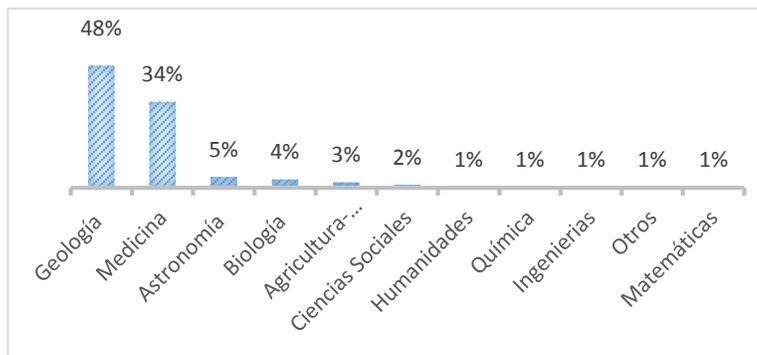


Figura 5. Porcentaje de publicaciones de los temas preferidos de la ciencia en México (1800-1950). Fuente: TICTL, 2014

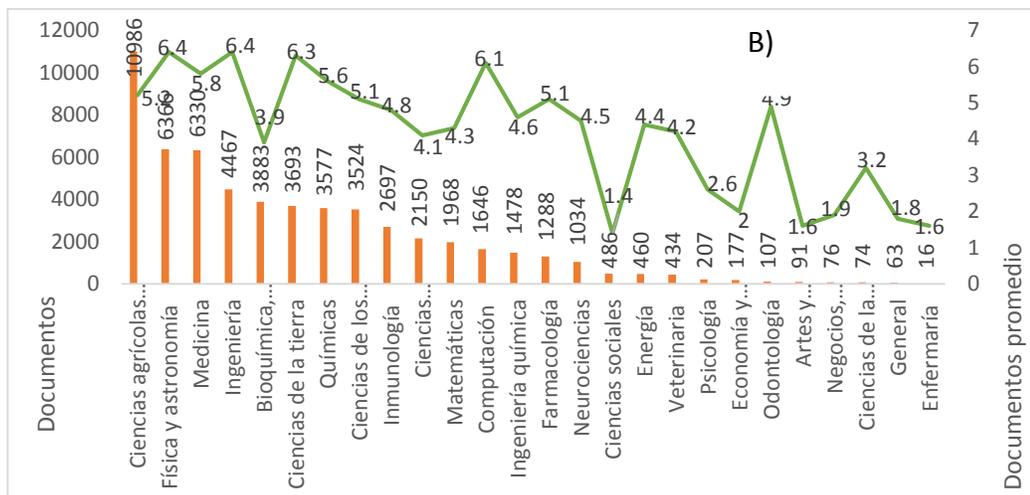
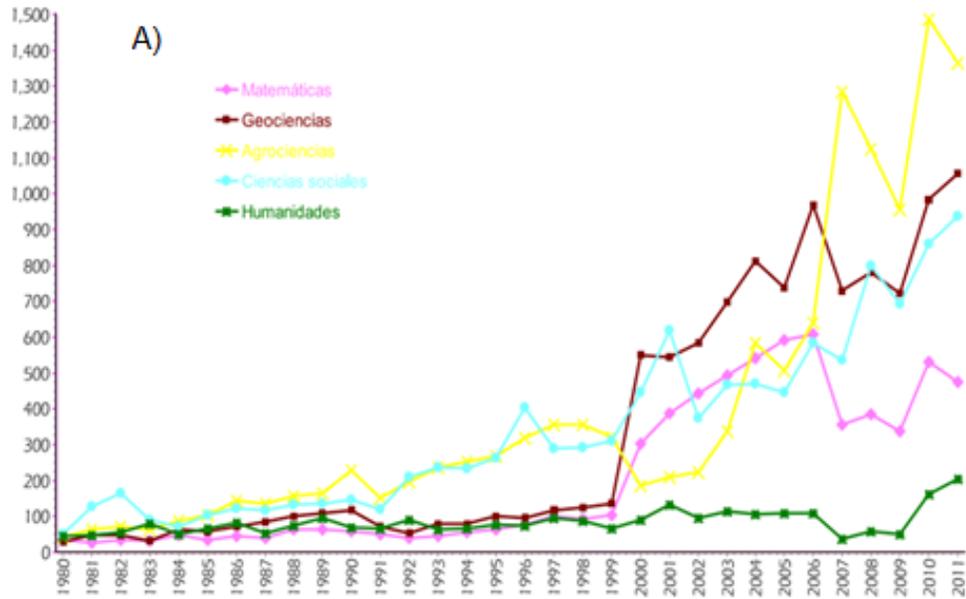


Figura 6. Artículos publicados por áreas de conocimiento. A) Durante el periodo de 1980 a 2011 en revistas incluidas en Web of Science. B). Producción científica del SNI 2003-2009. Fuente: ACyT, 2012; TICTL, 2014.

De las publicaciones reportadas en México en el periodo de 1980 a 2011 se observa un incremento significativo de la producción de artículos en todas las áreas del conocimiento (Figura 6) (ACyT, 2012), incremento que se debe al

sistema de incentivos del SNI (Becerra-Rodríguez, 2011). Se observan dos incrementos en el área de agrocencias, el primero corresponde al periodo de 1980 a 1999 y el segundo del 2000 al 2011 (Figura 6). Cabe resaltar que en el periodo de 2003 a 2009, se reportan 111,919 documentos totales que han generado 590,441 citas, el área de ciencias agrícolas y biológicas publicó cerca del 9% de la producción total de artículos, sobrepasando con ello las áreas de física y astronomía, medicina e ingeniería (Figura 6). A partir de la década de los noventa con el auge de las Tecnologías de Información (TICs) se genera un incremento significativo de investigadores, producción científica y movilidad (UNESCO, 2015) teniendo como consecuencia el fortalecimiento de la multidisciplinariedad y las colaboraciones entre investigadores.

Algunos países como Francia, Estados Unidos, Reino Unido y Japón se han hecho fuertes en matemáticas, ciencias biológicas, medicina y química; mientras que los países latinoamericanos (Argentina, Brasil, Chile, México y Uruguay) para tener un aprovechamiento y desarrollo más eficaz de la ciencia, la tecnología y la innovación han adoptado medidas (incremento de la inversión) en sectores estratégicos como la agricultura, la energía, las TIC, en biotecnologías y nanotecnologías (UNESCO, 2015; UNESCO, 2009). Lo anterior implicará un incremento económico en enseñanza superior, la producción científica y la colaboración científica internacional. Por otro lado, se tendrá la necesidad de contar con datos fiables que permitan supervisar la evolución de los sistemas nacionales de ciencia e innovación así como evaluar y monitorear la actividad científica para proporcionar información fiable que permita la elaboración de políticas públicas que sigan apoyando el desarrollo de la ciencia en distintas

áreas del conocimiento (Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 2005; UNESCO, 2015).

### **6.3 Evolución de la normatividad forestal**

El sector forestal está determinado por las tendencias de la economía y las relaciones comerciales mundiales y los países con roles importantes; estos factores generan algunos acuerdos, políticas y convenciones que influyen en los procesos de producción de bienes, de servicios ambientales y de conservación de áreas silvestres (FAO, 2005).

Estados Unidos, la Unión Europea y Japón dominan el mercado mundial mientras que Brasil y Argentina, el mercado latinoamericano (FMI, 2015; WTO, 2010); estos bloques con mayor poder económico y político, han desarrollado acuerdos en el marco de la Organización Mundial de Comercio (OMC) y tratados bilaterales y regionales de libre comercio, como el Mercado Común del Sur (MERCOSUR) y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), que son las plataformas que han impulsado el Área de Libre Comercio de las Américas (ALCA), el Mercado Común Centroamericano (MERCOSUR) y la Comunidad Del Caribe (CARICOM) (CEPAL, 2005; FTAA, 2015). Estos escenarios tienen la finalidad de desarrollar políticas internas eficientes que impulsen a las naciones a ser más productivas y rentables.

Algunas convenciones internacionales que también han influenciado el rumbo de la actividad ambiental y forestal son el convenio sobre la diversidad biológica, el Convenio marco sobre el cambio climático, la Convención de lucha contra la

desertificación (CLD), Convención sobre humedales (RAMSAR), Convenio para la Protección de la Capa de Ozono; también la Convención sobre comercio internacional de especies amenazados de fauna y flores silvestres (CITES), el Protocolo de Montreal, el Protocolo de Kyoto, el informe Brundland, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (PICC) y la Cumbre de la Tierra; todos ellos tienen como objetivo principal establecer compromisos en relación a la conservación de los ecosistemas forestales (especies de flora y fauna silvestre), en la regulación del ciclo hidrológico, en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y en la protección de especies que en el futuro podrían combatir enfermedades que aquejan a la humanidad(FAO, 2005).

En México los factores más importantes que influyen el rumbo de la actividad ambiental y forestal son las políticas nacionales de desarrollo de energía, la producción agropecuaria e industrial, el comercio, la ciencia y tecnología y el ambiente. También las políticas ambientales con relación al ordenamiento territorial, los recursos hídricos, las áreas naturales protegidas, la diversidad biológica, el suelo y subsuelo, los recursos energéticos, los recursos forestales; de éstos últimos, las políticas específicas del sector forestal en materia de producción de madera y productos no maderables, la producción de servicios ambientales, la conservación de ecosistemas y los incentivos para la ordenación sostenible (DOF, 1986; DOF, 1988).

Muchas de estas políticas se reflejan en la evolución de la normatividad forestal del país. En la primera Ley Forestal de 1926 se inició la tendencia conservacionista de los recursos forestales, lo que propició la creación de las

primeras áreas naturales protegidas; dos décadas después, con la reforma en 1943 de la Ley Forestal se establecieron los requisitos para obtener permisos de aprovechamiento, sin embargo, en 1948 las tendencias en conservación se acentuaron. En 1960, con la nueva Ley Forestal, se gestiona y fomenta la investigación y enseñanza forestal, pero es hasta 1986 con la reforma de la Ley Forestal que se busca que los programas académicos respondan a los requerimientos técnicos y socioeconómicos de la actividad forestal (Cuadro 2). Con la última actualización a la Ley Forestal de 1992, se hace hincapié en crear condiciones de capitalización y modernización para hacerle frente a la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN) (DOF, 1993); adicionalmente, se le sigue dando importancia a la conservación de los recursos y a la promoción de la cultura forestal con programas educativos, desarrollo tecnológico e investigación en materia forestal.

Cuadro 2. Evolución de la normatividad forestal en el país

<b>Año</b>	<b>Normatividad</b>	<b>Función</b>
1861	Reglamento	-Se expide el reglamento para el corte de árboles
1884	Ley sobre enajenación de terrenos baldíos	-Se privó de la tierra a miles de comunidades. -Se otorgan concesiones para la extracción de madera para el mercado estadounidense
1917	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	-Se eliminan jurídicamente las concesiones de extracción. -Se propone regular el aprovechamiento de los elementos naturales. -Se establece la propiedad originaria de tierras y aguas del territorio nacional.
1926	Ley Forestal (La primera)	-Se decretaron zonas protectoras en las partes altas de las cuencas de los principales ríos, 31 Parques Nacionales y vedas forestales. -Se propone la regularización de la conservación, restauración, propagación y aprovechamiento de la vegetación forestal.

		-Se propone la formación y organización del personal técnico.
1943	Ley Forestal (Nueva)	-Se establecen requisitos para obtener permisos de aprovechamiento forestal. -Se creó el registro forestal y se establecieron sanciones por las faltas y delitos.
1948	Ley Forestal (Reforma)	-Se adoptan criterios de preservación ambiental (conservación y repoblación forestal). -Se establecen Unidades Industriales de Explotación Forestal (UIEF) -Se constituyó el fondo forestal, para instrumentar programas de forestación y reforestación.
1960	Ley Forestal (Nueva)	-Se descentralizaron ciertas atribuciones y decisiones a través de comisiones estatales forestales. -Se estableció la profesionalización de los servicios técnicos forestales. -Se creó el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
1986	Ley Forestal (Reforma)	-Se incorporan conceptos de manejo integral de los recursos forestales, la zonificación forestal, concesiones de servicios técnicos forestales y formación de comités (multisectoriales de caminos, de producción y abasto). -Se promueve la investigación forestal
1988	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)	-Se busca la protección del ambiente, preservación y restauración del equilibrio ecológico -Se establecen mecanismos de coordinación entre los tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal) para hacer posible una gestión ambiental integral. -Se crean el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) -Se instrumentan el Programa nacional de reforestación (Pronare) y el Fondo Nacional de Apoyo a Empresas en Solidaridad (Fonaes).
1992	Ley Forestal (Actual)	-Se enfatiza lograr un manejo sostenible de recursos, crear condiciones para la capitalización y modernización del sector y desarrollar la infraestructura forestal. Con el fin de regular el proceso productivo forestal y hacer competitivo el sector, ante el ingreso de México al tratado de libre comercio de América del Norte.

1994

-Se crea la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) con la cual se sectoriza la actividad forestal a esta dependencia.

---

Fuente: DOF, 1993; DOF, 1988; DOF, 1986; INE-SEMARNAT, 2003

Con la creación de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (DOF, 1988), se retoma con mayor fuerza la tendencia en conservación de recursos, ya que se incorporan aspectos de política ambiental y desarrollo sustentable; generando con ello un incremento en las áreas naturales protegidas (Figura 7). Actualmente, se registran 177, que abarcan una superficie de 26 millones de hectáreas (13% del territorio nacional) y concentran la mayor parte de la biodiversidad. Hay 41 Reservas de la Biósfera (12 751 149 ha), 66 Parques Nacionales (1 411 319 ha), cinco Monumentos Naturales (16 269 ha), ocho Áreas de Protección de Recursos Naturales (4 503 345 ha), 39 Áreas de Protección de Flora y Fauna (6 795 963 ha) y 18 Santuarios (150 193 ha) a las que se suman 400 mil hectáreas de reservas ecológicas voluntarias (SEMARNAT, 2015a).

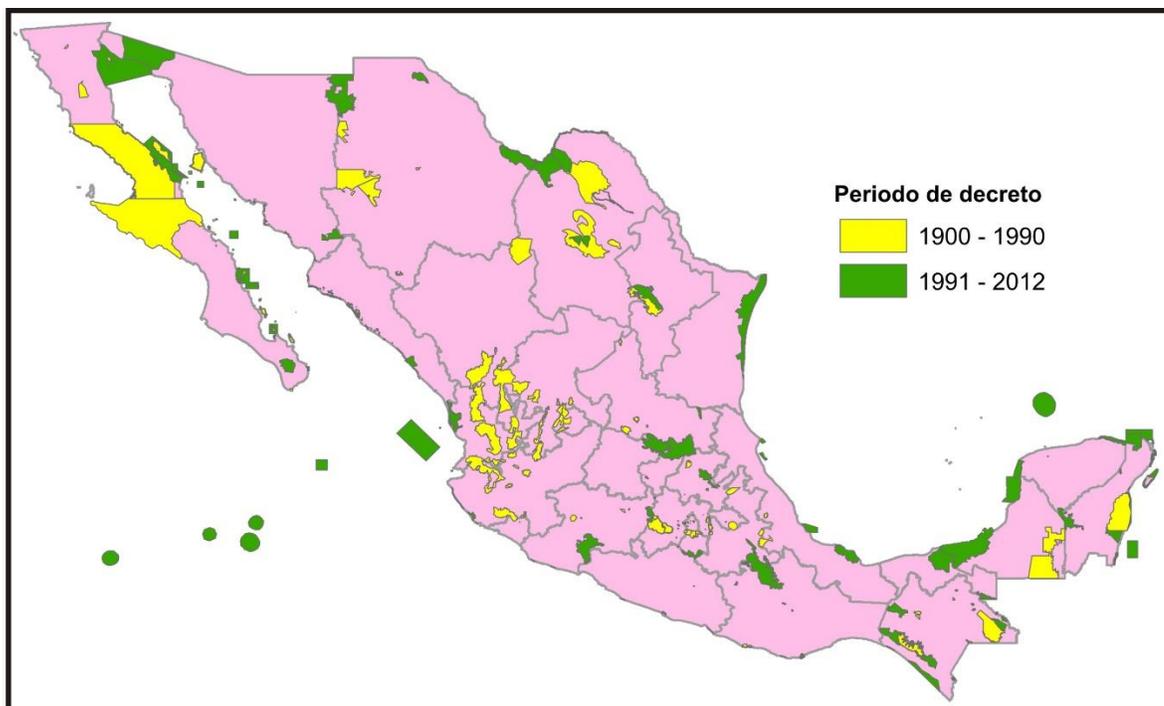


Figura 7. Áreas Naturales Protegidas de competencia Federal (25 628 239 ha) en dos periodos.

Los resultados de las políticas aplicadas y la demanda nacional por la profesionalización de los servicios técnicos forestales, la formación de personal capacitado y el desarrollo de investigación forestal, han tenido como consecuencia el establecimiento de más de 15 programas de licenciatura, 9 de maestría y 9 de doctorado en 23 instituciones ubicadas en diferentes zonas del país (Cuadro 3); algunos de estos programas se han ubicado en zonas con producción forestal pero la mayoría se ubican en el centro del país, lo que coincide con la concentración de más de 32% investigadores que pertenecen al SNI en el área de biotecnología y agrociencias.

Cuadro 3. Oferta académica en ciencias forestales y recursos naturales en México.

<b>Institución</b>	<b>Programa</b>	<b>Postgrado</b>
Universidad Autónoma de Nuevo León	Manejo de recursos naturales	Licenciatura Maestría Doctorado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	Forestal- Ciencias Biológicas	Licenciatura Doctorado Maestría
Colegio de Posgraduados	Ciencias Forestales	Doctorado
Universidad Juárez del Estado de Durango	Ciencias Agropecuarias y Forestales	Licenciatura Maestría Doctorado
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste	Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales	Maestría Doctorado
Universidad Autónoma de Tamaulipas	Ecología y Manejo de los Recursos Naturales	Doctorado
Universidad Autónoma Chapingo	Ciencias Forestales y Recursos Naturales	Licenciatura Maestría
Instituto Tecnológico de la Sierra Norte de Puebla	Forestal	Licenciatura
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	Agroforestal	Licenciatura
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato	Forestal	Licenciatura
Universidad Autónoma Antonio Narro	Forestal	Licenciatura
Universidad Autónoma Chihuahua	Forestal	Licenciatura
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	Forestal	Licenciatura
Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca	Forestal	Licenciatura
Universidad del Mar (Oaxaca)	Forestal	Licenciatura
Universidad de la Sierra Juárez (Oaxaca)	Forestal	Licenciatura
Tecnológico Superior de Valle de Bravo	Forestal	Licenciatura
Universidad de Guadalajara	Recursos naturales y Agropecuarios - Ecología	Licenciatura Maestría Doctorado

	y manejo de Recursos Naturales	
Universidad Autónoma Indígena de México	Sistemas Forestales	Licenciatura
Colegio de la Frontera Sur	Recursos naturales	Maestría
Instituto Politécnico Nacional	Ciencias en conservación y aprovechamiento de Recursos Naturales	Maestría Doctorado
Instituto Tecnológico de Sonora	Recursos Naturales	Maestría
Universidad Autónoma del Estado de México	Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales	Doctorado

#### 6.4 Producción Forestal

En el mundo hay aproximadamente 4 000 millones de hectáreas de bosques, cubriendo el 30% de la superficie terrestre mundial. Los países que abarcan más de la mitad de la superficie forestal total son la Federación de Rusia, Brasil, Canadá, Estados Unidos de América y China (FAO, 2007). El consumo total de madera en rollo de bosques naturales en países de América Latina y el Caribe, indican una reducción (1980 a 2003) de un 25% pasando de 96 millones de m<sup>3</sup> a 72 millones de m<sup>3</sup> debido a (i) al incremento de las presiones para conservación de los bosques naturales por parte de las ONG ambientalistas (ii) el crecimiento de las restricciones y reglamentaciones (normatividad) sobre la actividad maderera en los bosques naturales (iii) las restricciones a la exportación y medidas no arancelarias (exigencia de certificados verdes) (iv) altos costos para la certificación y etiquetado para entrar en el mercado internacional (v) fuerte penetración en el mercado, basada en la competitividad y productividad de la madera proveniente de plantaciones forestales principalmente pino (*Pinus spp.*)

y eucalipto (*Eucalyptus* spp.) vi) la competencia de la madera con otros materiales sustitutos como plásticos, aluminio, sintéticos y otros (FAO, 2006).

México cuenta con 134 millones de hectáreas forestales, de las cuales, 65 millones están cubiertas por bosques (Figura 8), y de éstas, solo 15 millones son aprovechadas. Sin embargo, sólo en 2.5 millones de hectáreas se producen más de 5.5 millones de metros cúbicos de madera, siendo Durango y Chihuahua los estados que aportan el 50% de la producción nacional ya que son los estados que tienen la mayor distribución de bosque y hay 19 estados con nivel de producción muy baja que corresponden principalmente a matorral (Figura 8).

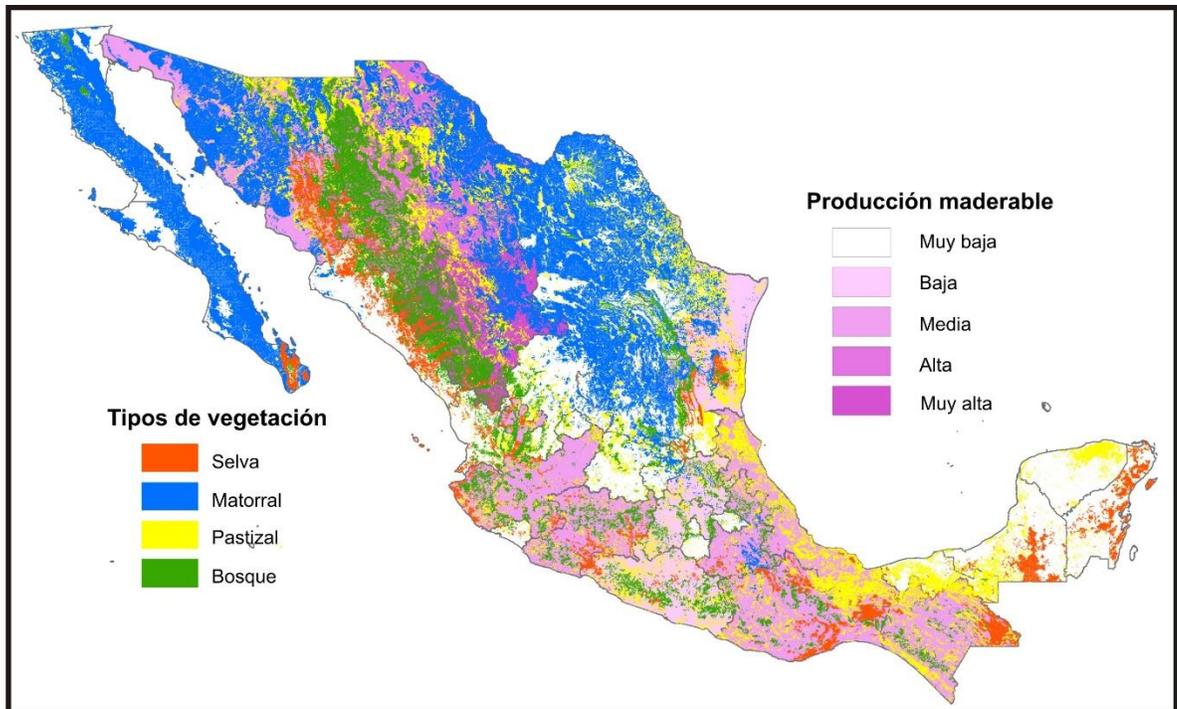


Figura 8. Tipos de vegetación y nivel de producción maderable por estado en México. Fuente: SEMARNAT (2013); INEGI (2015).

La producción nacional maderera ha mostrado un decremento del año 2000 al 2013, pasó de 9.4 millones m<sup>3</sup>-rollo a 5.9 millones m<sup>3</sup>-rollo y por otro lado, sólo se abastece 33% del consumo aparente (Cuadro 3). Para satisfacer la demanda nacional, México actualmente se apoya en importaciones provenientes de países como Estados Unidos, Canadá, Chile y Brasil, siendo esto posible por la creación de los tratados de libre comercio como el TLCAN y el tratado con Chile (DOF, 1993; DOF, 1998).

Cuadro 4. Producción maderable en México del periodo de 1994 a 2013

<b>Año</b>	<b>Producción anual no maderable (miles de toneladas)</b>	<b>Producción anual maderable (millones m<sup>3</sup>-rollo)</b>	<b>Volumen importación (miles m3)</b>	<b>Consumo aparente (miles m3)</b>
1994	60	6.4	-	-
1995	41	6.3	-	-
1996	54	6.8	5234	11159
1997	43	7.7	6320	13338
1998	47	8.3	6716	14530
1999	56	8.5	7667	15349
2000	84	9.4	7612	16315
2001	70	8.1	9015	16665
2002	76	6.7	20452	26672
2003	97	7.0	22629	27532
2004	83	6.7	18180	22129
2005	75	6.4	18430	21667
2006	36	6.5	20286	23788
2007	62	7.0	25041	27597
2008	48	6.3	17539	16854
2009	60	5.8	22182	21412
2010	65	5.6	17297	19883
2011	63	5.5	25508	27753
2012	112	5.9	15950	17947
2013	71	5.9	18212	21361

Fuente: SEMARNAT, 1994-2013

En Michoacán, Chihuahua, Tamaulipas, Baja California y Guerrero se produce el 60% del volumen forestal no maderable, dividido en dos grupos: los productos vegetales (resina, fibras, gomas, ceras, rizomas y otros) y los de tierra de monte (SEMARNAT, 2013). El consumo promedio de los productos forestales no maderables, de 1995 a 2005, fue de 67.5 miles de toneladas, registrando en 2012 la producción más alta con 112 miles de toneladas y la más baja en 2006 con 36.2 miles de tonelada (FAO, 2005).

A partir de 2010, las crisis medioambientales de origen natural o inducidas por el ser humano como desastres nucleares, sequías, inundaciones y la preocupación de los gobiernos del mundo sobre energía han influido en la política y gestión de la ciencia, tecnología e innovación (UNESCO, 2015). Por todo ello se han adoptado estrategias de cambio climático: el Programa Tripartito sobre Adaptación y Mitigación del Cambio Climático, la reducción de emisiones propias de carbono, el desarrollo de fuentes de energía alternativas y la promoción de una mayor eficiencia energética.

Desde el año 2005 las tendencias mundiales marcan una estabilidad en la producción maderable para América del Norte, y un mayor énfasis en cambio climático, control de energía y reducción de emisiones (FAO, 2010). En 2015, los bosques designados a uso múltiple en el mundo pasaron de 23% a 26% de la superficie total considerando el suministro de madera, los pastizales, los productos forestales no maderables, el agua, los lugares de recreación y las condiciones para la gestión de la flora y fauna silvestres (FAO, 2015). En el futuro cercano, se espera que más países, incluyendo a México, realicen evaluaciones

para comprobar la presencia o ausencia de funciones ecosistémicas (protección del suelo, el agua y los servicios ambientales) y tomen medidas para contrarrestar la degradación de los bosques.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

La materia prima para analizar la producción científica sobre modelación forestal en México, los grupos de investigación y las redes de colaboración, fueron los artículos científicos publicados, en México y el extranjero, 1980 a 2015. En el siguiente diagrama se resume la metodología aplicada (Figura 9)

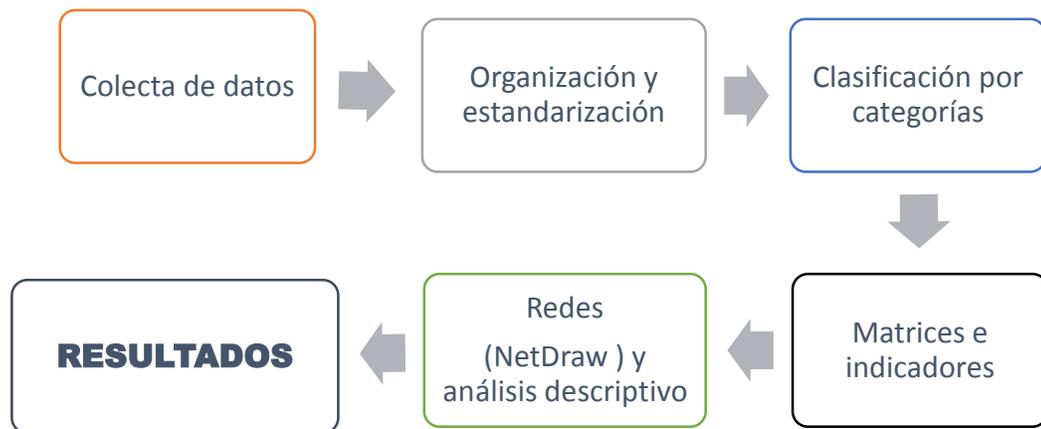


Figura 9. Diagrama de flujo de la metodología utilizada.

### 7.1 Colecta de datos

La búsqueda se realizó en revistas nacionales e internacionales relacionadas con la actividad forestal y del manejo de los recursos naturales. Para ello se utilizaron los recursos tecnológicos disponibles en las principales casas editoriales (Elsevier, Springer, Scopus y Thomson-Reuters) y sitios web (Latindex, Scielo, Redalyc y Conricyt). Se consultaron también las principales revistas que abordan

la temática de interés a nivel nacional: Agrociencia, Madera y Bosque, Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente y Revista Mexicana de Ciencia Forestal. Todas las consultas se hicieron en línea y sólo se consideraron trabajos que abarcan los recursos forestales vegetales. Las palabras clave utilizadas para las búsquedas fueron “modelos”, “crecimiento”, “tree”, “forest”, “forestry”, “modeling”, “modelling”, “site index”, “volume”, “Mexico” y “biomass”, identificándolas en las publicaciones que las contenían en sus títulos, palabras clave o resúmenes. Posteriormente, fue utilizada la técnica de “bola de nieve” (Figura 10), que es una técnica utilizada para identificar a los sujetos potenciales en estudios donde los sujetos son difíciles de encontrar, para coleccionar los artículos faltantes, a partir de las referencias en los artículos encontrados inicialmente (Leipold, 2014).

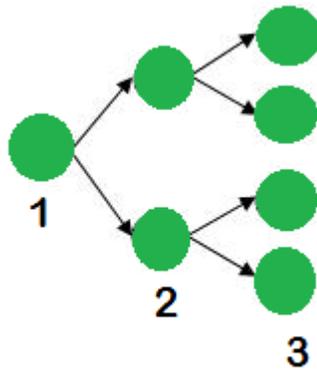


Figura 10. Técnica de la bola de nieve incluyendo en el primer nivel los autores encontrados inicialmente, en el segundo y tercer nivel los autores faltantes.

## **7.2 Organización y estandarización**

Una vez que la información obtenida se capturó en una hoja de cálculo, se sistematizó y clasificó por revista, año, título, estado, autores, instituciones, palabras clave, tipo de artículo e idioma. Se estandarizaron los nombres de los autores, instituciones y países de procedencia en la base de datos, puesto que la información disponible en los artículos, o es incompleta o se presenta con algunas variantes (Aguado et al., 2009). En los casos de cambio de nombre, dos revistas y una institución, se utilizó únicamente el nombre actual: Boletín de la Sociedad Botánica de México, Revista Ciencia Forestal en México e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF), se renombraron como Botanical Science, Revista Mexicana de Ciencias Forestales e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), respectivamente. Para las instituciones con varias sedes, se utilizó únicamente el nombre de la sede matriz. Por otro lado, los autores se identificaron con el primer apellido seguido por un guion bajo y las iniciales del segundo apellido y el nombre o nombres.

## **7.3 Clasificación por categorías**

Considerando los grandes rubros donde se utilizan las técnicas de modelación como herramienta de análisis, se establecieron cinco categorías de artículos por su finalidad de uso: (i) abastecimiento y tecnología, (ii) distribución potencial, (iii) incendios forestales, (iv) manejo forestal y (v) servicios ambientales. Los trabajos de biomasa y carbono se incluyeron en la categoría de servicios ambientales.

#### **7.4 Elaboración de indicadores, redes y mapa**

Para la elaboración de las redes y el cálculo de indicadores se utilizó el paquete computacional Ucinet, que es un programa que presenta las interacciones entre los diferentes actores. Se hace por medio de gráficos que son de fácil interpretación pero cada gráfico proviene de una matriz (Borgatti et al., 2015). En este estudio se utilizó el script Nodelists1 que genera una matriz cuadrada a partir de una lista de nodos (Anexo 1), y también se calcularon los tres indicadores siguientes: tamaño de la red, grado de centralidad (entrada o salida) y densidad. Estos indicadores se definen a continuación:

- i) El tamaño de la red es la propiedad que mide el número de actores que participan en la red (Tichy et al., 1979);
- ii) La densidad mide la proporción de las relaciones presentes en la red sobre el máximo número de relaciones posibles, siendo minimizada cuando no existen relaciones entre los actores (cero) y maximizada cuando todos los actores están interrelacionados (uno) (Wasserman y Faust, 1994; Reagans y Zuckerman, 2001; Newman, 2010);
- iii) El grado de centralidad de entrada mide el número de vínculos que llegan al nodo y el grado de salida, el número de los que salen; lo que indica la importancia del nodo en términos de su conexión dentro del sistema (Wasserman y Faust, 1994; Newman, 2010).

Después se hizo la representación gráfica de las redes con el complemento NetDraw que es un programa con el que se pueden mostrar las múltiples

relaciones de los nodos de una forma gráfica usando color y diferentes magnitudes en los nodos (Borgatti, 2015).

Por otro lado, para representar la distribución geográfica de la producción científica generada para el país se utilizó el paquete Gis (ESRI, 2015), con el que se generaron seis capas de información. La primera capa consistió en la clasificación de las 32 entidades federativas mexicanas por su producción m<sup>3</sup>-rollo (SEMARNAT, 2013) y las restantes cinco, correspondieron a cada una de las categorías de los artículos. La distribución de los artículos en las entidades federativas se representó con burbujas de colores (categoría de artículos) de tamaño variable (número de artículos).

## **8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

De 1980 a 2015 se publicaron 259 artículos científicos sobre modelación forestal en 37 revistas, de las cuales 28 son indizadas y nueve cuentan sólo con revisión editorial. El 84% de los artículos se publicaron en revistas mexicanas y el 16% restante, en revistas extranjeras. Participaron 454 autores (el 37% de ellos son de correspondencia) pertenecientes a 89 instituciones, de las cuales el 65% son mexicanas. Estos resultados nos muestran la evolución y producción científica de un tema dependiendo de la pertinencia que tenga a nivel nacional y como las políticas públicas adecuan el marco normativo para que la actividad se realice en los estándares requeridos (Bullock y Lawler, 2015), direccionados por los acontecimientos geopolíticos (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2015).

### **8.1 Distribución temporal y geográfica de la producción científica**

El incremento de la tasa de la producción científica en México se debe al fuerte impulso del establecimiento del Sistema Nacional de Investigadores (Becerra-Rodríguez, 2011; Secretaría de Educación Pública [SEP], 2013) y las modificaciones pertinentes en la normatividad forestal desde la década de 1980 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 1986, 1988). Por un lado, el CONACYT es una institución que reconoce y otorga estímulos económicos (a través del SNI) a los investigadores más productivos (categoría nivel I, II, III y candidatos);

asimismo, en conjunto con otras instituciones apoya a investigadores para atender problemas nacionales prioritarios del estado mexicano, mediante programas sectoriales (SEP, 2013). En 1984 el SNI comenzó con 1396 autores y en 2014, sumaban 22,408, de los cuales el 12 % pertenecen al área de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias, donde corresponden los investigadores en modelación forestal (Foro Consultivo Científico y Tecnológico AC [FCCTAC], 2014a; 2014b). Por otro lado, varias de las modificaciones normativas respondieron a demandas internacionales como el Tratado de Libre Comercio de América del Norte –TLCAN– (DOF, 1993) y los diferentes escenarios ambientalistas internacionales, como el informe Brundtland, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático y la Cumbre de la Tierra (Organización Naciones Unidas [ONU], 1987; ONU, 2014a). Adicionalmente, los sistemas de ciencia y tecnología en América Latina han sido impulsados por organismos como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Organización de Estados Americanos (OEA), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y el Banco Mundial (Sánchez, 2004).

En el periodo analizado se contabilizaron 259 artículos con un comportamiento creciente de la producción anual (Figura 11). El primer artículo reportado corresponde al año 1982, los años con más publicaciones son: 2014 (38), 2011 (28) y 2009 (26); el último tercio del periodo analizado, concentra 179 publicaciones (70% de los artículos). El incremento en la producción científica en modelación forestal coincide con la creación de instituciones para la investigación (eg. INIFAP) y carreras afines a la actividad sugeridas por La Ley Forestal de 1986, donde también se establece la ordenación, regulación, conservación,

restauración y aprovechamiento de recursos (DOF, 1986). De 2006 a 2012, la producción científica en México mostró un incremento de 40 % (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2013a), sin embargo, ésta sigue siendo muy baja comparada con la mayoría de los países miembros de la OCDE y a nivel mundial sólo contribuye con menos del 1 %.

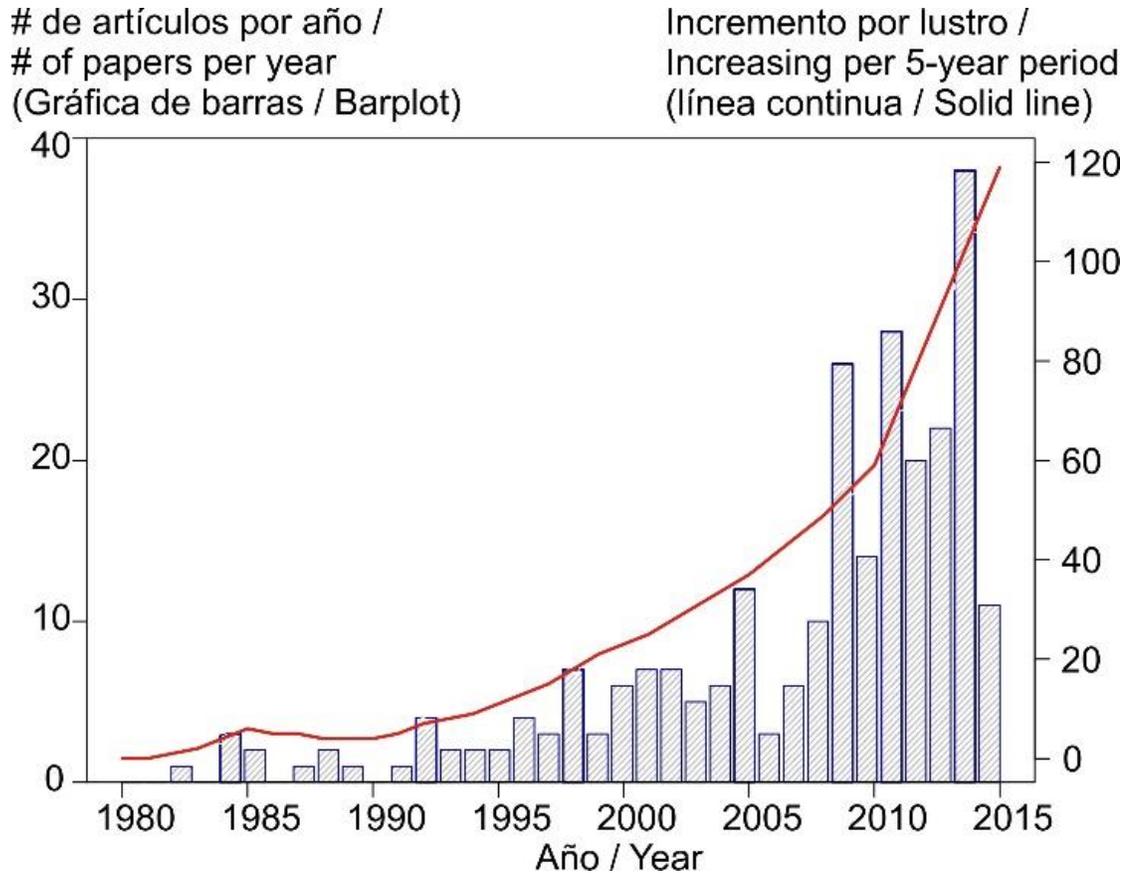


Figura 11. Producción anual de artículos de modelación forestal en México de 1980 a 2015.

Con base en el planteamiento de Molina et al., (2002), puede decirse que la producción científica sobre modelos forestales en México (Figura 11) se encuentra en la etapa de multiplicación. La investigación científica sigue una

curva logística (en forma de S) en la que es posible identificar primero una etapa de aparición del paradigma; una segunda etapa de multiplicación, caracterizada por la aparición de círculos de investigadores influenciados por pocos miembros de alta productividad; seguida de una tercera fase de madurez; y una última de estabilización (Molina, et al., 2002; Huamaní y Mayta, 2010). La segunda fase de la curva logística puede visualizarse como un fenómeno de contagio, en el cual el número de relaciones de la primera ola de adoptantes de una innovación es crítico para el resultado posterior (Crane, 1972). En el caso de México, puede esperarse que la producción científica relacionados con la modelación forestal siga creciendo, al menos, durante la siguiente década, aunque posiblemente con un reacomodo de las proporciones que representan cada una de las categorías (Figura 12).

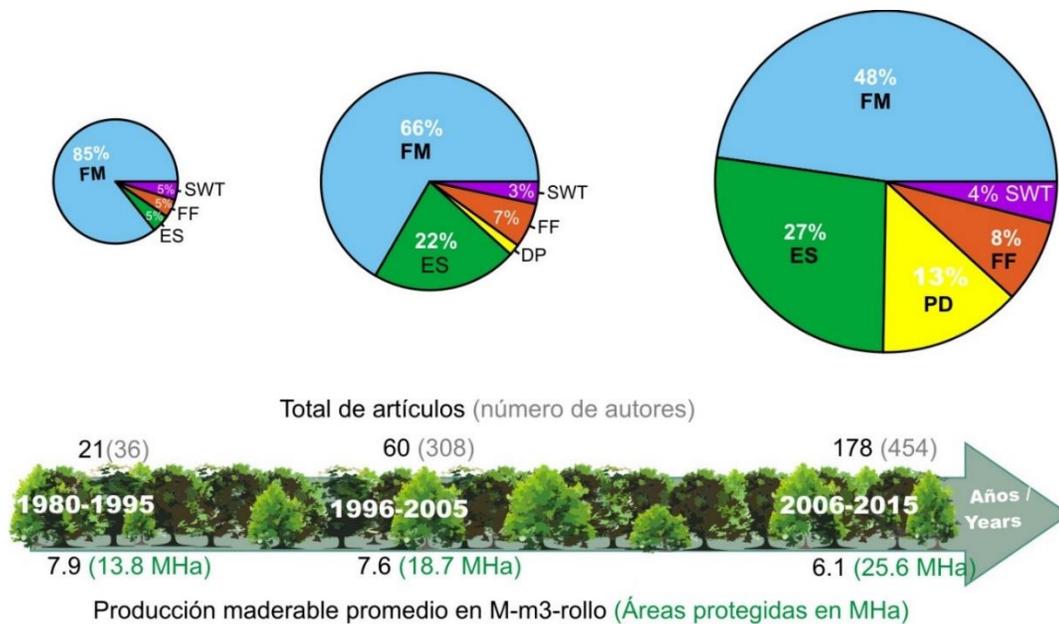


Figura 12. Evolución temporal de la producción científica en modelación forestal, producción maderable y Áreas Naturales Protegidas. Nomenclatura. FM: manejo

forestal; ES: servicios ambientales; PD: distribución potencial; FF: incendios forestales; SWT: abastecimiento y tecnología de la madera.

El incremento de la producción científica en modelación forestal ha sido constante y significativo a lo largo del periodo analizado; sin embargo, cuando se analizan por categorías, se nota la disminución de la importancia relativa de manejo forestal (37%) y un aumento (35%) en servicios ambientales y distribución potencial (Figura 12); mientras las categorías de incendios forestales y abastecimiento y tecnología de la madera se han mantenido estables. Este hecho puede explicarse por varios sucesos : (i) la ley forestal de 1960 donde se gestiona y fomenta la investigación y la enseñanza forestal (Instituto Nacional de Ecología [INE], 2003), (ii) la reforma de la ley forestal de 1986 que busca que los programas académicos respondan a los requerimientos técnicos y socioeconómicos de la actividad forestal (DOF, 1986), (iii) la Ley Forestal de 1992 que hace hincapié en crear condiciones de capitalización y modernización para hacerle frente a la entrada en vigor del TLCAN (DOF, 1993), (iv) el decreto en 1988 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) donde se retoma con mayor fuerza la tendencia conservacionista, ya que se incorporan aspectos de política ambiental y desarrollo sustentable, promoviendo el aumento de las Áreas Naturales Protegidas (Figura 2), (v) la puesta en marcha en 2003 del Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) asociado con el abastecimiento de agua a las comunidades y (vi) la implementación en 2004 del Programa para el Desarrollo de los Mercados de

Servicios Ambientales de Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de los Sistemas Agroforestales (SEMARNAT, 2009). En toda esta normatividad se tiene como denominador común la atención que se presta a la conservación de los recursos.

La enorme diversidad de ecosistemas forestales en México, permite utilizar sus bosques como productores de servicios ecosistémicos, situación que es acorde con el incremento de la producción de investigaciones en la categoría de servicios ambientales y distribución potencial (Figura 12); lo que es congruente con la demanda a nivel global de funciones de protección de suelo, agua, servicios ambientales, conservación de la biodiversidad y captura de carbono (FAO, 2015). Algunos convenios y convenciones internacionales que también han influenciado el enfoque ambientalista de la actividad forestal son: (i) Convenio sobre la Diversidad Biológica (Convention on Biological Diversity [CVD], 2015), (ii) Convenio para la Protección de la Capa de Ozono (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2001), (iii) Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (ONU, 2014a), (iv) Convención de Lucha contra la Desertificación (ONU, 2012), (v) Convención sobre Humedales (RAMSAR, 2014) y (vi) la Convención sobre comercio internacional de especies amenazados de fauna y flores silvestres; todos ellos tienen como objetivo principal establecer compromisos con relación a la conservación de los ecosistemas forestales (especies de flora y fauna silvestre), la regulación del ciclo hidrológico, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la protección de especies (FAO, 2001,2005a,2010; ONU, 2014b).

A lo largo del periodo la categoría de manejo forestal ha sido la más importante y ha tenido un crecimiento considerable en magnitud, en sentido opuesto a la producción maderable. El consumo total de madera en rollo de bosques naturales en América Latina y el Caribe, indican una reducción (1980 a 2003) de 25 % pasando de 96 millones de m<sup>3</sup> a 72 millones de m<sup>3</sup> (FAO, 2006). También en México se reporta una reducción en la producción de 3.9 millones de m<sup>3</sup>, alcanzando un valor máximo de 9.4 millones de m<sup>3</sup> en 2000 y un mínimo de 5.5 millones de m<sup>3</sup> en 2011 (SEMARNAT, 2015a). Entre los factores que contribuyen a la disminución y estancamiento de la producción maderable a nivel global pueden enumerarse: (i) mayor presión para conservar los bosques naturales por parte de las ONG ambientalistas, (ii) más restricciones y reglamentaciones sobre la actividad maderera en los bosques naturales, (iii) las restricciones a la exportación y la exigencia de certificados verdes, (iv) los altos costos para la certificación y etiquetado para entrar en el mercado internacional, (v) fuerte penetración en el mercado de la madera proveniente de plantaciones forestales, principalmente pino (*Pinus* spp.) y eucalipto (*Eucalyptus* spp.) y (vi) la competencia de la madera con materiales sustitutos (FAO, 2006). México también se ve afectado por prácticamente todos estos factores aunque el primer inciso incide en menor medida y el segundo implica que no todos los productores forestales tienen posibilidad de cumplir los requerimientos. Aunado al contexto internacional, hay dos hechos que han ocurrido de manera paralela: la apertura de mercados con la entrada en vigor del TLCAN en 1994 (DOF, 1993) y la falta de un sistema de producción forestal ordenado (FAO, 2005b). Con el primer hecho, las importaciones se incrementaron al grado de cubrir en promedio el 80

% del consumo aparente del país (SEMARNAT, 2015a, 2015b). Con el segundo, la falta de un sistema forestal ordenado se atribuye al manejo extensivo ampliamente utilizado, la baja rentabilidad, los sistemas de extracción ineficientes y la falta de un sistema adecuado de prestación de servicios técnicos (FAO, 2005c).

## **8.2 Distribución geográfica de las investigaciones**

El 82% de los artículos sobre modelación forestal en México, publicados de 1980 a 2015 se distribuyen en los estados, están clasificados de acuerdo a su producción maderable, como muy alta (20% de los artículos), alta (5%), media (24%), baja (17%) y muy baja (16%) (Figura 13). El 18% restante de los artículos, se realizaron en escalas espaciales más amplias: 9.7% a escala nacional y 8.3% en dos o más estados de las regiones noreste, sureste y centro (Anexo 3) (eg. Gómez et al., 2011; Rojas-García, De Jong, Martínez-Zurimendí & Paz-Pellat, 2015). Los siete estados con la mayor cantidad de artículos (Durango, Hidalgo, Estado de México, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Chihuahua) concentran el 58 % del total. Tomando en cuenta la categorización de los artículos, 55% pertenecen a manejo forestal, 25% a servicios ambientales, 9% a distribución potencial, 7 % a incendios forestales y 4% a abastecimiento y tecnología de la madera (Anexo 2), dado el porcentaje que concentra manejo forestal, de ahí la fuerte influencia de los autores en la red de modelación forestal (García, 2012; Leij & Goyal, 2011).

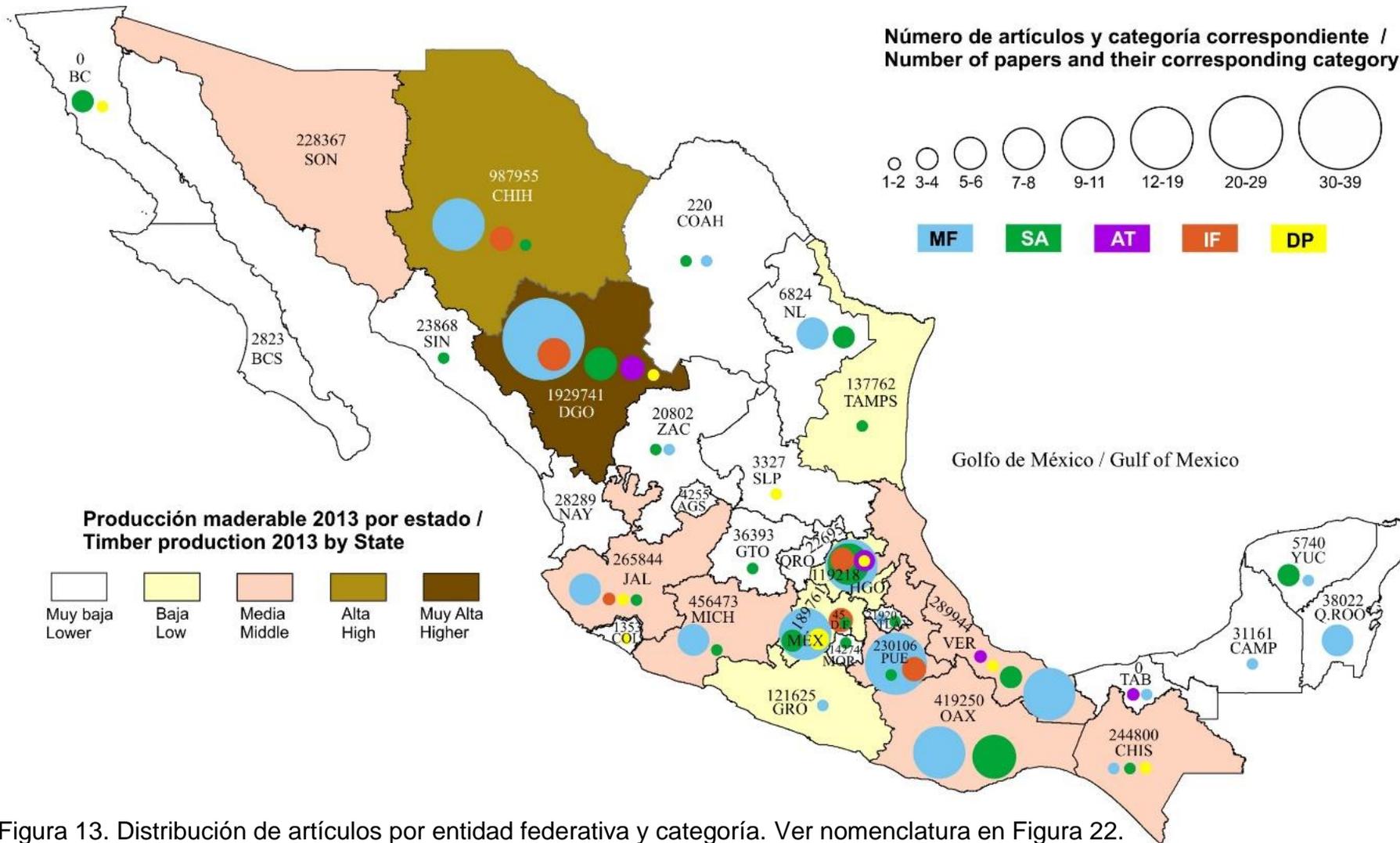


Figura 13. Distribución de artículos por entidad federativa y categoría. Ver nomenclatura en Figura 22.

Solo hay dos estados donde se han realizado estudios de todas las categorías, Durango e Hidalgo, en el primero la categoría de manejo forestal representa el 75% de su producción lo que es congruente con el hecho de ser el estado de mayor producción maderable (Figura 13). En el segundo, los porcentajes entre categorías están mejor distribuidos (manejo forestal, 36%, servicios ambientales, 32%), observándose una importancia relativa de los servicios ambientales, que coincide con el hecho de ser un estado con baja producción maderable, que a su vez incentiva como alternativa los estudios en servicios ambientales. Los cuatro estados que no presentan ningún tipo de trabajo (Nayarit, Querétaro, Aguascalientes, y Baja California Sur; Figura 13) tienen muy baja productividad, sin embargo, son puntos de oportunidad para investigación de servicios ambientales y distribución potencial. A pesar de que existe una amplia variedad de servicios ambientales, los que tienen el mayor potencial son: captura de carbono, desempeño hidráulico, biodiversidad y bioprospección (FAO, 2005b). En México la mayoría de los estudios relacionados con los servicios ambientales están enfocados a la temática de captura de carbono y, en menor medida, a los servicios hidrológicos y protección del suelo (e.g. Acosta, Carrillo & Gómez, 2011; Monterroso-Rivas; Gómez-Díaz & Tinoco-Rueda, 2009; Návar, 2009).

Por otro lado, la producción científica reportada en cada estado obedece a los resultados de las políticas aplicadas y la demanda nacional por la profesionalización de los servicios técnicos forestales, así como la formación de personal capacitado, que se materializa con la creación de instituciones educativas. Concretamente se han establecido más de 15 programas de

licenciatura, nueve de maestría y nueve de doctorado en 23 instituciones. Algunos de estos programas se han ubicado en zonas con producción forestal pero la mayoría se ubican en el centro del país, lo que coincide con la concentración, sólo en el Estado de México y el Distrito Federal, del 32 % de los investigadores del SNI en el área VI de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias (CONACYT, 2013b, 2014).

### **8.3 Autorías por redes**

Se identificaron 454 autores en el periodo estudiado (1980-2015) de los cuales 169 son autores de correspondencia y 173 son autores principales. Con base en información del Science Citation Index, los trabajos de colaboración internacional de 1980 a 1990 pasaron de 19% a 34% (Russell et al., 2006). Lo anterior contrasta con el hecho de que en México aún se tiende a mantener la participación individual en mayor porcentaje que la colectiva (Aguado-López, et al., 2009). Los estudios de modelación forestal de 1980 a 1995 mostraron una situación similar de participación escasa; con 36 autores involucrados, las autorías individuales representaron el 29% y los esquemas de colaboración de grupos pequeños, el 71%; también podemos observar a los pioneros de la actividad en modelación forestal (Figura 14). Un comportamiento similar se observa en la red de agricultura de 1942 a 1979, de tamaño pequeño, con una sola subred principal de 20 integrantes, 36 grupos pequeños de 2 a 5 integrantes y 13 autorías individuales (CONACYT, 2014).

Una década después, en 2005, se nota el establecimiento de las primeras redes, se incrementan las colaboraciones (dos o más integrantes) hasta el 85%; se

observa una red mediana y en desarrollo, en la cual hay un incremento a 13 grupos, manteniéndose las autorías individuales al mismo nivel y en la subred de mayor tamaño se había permitido la consolidación inicial de algunos autores en sus respectivas temáticas de investigación (Figura 15).

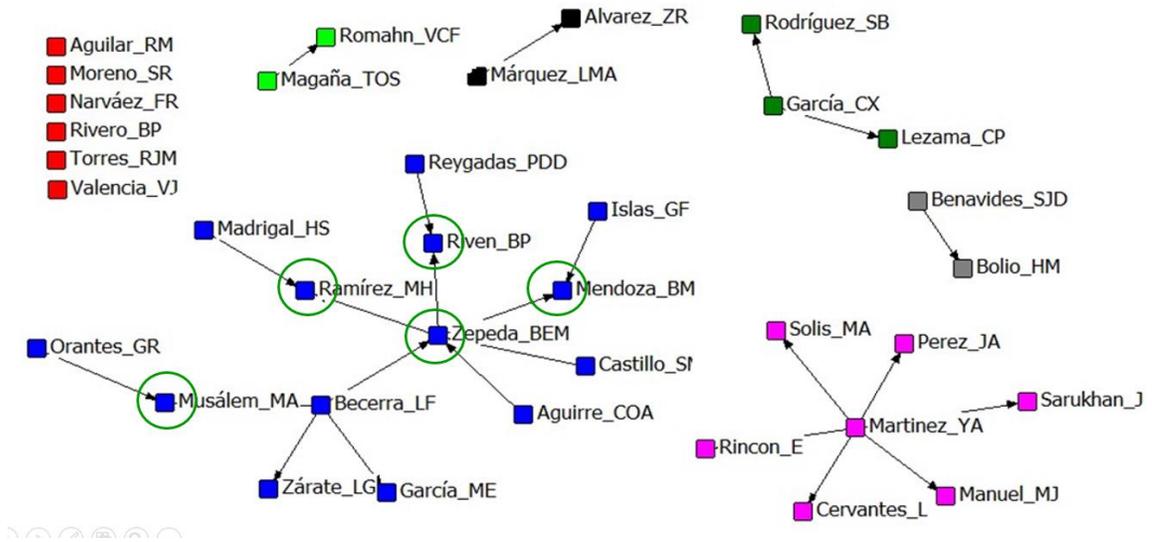


Figura 14. Redes de colaboración para el periodo de 1980 a 1995.

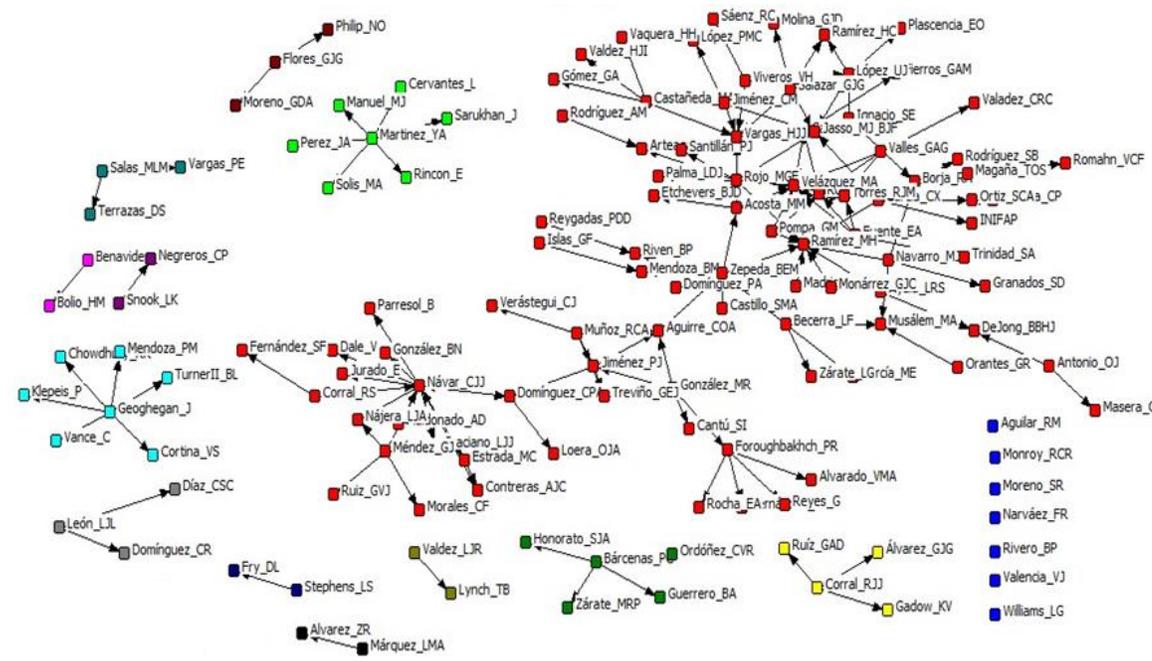


Figura 15. Redes de colaboración en el periodo de 1996 a 2005.

En el año 2015, las autorías individuales se redujeron a menos del 2%, hay 29 grupos pequeños (2-20 autores) que representan el 28% de la red y un grupo principal de más de 300 autores, que representa el 70% (Figura 16). Considerando los 454 autores de este periodo, 22 artículos publicados son de autoría individual, 51 con dos autores, 33 con tres y 153 con más de cuatro autores. La red de modeladores forestales pertenece al área VI de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias (antes llamada Agrociencias), misma que de 1942 a 1979 acumuló más de 200 investigadores mientras que la red de medicina en tan solo tres años, de 1976 a 1979, creció más de cinco veces (CONACYT, 2014). Esto es, la red del área VI (Biotecnología y Ciencias Agropecuarias) ha tenido un crecimiento muy lento comparado con el crecimiento en el área III de Medicina.

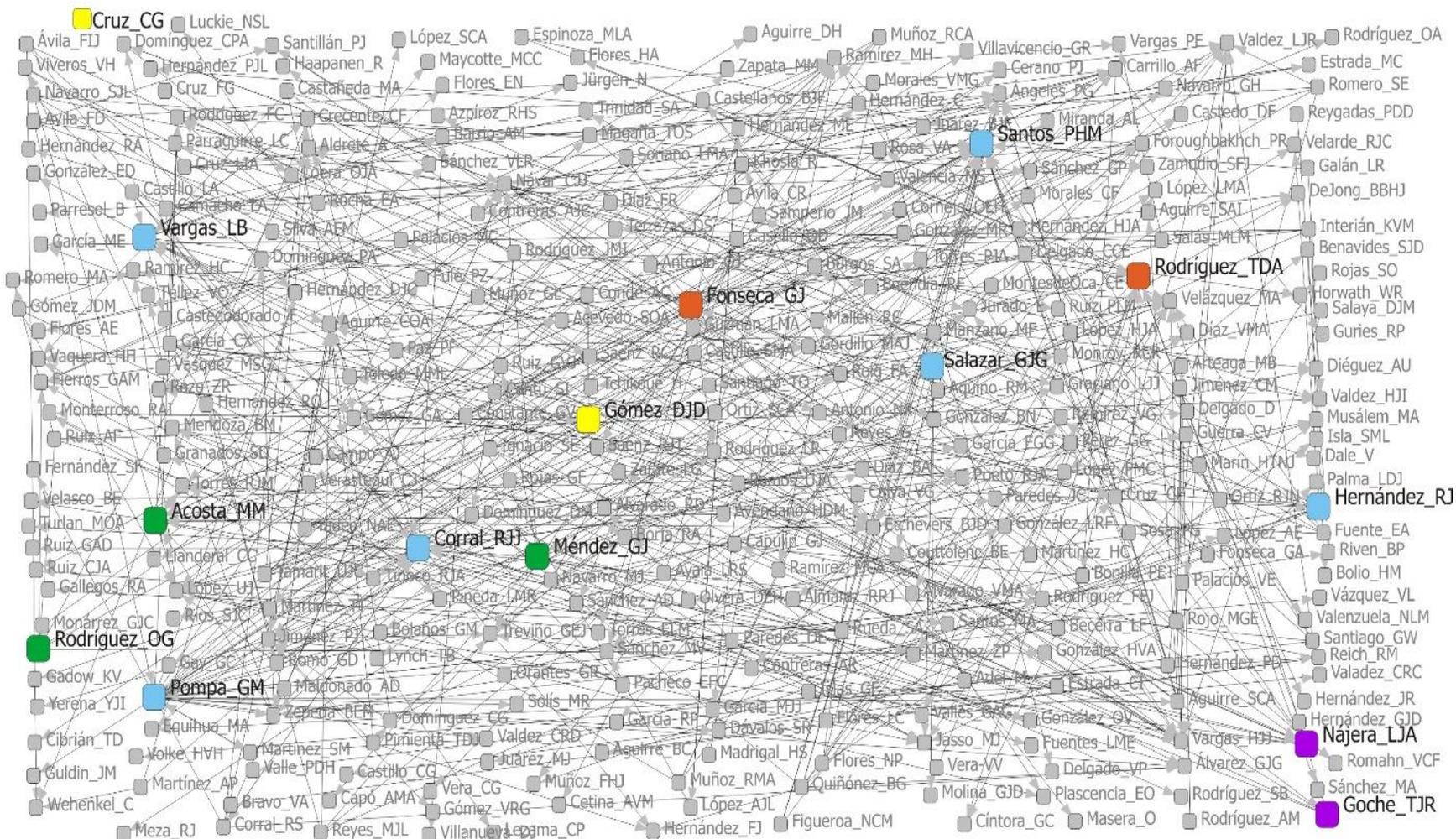


Figura 16. Redes de colaboración en modelación forestal de 1980 a 2015. En esta red de tamaño medio con más de 450 integrantes, se resaltan los 16 autores con mayor grado de centralidad en las diferentes categorías: manejo forestal (azul), servicios ambientales (verde), distribución potencial (amarillo), incendios forestales (naranja) y abastecimiento y tecnología de la madera (morado).

La interrelación de los integrantes de esta red de colaboración es aún insuficiente lo que se refleja en un valor de densidad muy bajo (0.003), dejando un universo de posibilidades (99%) para establecer colaboraciones entre ellos e incrementar su producción científica (Reagans y Zuckerman, 2001). Algunos países latinoamericanos (Argentina, Brasil, Chile y Uruguay) han incrementado la inversión en sectores estratégicos como la agricultura, la energía, las TIC's, en biotecnologías y en nanotecnologías para incentivar la producción científica y las colaboraciones (UNESCO, 2015, 2009). Estas inversiones en sectores estratégicos buscan un mejoramiento en la enseñanza superior y una mayor producción científica y colaboración internacional. En esta red son 16 los autores más participativos de la disciplina, según el grado de centralidad de los nodos en cada categoría de artículos (Fig. 16), que son a la vez los autores más productivos (Hou et al., 2008; Leij y Goyal, 2011; García, 2012), pueden tener una posición muy ventajosa respecto a los demás porque tienen más alternativas para colaborar con otros investigadores que también tienen redes grandes (Newman, 2004; Hanneman y Riddle, 2005). En contraste, en las redes de ciencias físicas hay más de 20 subredes con visibilidad, de las cuales sólo tres presentan a pocos autores líderes (CONACYT, 2014), lo que significa que en este caso la productividad no depende de un grupo pequeño de investigadores. Respecto a colaboraciones internacionales, sólo el 12% de los autores se relacionan con grupos de E.U, España, Alemania, Francia y Escocia; esto equivale a un tercio de las colaboraciones internacionales a nivel global (Aguado-López, et al., 2009). El incremento de los autores y colaboraciones durante el periodo analizado se debe a la creación del sistema nacional de investigadores

(SNI) (FAO, 1984; que inicio en 1984 con 1396 autores y al 2013 suman 19655, de los cuales el 11.7% pertenecen al área académica de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias al cual corresponden los investigadores que han generado la producción estudiada; cabe resaltar que al año 2009 había aproximadamente 60 Doctores en Silvicultura (CONACYT, 2012).

La red de manejo forestal concentra la mayor cantidad de autores (50%) y, por el contrario, la de abastecimiento y tecnología, el menor número (7%) (Anexo 2). En manejo forestal se reportan 3% de autorías individuales así como el grupo de mayor tamaño (181 colaboradores). Las categorías de servicios ambientales y distribución potencial no tienen autorías individuales y presentan el mayor número de grupos de colaboración de más de cuatro integrantes, sin alcanzar la centena. Finalmente, la categoría de abastecimiento y tecnología tiene 6% de autorías individuales y cinco grupos de 2-10 integrantes. En trabajo previos, se ha observado que la productividad de un grupo está influenciada por la cantidad de sus colaboradores y que los investigadores más productivos, que tienen muchas interacciones en sus categorías, son identificados como expertos en su área; lo anterior permite establecer nuevas colaboraciones y crecimiento de su productividad (Oh et al., 2006; Hou et al. 2006; Leij y Goyal, 2006; Hill, 2008; García, 2012). Esto coincide con los resultados en que la red de manejo forestal, que es la más grande, presenta mayor número de líderes y producción científica.

#### **8.4 Origen y destino de las publicaciones**

Se identificaron 88 instituciones que han colaborado interinstitucionalmente; a nivel nacional son 6 las instituciones más participativas: el INIFAP, el ColPos, la



a la facilidad de establecerlas a partir del auge de las Tecnologías de Información (TIC's) desde la década de 1990, cuando también se genera un incremento significativo de investigadores, producción científica y movilidad (UNESCO, 2015) teniendo como consecuencia el fortalecimiento de la multidisciplinariedad y las colaboraciones entre investigadores. Como se ha mencionado, el aumento de los investigadores en México ha sido impulsado de forma decisiva por el SNI, establecido en 1984.

Más del 60 % de los artículos se generan en cinco instituciones (Figura 18). Las tres instituciones que producen más, generalmente envían cierto porcentaje a su revista, en el caso del INIFAP retiene el 70% de su producción, el ColPos 46% y la UACH 32%. Las instituciones que publican más artículos en el extranjero son la UJED y UANL, con 38% y 14% de sus publicaciones, respectivamente, aunque hay que considerar que cada una produce el 8% del total. El 49% de los artículos se generan en instituciones ubicadas en el centro del país (UACH, ColPos e INIFAP) (Anexo 3).

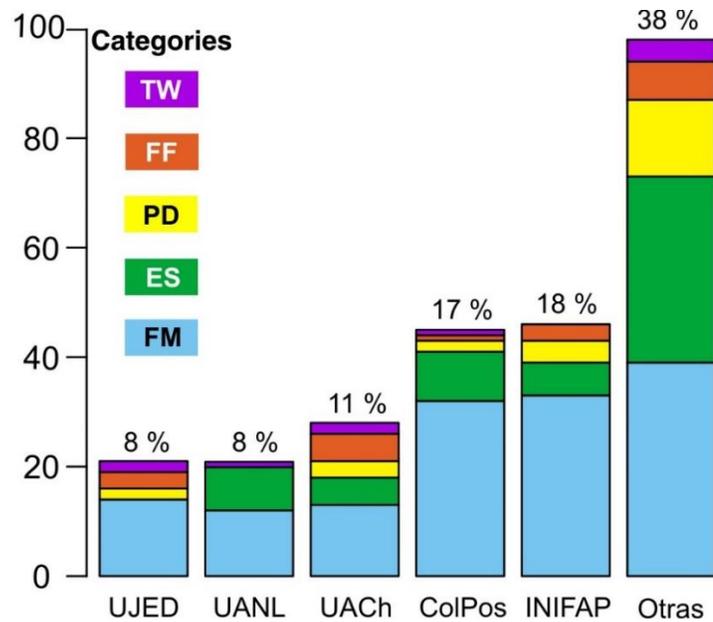


Figura 18. Instituciones de autorías de correspondencia. En la categoría de “Otras”, se agrupan las instituciones que tienen menos de 20 publicaciones, las cuales suman 98 artículos.

Los artículos de modelación forestal en México se han publicado en 37 revistas: 15 mexicanas, que concentran el 84% de los artículos, y 22 extranjeras. Los artículos publicados en el extranjero se distribuyeron en: Europa (61%), América (22%), Asia (15%) y África (2%); siendo Holanda, China, Francia, Reino Unido, Estados Unidos y Canadá, los países donde se publicó más (Cuadro 5).

De las 37 revistas, 28 de las cuales son indizadas, el 59% publicó sólo un artículo, el 30%, entre dos y nueve, y el 11% restante, más de 30. Las revistas que publicaron el mayor número de artículos son: Revista Mexicana de Ciencias Forestales, Agrocienza, Madera y Bosques, y Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente; que en conjunto concentran el 75% de las publicaciones (Cuadro 5).

Cuadro 5. Origen de las revistas y factor de impacto.

Revista	País	Institución	Factor de impacto (2014)	No. artículos publicados
Revista Mexicana de Ciencias Forestales	México	INIFAP	No tiene	81
Agrociencia	México	ColPos	0.262	46
Madera y Bosques	México	INECOL	0.29	35
Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente	México	UACH	0.216	31
Forest Ecology and Management	Holanda	Elsevier	2.667	9
Revista Fitotecnia Mexicana	México	Sociedad Mexicana de Fitogenética	0.327	8
Annals of Forest Science	Francia	Institut National de la Recherche Agronomique	1.536	5
Botanical Sciences	México	Sociedad Botánica de México	0.382	5
Journal of Forestry Research	China	Northeast Forestry University and Ecological Society of China	0.219	4
Canadian Journal of Forest Research	Canadá	NRC Research Press	1.657	3
Forestry	Reino Unido	Oxford University Press	2.093	2
Geografía física	México		No tiene	2
Journal of Arid Environments	Estados Unidos	Academic Press Inc	1.82	2

Revista Mexicana de Biodiversidad	México	UNAM	0.459	2
Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas	México	INIFAP	No tiene	2
African Journal of Agricultural	Nigeria	Academic Journals	0.26	1
Agriculture, Ecosystems & Environment	Holanda	Elsevier	3.4	1
Agronomía Mesoamericana	Costa Rica	Universidad de Costa Rica	No tiene	1
Atmósfera	México	UNAM	0.38	1
Biomass and Bioenergy	Reino Unido	Elsevier	3.39	1
Chinese Geographical Science	China	Science Press.	1.12	1
Dendrochronologia	Alemania	Elsevier	1.797	1
Ecological Modelling	Holanda	Elsevier	2.32	1
Forest Ecosystems	China	Springer	No tiene	1
Forest Systems	España	<u>Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria</u>	0.796	1
Interciencia	Venezuela	<u>Interciencia Association</u>	0.194	1
International Journal of Biometeorology	Estados Unidos	<u>Springer New York</u>	3.246	1
Journal of Latin American Geography	Estados Unidos	<u>University of Texas Press</u>	0.17	1
Journal of Tropical Ecology	Reino Unido	<u>Cambridge University Press.</u>	0.904	1
Journal of Vegetation Science	Estados Unidos	<u>Wiley-Blackwell.</u>	3.709	1
Política y Cultura	México		No tiene	1

Plant Ecology	Holanda	<u>Springer Netherlands</u>	1.463	1
Revista Latinoamericana de Recursos Naturales	México		No tiene	1
Tropical and Subtropical Agroecosystems	México	<u>Universidad Autonoma de Yucatan.</u>	0.17	1
Water, Air, & Soil Pollution	Holanda		1.55	1
Forestra Veracruzana	México		No tiene	1
Agrofaz	México	Universidad Juárez del Estado de Durango	No tiene	1

---

## 9. CONCLUSIONES

- La evolución espaciotemporal de la producción científica en modelación forestal en México es explicada por los incentivos que otorga el Sistema Nacional de Investigadores y las políticas públicas normativas relacionadas con los recursos naturales.
- La producción científica ha crecido desde 1980 pero ha tenido una tasa de incremento mayor a partir de 2005.
- De las cinco categorías de la modelación forestal analizadas (manejo forestal, servicios ambientales, distribución potencial, incendios forestales y abastecimiento y tecnología de la madera) se identificaron a los 16 autores líderes, que son los más relacionados y con mayor influencia en la red actual.
- Por la diversidad de sus ecosistemas, el incremento de la superficie de las áreas naturales protegidas y la demanda por funciones ecosistémicas a nivel mundial, se espera que la producción científica en México en la temática de servicios ambientales y distribución potencial sigan aumentando en importancia relativa.
- En cuanto a las redes, existe un amplio potencial de incrementar las colaboraciones entre investigadores e instituciones así como la producción científica, ya que se ha utilizado menos de 2% de las posibles colaboraciones.

- Las instituciones con más publicaciones son: el INIFAP, el ColPos y la UACH, las tres instituciones que a su vez, tienen su propia revista institucional, que publican entre el 32% y 67% de sus trabajos.
- Por último, se observa una clara intención de las revistas científicas mexicanas de hacer publicaciones bilingües, en español e inglés, para aumentar su audiencia internacional.

## 10. REFERENCIAS

- Abbasi, A., & Altmann, J. (2010). A Social Network System for Analyzing Publication Activities of Researchers. *Technology Management, Economics and Policy Papers*, 2010(58), 1-18. Obtenido de <ftp://147.46.237.98/DP-58.pdf>
- Acosta, M. M., Carrillo, A. F., & Gómez, V. R. G. (2011). Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 529–543. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342011000400005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000400005&lng=es&tlng=es)
- Aguado-López, E., Rogel-Salazar, R., Garduño-Oropeza, G., Becerril-García, A., Zúñiga-Roca, M., & Velázquez-Álvarez, A. (2009). Patrones de colaboración científica a partir de redes de coautoría. *Convergencia*, 16(1), 225-258. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/105/10512244010.pdf>
- Aldana, M. (2006). *Redes complejas*. Obtenido de <http://www.fis.unam.mx/~max/English/notasredes.pdf>
- Arroyave, B. F. J., Romero, G. O. Y., Bonilla, G. M. A., & Hurtado, H. R. G. (2014). Tráfico ilegal de tortugas continentales (testudinata) en Colombia: una aproximación desde el análisis de redes. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 381-391. Obtenido de:

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2014000300005&lng=en&lng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2014000300005&lng=en&lng=es). 10.15446/abc.v19n3.41590.

Barnsley, M. J. (2007). *Environmental Modeling: A Practical Introduction*. United States, Florida: CRC Press.

Becerra-Rodríguez, N. (2011). Is there a trade-off between Academy-Industry linkages and scientific productivity? Empirical evidence from Mexican researchers. Dime-Druid Academy Winter Conference 2011. Obtenido de <http://www2.druid.dk/conferences/viewpaper.php?id=502465&cf=47>

Bonnell, B. (2012). Trends in research and collaboration in the Canadian Model Forest Network, 1993–2010. *The Forestry Chronicle*, 88(3), 274-282. doi: 10.5558/tfc2012-054

Borgatti, S. P. (2015). *NetDraw: Graph visualization software*. Harvard: Analytic Technologies. Obtenido de <http://www.analytictech.com/netdraw/netdraw.htm>

Borgatti, S. P., Everett, M. G., & Freeman, L. C. (2015). *Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis*. Obtenido de <http://www.analytictech.com/ucinet/>

Bullock R., & Lawler, J. (2015). Community forestry research in Canada: A bibliometric perspective. *Forest Policy and Economics*, 59(2015), 47–55. doi: 10.1016/j.forpol.2015.05.009

Calderón, M. M. G., & Flores, P.J. (2012). Redes de conocimiento en empresas de la industria electrónica en México: Una propuesta metodológica. *Economía: teoría y práctica*, (37), 121-143. Obtenido de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-33802012000200006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-33802012000200006&lng=es&tlng=es). .

Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., & Venail, P. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67. doi: 10.1038/nature11148

CEPAL. (2005). Los recursos naturales en los tratados de libre comercio con Estados Unidos. Obtenido de: <http://archivo.cepal.org/pdfs/2005/S055371.pdf>

Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CyT DES). (2007). Política científica y tecnológica de Estados Unidos: reseña histórica e implicancias para los países en desarrollo. Obtenido de: <http://www.cepal.org/iyd/noticias/paginas/4/31424/sampat.pdf>

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2014). Atlas de la Ciencia Mexicana. Obtenido de [www.atlasdelacienciamexicana.org.mx/wp-content/uploads/2014/atlas\\_version\\_impresa\\_2012-voll/flash.html#/39/](http://www.atlasdelacienciamexicana.org.mx/wp-content/uploads/2014/atlas_version_impresa_2012-voll/flash.html#/39/)

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2013a). Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018. Obtenido de [http://www.conacyt.mx/images/conacyt/PECiTI\\_2014-2018.pdf](http://www.conacyt.mx/images/conacyt/PECiTI_2014-2018.pdf)

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2013b). Sistema Nacional de Investigadores. Obtenido de [http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/acertadistico/conacyt/sistema\\_nacional\\_de\\_investigadores.pdf](http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/acertadistico/conacyt/sistema_nacional_de_investigadores.pdf)

Convention on Biological Diversity (CVD). (2015). Historia del Convenio.  
Consultado 3-12-15 en [www.cbd.int/history/](http://www.cbd.int/history/)

Crane, D. (1972). Invisible colleges. Diffusion of knowledge in scientific communities. Chicago and London: The University of Chicago Press.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (1986). Ley Forestal. Obtenido de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4795460&fecha=30/05/1986](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4795460&fecha=30/05/1986)

Diario Oficial de la Federación (DOF). (1988). Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Obtenido de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>

Diario Oficial de la Federación (DOF). (1993). Tratado de Libre Comercio con América del Norte. Obtenido de [http://www.imcine.gob.mx/sites/536bfc0fa137610966000002/content\\_entr\\_y537f86d693e05abc55000284/53d2770d9d72796e24000089/files/1.pdf](http://www.imcine.gob.mx/sites/536bfc0fa137610966000002/content_entr_y537f86d693e05abc55000284/53d2770d9d72796e24000089/files/1.pdf)

ESRI. (2015). ArcGIS (Versión 10.3) Software de procesamiento digital de imágenes satelitales. Obtenido de <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop>

Fondo Monetario Internacional. (2015). Perspectivas de la economía mundial: ajustándose a precios más bajos para las materias primas. Obtenido de: <https://www.imf.org/external/spanish/pubs/ft/weo/2015/02/pdf/texts.pdf>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2001). Convenios mundiales sobre los bosques. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/003/y1237s/y1237s00.htm#TopOfPage>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2005a). Informe subregional Centroamérica y México. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j7354s/j7354s00.pdf>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2005b). Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/006/j2215s/j2215s00.htm>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2005c). Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j7354s/j7354s00.pdf>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2006). Los desafíos del desarrollo y el sector forestal en América Latina y el Caribe. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/009/a0470s/a0470s00.htm>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). Marco institucional, jurídico y normativo. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/013/i1757s/i1757s08.pdf>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2015). Forest Resources Assessment 2015. Obtenido de <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/current-assessment/en/>

Food and Agriculture Organization (FAO). 2007. Panorama mundial. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0773s/a0773s08.pdf>

Foro Consultivo Científico y Tecnológico AC (FCCTAC). (2014a). Sistema Nacional de Investigadores. Obtenido de [http://www.foroconsultivo.org.mx/asuntos/academicos/sni2014/resultados\\_comisiones\\_dictaminadoras\\_2014.pdf](http://www.foroconsultivo.org.mx/asuntos/academicos/sni2014/resultados_comisiones_dictaminadoras_2014.pdf)

Foro Consultivo Científico y Tecnológico AC (FCCTAC). (2014b). Sistema Nacional de Investigadores. Obtenido de [http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/acertadistico/conacyt/sistema\\_nacional\\_de\\_investigadores.pdf](http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/acertadistico/conacyt/sistema_nacional_de_investigadores.pdf)

Foro Consultivo Científico y Tecnológico. (2014c). Series Históricas del Gasto en Ciencia, Tecnología e Innovación en México. Obtenido de [http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/acertadistico/ciencia\\_tecnologia\\_innovacion/series\\_historicas.pdf](http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/acertadistico/ciencia_tecnologia_innovacion/series_historicas.pdf)

Foro Consultivo Científico y Tecnológico. (2005). Una reflexión sobre el Sistema Nacional de Investigadores a 20 años de su creación. Obtenido de [http://www.coniunctus.amc.edu.mx/libros/20\\_sni\\_final.pdf](http://www.coniunctus.amc.edu.mx/libros/20_sni_final.pdf)

Foro Consultivo Científico y Tecnológico. (2012). Taller sobre Indicadores en Ciencia y Tecnología en Latinoamérica. Obtenido de [http://www.foroconsultivo.org.mx/libros\\_editados/taller\\_sobre\\_indicadores\\_en\\_ciencia\\_y\\_tecnologia\\_en\\_latinoamerica.pdf](http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/taller_sobre_indicadores_en_ciencia_y_tecnologia_en_latinoamerica.pdf)

Free Trade Area of the Americas. (2015). Antecedents of the FTAA Process. En: [http://www.ftaa-alca.org/view\\_e.asp](http://www.ftaa-alca.org/view_e.asp)

Galeano, M. E., Amarilla, A., & Parra, G. (2007). Productividad científica del Paraguay en el área de biomedicina: Un análisis bibliométrico. Mem. Inst. Investig. Cienc. Salud, 5(1), 26-30. Obtenido de <http://scielo.iics.una.py/pdf/iics/v5n1/v5n1a06.pdf>

García, H. A. (2012). Las redes de colaboración científica y su efecto en la productividad. Un análisis bibliométrico. Investigación Bibliotecológica, 27(59), 159-175. Obtenido de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-358X2013000100008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-358X2013000100008)

Gaughan, M., & Pnomariov, B. (2008). Faculty publication productivity, collaboration, and grants velocity: Using curricula vitae to compare center-affiliated and unaffiliated scientist. *Research Evaluation*, 17(2), 103-110. doi: 10.3152/095820208X287180

Gerolin, J., Bressan, R. A., Pietrobon, R., & Mari, J. J. (2010). Ten-year growth in the scientific production of Brazilian Psychiatry: The impact of the new evaluation policies. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 32(1), 6-10. Obtenido de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-44462010000100004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-44462010000100004)

Gómez-Díaz, J. D., Monterroso-Rivas, A. I., Tinoco-Rueda, J. A., Toledo-Medrano, M. L., Conde-Álvarez, C., & Gay-García, C. (2011). Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera*, 24(1), 31-52. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-62362011000100004&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362011000100004&lng=es&tlng=en).

Hanneman, R. A., & Riddle, M. (2005). *Introduction to social network methods*. Obtenido de <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/>

Hayashi, M. (2012). Análise de redes de colaboração científica entre educação especial e fonoaudiologia. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 35:(3) Obtenido de <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/RIB/article/view/158>

- Hernández, S.P. (2012). Redes de colaboración de la ANUIES. Un acercamiento a las regionales. *Revista de la Educación Superior*. Obtenido de [http://publicaciones.anui.es.mx/pdfs/revista/Revista161\\_S3A1ES.pdf](http://publicaciones.anui.es.mx/pdfs/revista/Revista161_S3A1ES.pdf)
- Herrera-Miranda, I., Licea, A. J., & Gómez-Hernández, J. A. (2013). Publicaciones Periódicas en Biblioteconomía, Bibliotecología, Ciencias de la Información y Documentación en México: Tendencias Temáticas, Productividad y Redes de Coautoría: 1956-2006. *Interamericana de Bibliotecología*, 36(2), 97-108. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-09762013000200001&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-09762013000200001&lng=en&tlng=es) .
- Hill, V. A. (2008). Collaboration in an Academic Setting: Does the Network Structure Matter?, *Center for Computational Analysis of Social and Organizational Systems*, 08(128). Obtenido de <http://www.casos.cs.cmu.edu/publications/papers/CMU-ISR-08-128.pdf>
- Hou, H., Kretschmer, H., & Liu, Z. (2008). The structure of scientific collaboration networks in *Scientometrics*. *Scientometrics*, 75(2), 189-202. Obtenido de <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11192-007-1771-3>
- Huamani, C., & Mayta-Tristán, P. (2010). Producción científica peruana en medicina y redes de colaboración, análisis del science citation index 2000-2009. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 27(3), 315-25. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v27n3/a03v27n3.pdf>
- Hynnen, J. (2011). Conceptos básicos para la modelación del crecimiento forestal. *Recursos Naturales y Ambiente*, 64, 22-27. Obtenido de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/11554/7075/1/Conc>

ptos%20basicos%20para%20la%20modelacion%20del%20crecimiento  
%20forestal.pdf

Instituto Nacional de Ecología (INE). (2003). Memorias del primer encuentro internacional de derecho ambiental. Obtenido de [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_publicacion=398](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_publicacion=398)

Klenk, N. L., Dabros, A., & Hickey, G. M. (2010). Quantifying the research impact of the Sustainable Forest Management Network in the social sciences: A bibliometric study. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(11), 2248-2255. doi: 10.1139/X10-138

Larsen, K. (2008). Knowledge network hubs and measures of research impact, science structure, and publication output in nanostructured solar cell research. *Scientometrics*, 74(1), 123-142. doi: 10.1007/s11192-008-0107-2

Leij, M., & Goyal, S. (2011). Strong ties in a small world. *Review of Network Economics*, 10(2). doi: 10.2202/1446-9022.1278

Leipold, S. (2014). Creating forests with words a review of forest-related discourse studies. *Forest Policy Economics*, 40, 12–20. doi: 10.1016/j.forpol.2013.12.005

Li, Y. Q., Deng, X. W., Huang, Z. H., Xiang, W. H., Yan, W., Lei, P. F., Zhou, X. I., & Peng, C. H. (2015) Development and Evaluation of Models for the Relationship between Tree Height and Diameter at Breast Height for Chinese-Fir Plantations in Subtropical China. *Plos One* 10(4). doi: 10.1371/journal.pone.0125118

- Luo, J. D. (2005). Social network structure and performance of improvement teams. *Journal Business Performance Management*, 7(2), 208-223. doi: <http://dx.doi.org/10.1504/IJBPM.2005.006491>
- Lužar, B., Levnajić, Z., Povh, J., & Perc, M. (2014). Community Structure and the Evolution of Interdisciplinarity in Slovenia's Scientific Collaboration Network. *Plos One*, 9(4). doi: 10.1371/journal.pone.0094429
- Malesios, C., & Arabatzis, G. (2012). An evaluation of forestry journals using bibliometric Índices. *Annals of Forest Research*, 55(2), 147-164. doi: 10.15287/afr.2012.55
- Martínez, N., Brenner, L., & Espejel, I. (2015). Red de participación institucional en las Áreas Naturales Protegidas de la península de Baja California. *Región y sociedad*, 27(62), 27-62. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252015000100002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252015000100002&lng=es&tlng=es). .
- McGrail, M.R., Rickard, C.M., Jones, R. (2006) Publish or perish: a systematic review of interventions to increase academic publication rates. *Higher Education Research and Development*, 25(1), 19-35.
- Mendoza-Briseño, M. A. (1993). *Conceptos básicos de manejo forestal*. México, D.F: LIMUSA.
- Molina, J. L., Muñoz, J. M., & Domènech, M. (2002). Redes de publicaciones científicas: un análisis de la estructura de coautorías. *Redes*, 1(3). Obtenido de [http://revista-redes.rediris.es/html-vol1/vol1\\_3.htm](http://revista-redes.rediris.es/html-vol1/vol1_3.htm)
- Monterroso-Rivas, A. I., Gómez-Díaz, J. D., & Tinoco-Rueda, J. A. (2009). *Servicios ambientales hidrológicos bajo escenarios de cambio climático en*

el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. *Madera y bosques*, 15(2), 5-26.

Obtenido de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712009000200001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712009000200001&lng=es&tlng=es).

Naeem, S., Duffy, J. E., & Zavaleta, E. (2012). The Functions of Biological Diversity in an Age of Extinction. *Science*, 336(6087), 1401-1406. doi: 10.1126/science.1215855

Narin, F. (1976). *Evaluative Bibliometrics: The use of publication and citation analysis in the evaluation of scientific activity*. Cherry Hill, New Jersey: Computer Horizons, Inc. 459 p.

Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 427–434. doi: 10.1016/j.foreco.2008.09.028

Newman, M. (2010). *Networks: an introduction*. New York, Oxford: Oxford University Press.

Newman, M. E. J. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *The National Academy of Sciences*, 101, 5200–5205. doi: 10.1073/pnas.0307545100

Newman, M. E. J. (2003). *The Structure and Function of Complex Networks*.

SIAM REVIEW. Obtenido de

<http://epubs.siam.org/doi/pdf/10.1137/S003614450342480>

Newman, M.E.(2007). The structure of scientific collaboration networks. *PNAS*.

Obtenido de <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.021544898/>

- Nuñez-Espinoza, J. F., Figueroa, R. O. L., & Jiménez-Sánchez, L. (2014). Elementos para analizar redes sociales para el desarrollo rural en México: El caso RENDRUS. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 11(1), 1-24. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722014000100001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722014000100001&lng=es&tlng=es).
- OCDE, 2013. Main Science and Technology Indicators. Consultado 10/12/15 en <http://www.oecd.org/sti/msti.htm>
- Oh, H., Labianca, G., & Chung, M. H. (2006). A multilevel model of group social capital. *Academy of Management Review*, 31(3), 569-582. doi: 10.5465/AMR.2006.21318918
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (1987). Our Common Future. Reporte de la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo. Obtenido de <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2014a). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Obtenido de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2014b). Historia de la CMNUCC. Obtenido de [http://unfccc.int/portal\\_espanol/informacion\\_basica/la\\_convencion/historia/items/6197.php](http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/la_convencion/historia/items/6197.php)
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2012). La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD) y su dimensión política. Obtenido de

[http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Parliament/2003/PDUNC CD\(spa\).pdf](http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Parliament/2003/PDUNC CD(spa).pdf)

Otte, E. and Rousseau R. (2002). Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. *Journal of Information Science*, 28 (6) 2002, pp. 441–453 Obtenido de <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~tonta/courses/spring2011/bby704/rousseau-social-network-analysis-jis.pdf>

Palacio, D., Hurtado, R., & Leonardo, G. L. (2003). Redes socio-ambientales en tensión: El caso de la gestión ambiental de los humedales de Bogotá. *Redes- Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 4(6). Obtenido de [http://revista-redes.rediris.es/html-vol4/vol4\\_6.htm](http://revista-redes.rediris.es/html-vol4/vol4_6.htm)

Perianes-Rodríguez, A., Olmeda-Gómez, C., Moya-Anegón, F. (2008). Introducción al análisis de redes. *El profesional de la información*, 17(6), 664-669 doi: 10.3145/epi.2008.nov.10

Prat, A.M. (2001). Evaluación de la producción científica como instrumento para el desarrollo de la ciencia y la tecnología. *ACIMED*, 9(4), 111-114. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94352001000400016&lng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352001000400016&lng=es).

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2001). Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono. Obtenido de <http://ozone.unep.org/pdfs/viennatext-sp.pdf>

RAMSAR. (2014). The RAMSAR convention and its mission. Consultado 12-12-15 en <http://www.ramsar.org/about/the-ramsar-convention-and-its-mission>

- Reagans, R., & Zuckerman, E. W. (2001). Networks, diversity, and productivity: The social capital of corporate R&D teams. *Organization Science* 12(4), 502-517. doi: 10.1287/orsc.12.4.502.10637
- Ríos G. C., & Herrero S. V. (2005). La producción científica latinoamericana y la ciencia mundial: una revisión bibliográfica (1989-2003). *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 28(1), 43-61. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-09762005000100003&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-09762005000100003&lng=en&tlng=es). .
- Rojas-García, F., De Jong, H. J., Martínez-Zurimendí, P., & Paz-Pellat, F. (2015). Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science*, 72(6), 835-864. doi: 10.1007/s13595-015-0456-y
- Romance, M. (2010). *Análisis de Redes Complejas: Un paseo matemático entre Google y las redes sociales*. Obtenido de [http://www.um.es/documents/118351/187983/romance\\_2010.pdf](http://www.um.es/documents/118351/187983/romance_2010.pdf)
- Royero Rivera, Jaim D. (2007). *Las redes de I+D como estrategia de uso de las TIC en las universidades de América Latina*. Obtenido de <http://www.uoc.edu/rusc/3/2/dt/esp/royero.pdf>
- Russell, J. M., Ainsworth, S., & Narváez-Berthelemot, N. (2006). Colaboración científica de la Universidad Nacional Autónoma de México y su política institucional. *Revista Española de Documentación Científica*, 29(1). doi: 10.3989/redc.2006.v29.i1.287

Sánchez, D. G. (2004). Los Sistemas de Ciencia y Tecnología en Tensión: su Integración al Patrón de Reproducción Global. *Convergencia*, 11(35), 193-220. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/105/10503508.pdf>

Secretaría de Educación Pública (SEP). (2013). Sistema Nacional de Investigadores. Consultado 19-12-15 en [http://www.sep.gob.mx/es/sep1/26\\_de\\_julio\\_\\_de\\_1984\\_creacion\\_\\_del\\_Sistema\\_Nacional\\_de\\_Investigadores#.VnX8XErhDIU](http://www.sep.gob.mx/es/sep1/26_de_julio__de_1984_creacion__del_Sistema_Nacional_de_Investigadores#.VnX8XErhDIU)

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2005). México, un país megadiverso. Obtenido de [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen/04\\_biodiversidad/cap4.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/04_biodiversidad/cap4.html)

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2009). Programa de Pago por Servicios Ambientales. Obtenido de [http://inecc.gob.mx/descargas/con\\_eco/2009\\_sem\\_ser\\_amb\\_pres\\_04\\_e\\_martinez.pdf](http://inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2009_sem_ser_amb_pres_04_e_martinez.pdf)

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Obtenido de <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/economica/anuarios-estadisticos-de-la-produccion-forestal>

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015a). Áreas Naturales Protegidas. Consultado 19-11-15 en <http://www.conanp.gob.mx/regionales/>

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015b). Anuarios forestales. Consultado 7-10-15 en

<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/forestal-y-suelos/anuarios-forestales>

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015c). Diagnóstico del comercio internacional forestal 2002-2005. Obtenido de <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/economica/diagnostico-del-comercio-internacional-forestal>

Sheridan, R., Popescu, S., Gatzliolis, D., & Morgan, C. L. (2014). Modeling Forest Aboveground Biomass and Volume Using Airborne LiDAR Metrics and Forest Inventory and Analysis Data in the Pacific Northwest. *Remote Sensing*, 7(1), 229-255. doi: 10.3390/rs70100229

The Royal Society (2011). Knowledge, networks and nations Global scientific collaboration in the 21st century. Obtenido de [https://royalsociety.org/~media/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/2011/4294976134.pdf](https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2011/4294976134.pdf)

Tichy, N. M., Tushman, M. L., & Fombrun, C. (1979). Social network analysis for organizations. *The Academy of Management Review* 4(4), 507-519. Obtenido de <https://www.sfu.ca/cmns/courses/marontate/2009/801/ClassFolders/jmckinnon/Alternatives/Social%20Network%20Analysis%20for%20Organizations.pdf>

Tutte, W.T. (2001). *Graph Theory*, Cambridge University Press.

Uhde, B., Hahn, A. W., & Griess, V. C. (2015). Hybrid MCDA Methods to Integrate Multiple Ecosystem Services in Forest Management Planning: A Critical

Review. *Environmental Management*, 56(2), 373-88. doi: 10.1007/s00267-015-0503-3

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2009). *Tras la pista de una revolución académica: Informe sobre las tendencias actuales*, Paris, Francia. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001831/183168s.pdf>

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2015). *Informe de la UNESCO sobre la Ciencia*. Consultado 23-11-15 en [http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/research\\_at\\_the\\_forefront\\_of\\_the\\_global\\_race\\_for\\_sustainable\\_development\\_says\\_unesco\\_report/#.Vk-5MHYvfIU](http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/research_at_the_forefront_of_the_global_race_for_sustainable_development_says_unesco_report/#.Vk-5MHYvfIU)

Vanclay J. K. (2008a). Ranking forestry journals using the h-index. *Journal of Informetrics*, 2(4), 326–334. Obtenido de <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0712/0712.1916.pdf>

Vanclay J. K. (2008b). Gauging the impact of journals. *Forest Ecology and Management* 256(4), 507–509. doi: 10.1016/j.fsigen.2014.01.011

Vega G. A. (2014). Élités gubernamentales en tres entidades federales de México (2000-2012): Un análisis estructural. *Revista mexicana de ciencias políticas y sociales*, 59(222), 391-422. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-19182014000300016&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-19182014000300016&lng=es&tlng=es). .

Velázquez, O. A., & Aguilar, G. (2005). *Manual Introductorio al Análisis de Redes Sociales. Medidas de Centralidad. Ejemplos Prácticos con UCINET 6.85 y*

Netdraw 1.48. Obtenido de [http://revista-redes.rediris.es/webredes/talleres/Manual\\_ARS.pdf](http://revista-redes.rediris.es/webredes/talleres/Manual_ARS.pdf)

Wasserman, S., & Faust, K. (1994). Social network analysis, methods and applications. Cambridge: Cambridge University Press.

World trade organization, 2010. World Trade Report 2010 Trade in natural resources. Obtenido de [https://www.wto.org/english/res\\_e/booksp\\_e/anrep\\_e/world\\_trade\\_report\\_10\\_e.pdf](https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/anrep_e/world_trade_report_10_e.pdf)

## 11.ANEXOS

### **Anexo 1.** Formato nodelist1

dl n=1000, format=nodelist1

labels embedded

data:

1 2 3

2 1 3 4

3 1 2

4 2

**Anexo 2.** Concentrado de artículos por estado, producción (m<sup>3</sup>-rollo) y categorías

Producción	Estado	Producción m3 rollo	ATM	DP	IF	MF	SA	Total general
Muy alta	Durango	1929741	2	1	5	39	5	52
Baja	Hidalgo	119218	3	2	3	9	8	25
Media	Oaxaca	419250				9	7	16
Media	Puebla	230106			2	13	1	16
Baja	Estado de México	189761		4		9	3	16
Media	Veracruz	289944	1	1		8	4	14
Alta	Chihuahua	987955			2	9	1	12
Media	Jalisco	265844		1	1	5	2	9
Muy baja	Nuevo León	6824				4	3	7
Media	Michoacán	456473				5	1	6
Muy baja	Quintana Roo	38022				5		5
Muy baja	Yucatán	5740				2	3	5
Muy baja	Distrito Federal	45			3		2	5
Muy baja	Baja California	0		2			3	5
Muy baja	Tabasco	0	1			2		3
Media	Chiapas	244800		1			1	2
Baja	Guerrero	121625				2		2
Muy baja	Campeche	31161				2		2
Muy baja	Sinaloa	23868					2	2
Muy baja	Tlaxcala	21920					2	2
Muy baja	Coahuila	220				2		2
Baja	Tamaulipas	137762					1	1
Muy baja	Guanajuato	36393					1	1
Muy baja	Zacatecas	20802				1		1
Muy baja	Morelos	14274					1	1
Muy baja	San Luis Potosí	3327		1				1
Media	Sonora	228367						0
Muy baja	Nayarit	28289						0
Muy baja	Querétaro	22695						0
Muy baja	Aguascalientes	4255						0
Muy baja	Baja California Sur	2823						0
Muy baja	Colima	1353						0
	México	-	3	9	1	7	5	25
	Noreste	-		1		2	5	8
	Sureste	-			1	2		3
	Centro	-				1		1

Sierra Madre Oriental	-		1		1	2	
Estado de México, Tlaxcala, Puebla y Distrito Federal.	-			1		1	
Durango, Zacatecas, Coahuila Y Chihuahua.	-				1	1	
Jalisco-Colima	-	1				1	
Michoacán-Guanajuato	-				1	1	
Veracruz-Puebla	-			1		1	
Puebla-Hidalgo	-			1		1	
Campeche, Tabasco y Chiapas	-			1		1	
Total general		10	24	19	142	64	259

### Anexo 3. Figuras de redes de colaboración por categorías

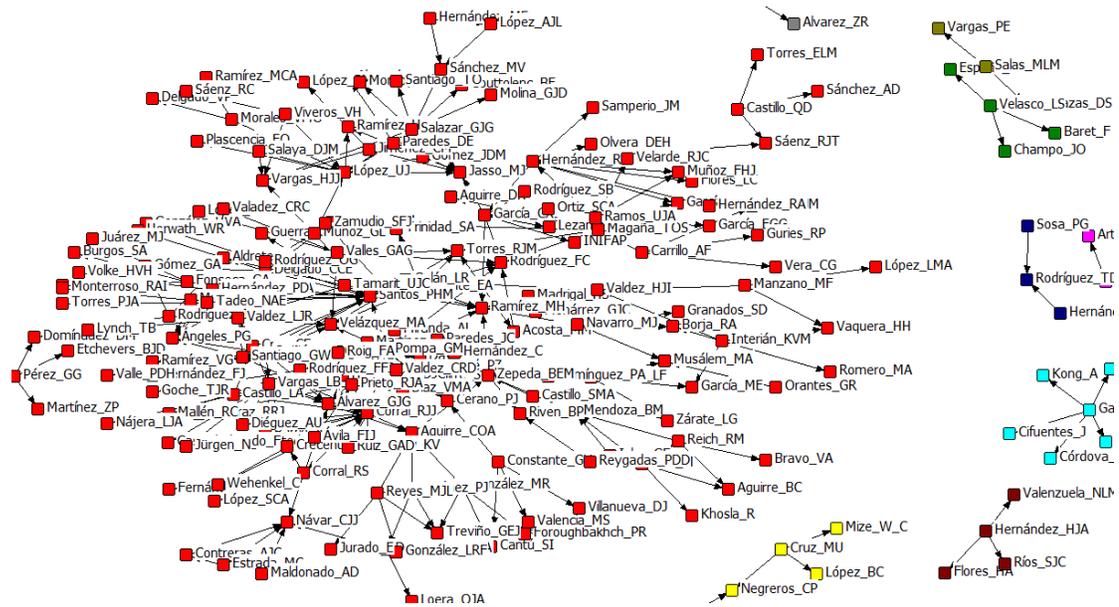


Figura 19. Red de Manejo forestal.

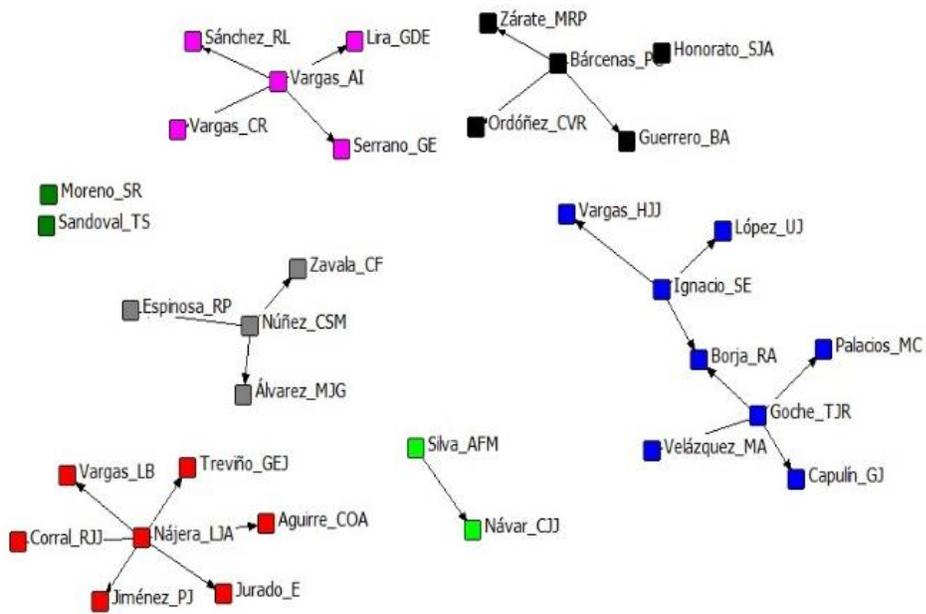


Figura 20. Red de Abastecimiento y tecnología de la madera.

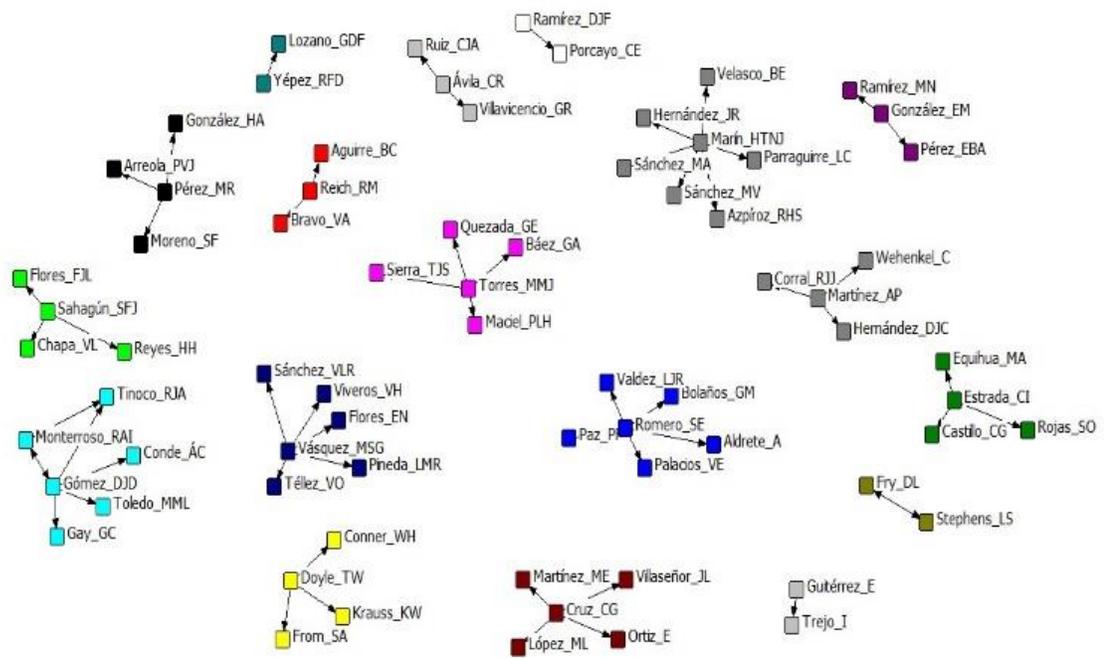


Figura 21. Distribución potencial.

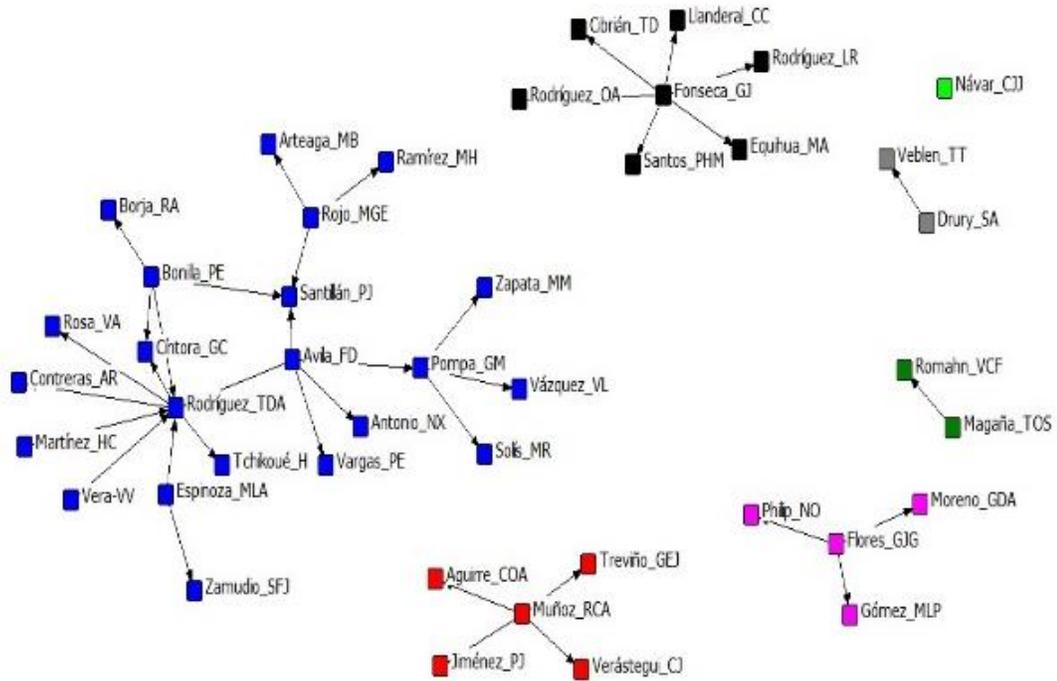


Figura 22. Red de incendios forestales.

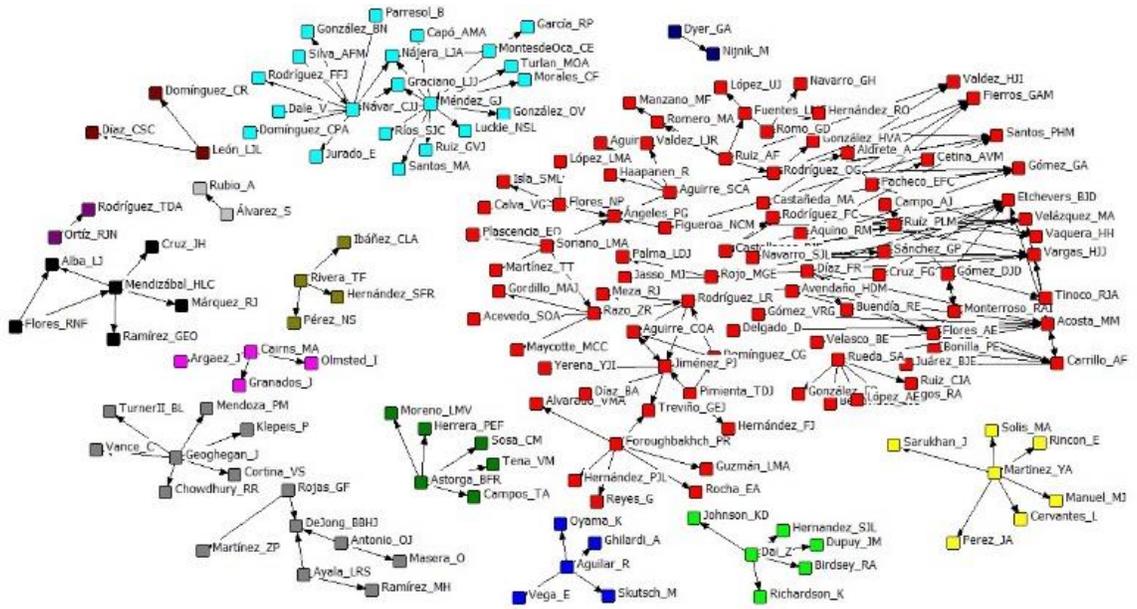


Figura 23. Red de servicios ambientales.