



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Estrategia de gestión y transferencia del conocimiento
científico aplicado a la rehabilitación
ecológica en bosque templado**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

Mario Alberto Morales Yáñez



**DIRECTOR DE TESIS:
M. en C. Jorge Alberto Escutia Sánchez
Ciudad Universitaria, CD. MX., 2021**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la **Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)** y a la **Facultad de Ciencias** por permitirme formarme como biólogo, conocer a personas de todos ambientes y prepararme para mi vida profesional.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico brindado como parte del proyecto “Estrategia de rehabilitación ecológica empleando biodiversidad nativa, en bosque templado afectado por actividad minera pétreo y agropecuaria” aprobado en la convocatoria Problemas Nacionales 2015, beca con el número 27984.

A los miembros de mi jurado, **Dr. Pedro Eloy Mendoza Hernández, M. en C. Roberto Márquez Huitzil, M. en C. Jorge Alberto Escutia Sánchez, Dra. Lucía Oralía Almeida Leñero y Dra. Saraí Montes Recinas**, por sus revisiones, sugerencias y valiosos comentarios, sin los cuales la consolidación de este trabajo hubiera sido imposible.

A la **Dra. Maria Del Rocío Cruz Ortega** del Laboratorio de Alelopatía del Instituto de ecología de la UNAM, por el conocimiento y guía que me brindo en la realización de este trabajo.

Al **M. en C. Jorge Escutia**, por formarme no solo en el ámbito académico sino también en el profesional. Sin su apoyo no habría encontrado un área en la que disfruto ejercer mi carrera, muchas gracias por seguir enseñándome en cada una de nuestras interacciones.

A mi madre, **Martha Yáñez**, por estar siempre presente y apoyarme en todo lo que necesité. Su dedicación y esfuerzo siempre serán un modelo a seguir dentro de todos los aspectos de mi vida.

A mi hermana, **Maria José**, por mostrarme siempre el lado positivo de las cosas y estar ahí para mí cuando no encontraba salida de problemas.

A **Fabregas Tejeda y Ricardo Muñiz**, gracias por su amistad y por todo lo que me han enseñado. Puedo decir que sin su apoyo y amistad no me encontraría donde estoy, ni tendría claro el tipo de persona que quiero llegar a ser. Gracias por todas las horas de plática y por mostrarme sus puntos de vista en todo tipo de temas.

CONTENIDO

1. RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN	5
2.1 Gestión del conocimiento	5
2.2 Proyecto problemas nacionales	7
2.3 Rehabilitación ecológica.....	8
2.4 Bosque templado.....	11
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. General.....	15
3.2. Particulares.....	15
4. METODOLOGÍA	16
4.1 Vigilancia tecnológica.....	16
4.2. Análisis de proyectos.....	18
4.3. Diseño de cartera de proyectos	19
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5.1. Vigilancia de publicaciones científicas sobre rehabilitación y restauración ecológica en bosques	21
5.2 Producción tecnológica	29
5.3. Análisis cuantitativo de proyectos de rehabilitación y restauración de bosques.	35
5.4. Análisis comparativo de proyectos de rehabilitación y restauración de bosques.	38
5.4.1. Proyecto El Taray	40
5.4.2. Proyecto San Isidro.....	41
5.4.3. Proyecto Bosque de Niebla.....	43
5.4.4. Proyecto Holcim-Apasco.....	45
5.4.5. Discusión de los proyectos de rehabilitación y restauración ecológica de bosques.	48
5.5. Acciones de rehabilitación y restauración ecológica de bosques.	49
5.6. Cartera de proyectos.....	54
5.6.1. Proyecto de intervención de cárcavas.....	56
5.6.2. Resumen ejecutivo de rehabilitación de terrenos erosionados.....	58
5.6.4. Sostenibilidad económica de los proyectos	62
5.6.5. Fuentes de financiamiento	62
6. CONCLUSIONES	64
1.1. Recomendaciones	65
7. REFERENCIAS.....	66
7.1. Literatura citada	66
7.2. Patentes citadas	76

1. RESUMEN

La gestión del conocimiento se refiere al proceso sistemático por el cual se integran y orientan las actividades que permiten generar, buscar, documentar, proteger, difundir, compartir y utilizar la información y experiencia de una organización o proyecto, con el fin de incrementar su capital intelectual, aumentar su valor y mejorar la toma de decisiones. El objetivo de este trabajo fue aplicar herramientas de gestión del conocimiento en el campo de la rehabilitación ecológica de bosques para identificar expertos, acciones y casos de estudio de interés para el diseño de futuros proyectos de rehabilitación ecológica de bosques templados en México. Se aplicó la herramienta de vigilancia tecnológica al área de la rehabilitación ecológica de bosques a nivel mundial encontrando que la publicación de estos documentos va en aumento, este aumento puede deberse a factores económicos relacionados con el aprovechamiento de madera, así como a tratados internacionales relacionados con la rehabilitación de bosques. Las temáticas tratadas a nivel internacional enfatizan la recuperación del bosque como proveedor de servicios ecosistémicos y su rehabilitación se concentra en la recuperación de éstos. Mientras que a nivel nacional los enfoques se concentran en la reforestación y la Ecología de la restauración, el aspecto teórico de la rehabilitación y restauración ecológica. En cuanto a patentes, se encontró que el número de registros protegidas en el área de rehabilitación y restauración de bosques va en aumento, siendo las empresas con materia prima forestal las que más protegen, seguidas de universidades enfocadas en procesos de aforestación de suelos desérticos. En México se encontraron 8 patentes, 7 de ellas abandonadas, lo cual puede deberse al cambio de giro de la institución o a que no cuentan con capacidades para desarrollar tecnología a partir de las investigaciones científicas. Más adelante, se hizo una revisión de proyectos de rehabilitación forestal. Los proyectos se centraron en la reforestación de los sitios, la protección y mantenimiento de estas reforestaciones. Se realizó un análisis comparativo de 4 proyectos de rehabilitación forestal, dentro de ellos se identificaron las acciones de rehabilitación utilizadas, las cuales fueron presentadas en el trabajo. En general en estos proyectos se enfocaron primero en la recuperación de cobertura vegetal y la reforestación para evitar la pérdida de suelo, y posteriormente en la recuperación de especies nativas, trabajando a manera de gradiente de rehabilitación hacia algo más cercano a la restauración. En los proyectos se mencionó la necesidad de buscar fuentes de financiamiento para mantener económicamente al proyecto. Al final se diseñó una cartera de proyectos a partir de la información recabada. Dentro de esta se seleccionó un proyecto para generar un resumen ejecutivo, que incluye una propuesta de especies con potencial de rehabilitación: a) *Arbutus xalapensis*, b) *Juniperus deppeana*, c) *Quercus crassipes* y d) *Quercus rugosa*; Así como *Agave salmiana* como especie productiva para la reforestación. También se incluyeron las actividades a realizar, el presupuesto y cronograma. De igual manera se generó una estrategia de financiamiento para estos proyectos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Gestión del conocimiento

La gestión del conocimiento se refiere al proceso sistemático por el cual se integran y orientan las actividades que permiten generar, buscar, documentar, proteger, difundir, compartir y utilizar la información y experiencia de una organización, con el fin de incrementar su capital intelectual, aumentar su valor y mejorar la toma de decisiones (Zabaleta, 2003; FCCyT, 2012; FPNTI, 2016; Rincón, 2017).

La gestión del conocimiento puede ser aplicada por personas con conocimiento técnico o interesadas en un tema en específico. La aplicación de estos instrumentos integrar diferentes áreas del conocimiento en proyectos o planes de trabajo. Sin embargo, esta serie de herramientas tienen como limitante, la obtención de resultados generales. Por lo que una vez que se aplican, se requiere su análisis, interpretación y transferencia a técnicos especializados o tomadores de decisiones.

La gestión del conocimiento es de utilidad en todo tipo de proyectos, incluyendo los de investigación científica, orientados a la generación de nuevos conocimientos y a dar solución a problemas o interrogantes de carácter científico (Pons, *et al.*, 2014). Actualmente existe una necesidad de retener, capturar, compartir y transferir el conocimiento generado por académicos, profesionistas y organizaciones (Bueno, 2000). Sobre todo, por la complejidad y urgencia de los múltiples problemas, ecológicos, económicos y sociales, nacionales e internacionales que deben ser abordados y resueltos.

Para el manejo de gran cantidad y variedad de información se han desarrollado modelos de gestión del conocimiento. En México, la Fundación Premio Nacional de Tecnología e Innovación (FPNTI), cuenta con un modelo de gestión de conocimiento y tecnología basado en procesos y funciones, que están fuertemente ligadas con el manejo del conocimiento. Este modelo consta de cinco funciones principales: 1) vigilar, 2) planear, 3) habilitar, 4) proteger e 5) implementar (Tabla 2.1). Cada una de estas funciones cuenta con herramientas que permiten mejorar las características competitivas, la gestión del conocimiento, tecnología y la innovación de organizaciones mexicanas (FPNTI, 2016).

Tabla 2.1. Funciones del modelo de gestión. Modificado de FPNTI, 2016.

Funciones	Descripción
Vigilar	La búsqueda organizada de información que permitan identificar amenazas y oportunidades de desarrollo e innovación tecnológica.
Planear	Se refiere a un marco estratégico tecnológico que le permite a la organización seleccionar líneas de acción que deriven en ventajas competitivas.
Habilitar	Es la obtención, dentro y fuera de la organización, de tecnologías y recursos necesarios para la ejecución de los proyectos incluidos en la cartera de proyectos.
Proteger	Es la salvaguarda y cuidado del patrimonio tecnológico de la organización, generalmente mediante la obtención de títulos de propiedad intelectual.
Implementar	Es la realización de los proyectos de innovación hasta el lanzamiento final de un producto nuevo o mejorado en el mercado, o la adopción de un proceso nuevo o sustancialmente mejorado dentro de la organización.

Para la función de vigilar se encuentran las herramientas: a) vigilancia tecnológica y b) análisis comparativo (benchmarking). La vigilancia tecnológica se refiere al esfuerzo sistemático y organizado de observación, recopilación, análisis y recuperación de información sobre el entorno científico, económico, y tecnológico. Según sea relevante para la institución o proyecto, de manera de que se logren identificar avances, oportunidades o amenazas para el desarrollo de un producto, servicio o de un tema de investigación (Castells *et al.*, 2001; Villarroel, 2009; Andrade *et al.*, 2017).

La vigilancia tecnológica se caracteriza por ampliar las fuentes y materiales para la obtención de información, no solo analiza artículos científicos y tesis, también incluye las distintas redes sociales y patentes (Hidalgo-Nuchera *et al.*, 2009). Los resultados de la vigilancia tecnológica pueden ser procesados de manera cuantitativa, para dar una visión general del estado de la técnica, y cualitativa para detallar la información relevante para la institución o proyecto.

El análisis comparativo o benchmarking es el proceso de identificar, comprender y adaptar las prácticas destacadas de organizaciones, procesos o proyectos de la misma área o áreas análogas, con el fin de mejorar el funcionamiento de la institución o proyecto propio (Kumar *et al.*, 2006). La utilización de esta herramienta nos permite aprender y adaptarnos mediante la incorporación de mejores prácticas. Este proceso nos permite encontrar estrategias a partir del análisis de las prácticas más efectivas desarrolladas en proyectos con mayor experiencia o éxito (Cardenas, 2006).

En términos de planeación, la herramienta principal es la elaboración de una cartera de proyectos, que genera, prioriza y organiza líneas de trabajo en forma de proyectos potenciales que deriven, fortalezcan o diversifiquen el quehacer de la organización (FCCyT, 2012), que bien puede tratarse de grupos de investigación científica, entre otros.

Si bien existen otras herramientas para la fase de habilitar, proteger e implementar, éstas no serán el tema de este trabajo. Esto debido a que para su desarrollo se requiere primero la cartera de proyectos y su validación por expertos en la materia.

2.2 Proyecto problemas nacionales

De 2014 a 2018 el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) desarrolló el programa llamado Atención a Problemas Nacionales. Este programa tuvo por objetivo apoyar a proyectos científicos que utilizaran conocimiento científico de manera novedosa, para atender a problemas nacionales identificados por CONACYT. A partir de este programa se desarrolló un proyecto multidisciplinario e interinstitucional titulado "Estrategia de rehabilitación ecológica empleando biodiversidad nativa, en bosque templado afectado por actividad minera pétreo y agropecuaria", que identificamos en el presente trabajo como PN218.

El proyecto PN218 fue diseñado y coordinado por el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) e incluyó la vinculación con diversos actores sociales: a) la empresa Basaltex S.A. de C.V., dueña de los terrenos, b) el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (COLPOS) c) la Facultad de Ciencias de la UNAM, d) la Red de Apoyo a la Investigación de la UNAM (RIA), e) la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México (FAPUR-UAEM), la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias de la UNAM (UMDI-Juriquilla) y la empresa Grupo Xaxeni (Figura 2.1).

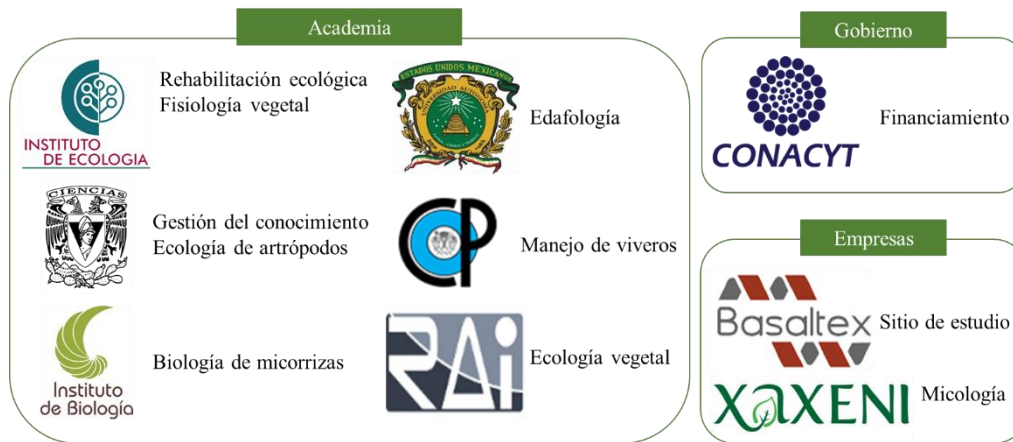


Figura 2.1. Instituciones participantes en el proyecto. Elaboración propia.

El proyecto se realizó en el predio privado ubicado en una fracción de la Sierra Fría, en el municipio de Tepetlaoxtoc, Estado de México; en una zona con varias minas de explotación a cielo abierto. El sitio de estudio presenta diferentes grados de degradación de la vegetación original y del suelo. Por lo que, el objetivo del proyecto fue el diseñar y transferir una estrategia de restauración ecológica, aplicando técnicas de mejoramiento de suelo, indicadores edáficos y esquemas de plantación de especies forestales nativas. El presente trabajo surgió por la necesidad de contar con más información sobre las distintas técnicas utilizadas en la rehabilitación ecológica. Dicha necesidad se abordó a través de la aplicación de herramientas de gestión del conocimiento, enfocadas a las técnicas de restauración ecológica empleadas en otros proyectos y a los resultados obtenidos.

2.3 Rehabilitación ecológica

Las actividades extractivas o de aprovechamiento minero generan disturbios ambientales, que se definen como eventos que afectan la estructura y función de los ecosistemas (Barrera-Cataño y Valdés-López, 2007). Entendiendo por estructura como la organización física del ecosistema, incluyendo densidad, estratificación y distribución de las especies y algunos elementos abióticos (Holl, 2020), y función como el procesamiento y producción de biomasa (Ehrenfeld y Toth, 1997; Ehrenfeld 2000; Barrera y Ríos, 2002). Cuando un ecosistema sufre un disturbio de gran intensidad o de larga duración, se genera una degradación, es decir una reducción de sus cualidades edáficas y bióticas (Brown & Lugo, 1994). Esto provoca un daño en la productividad y capacidad para brindar servicios ecosistémicos (Pérez y Castro, 2012), que son aquellos bienes utilizados pasiva o activamente por el humano (Torres-Rojo y Guevara, 2002; Fisher *et al.*, 2009).

Debido a la gran pérdida y degradación de los ecosistemas, se han desarrollado múltiples estrategias para revertir el daño causado por actividades humanas. Cada estrategia varía en función de la recuperación de estructura o funcionalidad del ecosistema (Bradshaw, 1984; Márquez-Huitzil, 2005; Meffe *et al.*, 2006); así como, de la resiliencia de este ante nuevos disturbios (Ruiz-Jaén y Aide, 2005; Ventura-Ríos *et al.*, 2017).

La restauración ecológica es una estrategia que busca recuperar no sólo la diversidad taxonómica, sino también genética, y funcional, así como la estructura, función y resiliencia de los ecosistemas (Higgs, 1997; SER, 2006). Otra estrategia es la rehabilitación ecológica, la cual se enfoca en la reparación funcional de los ecosistemas (productividad, procesos y servicios) y no necesariamente en la recuperación de la biodiversidad preexistente (Mansourian *et al.*, 2005; FAO, 2014). La rehabilitación se puede realizar de manera pasiva o activa. La pasiva consiste en la eliminación de los factores de disturbio, de manera que se permita la regeneración natural. Mientras que la rehabilitación activa elimina los factores de disturbio y además realiza una serie de acciones para acelerar la recuperación (Holl y Aide, 2011; Trujillo, 2017).

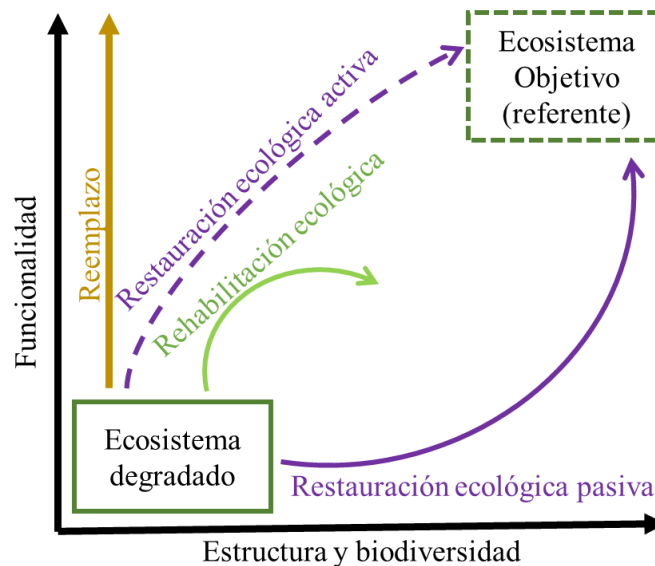


Figura 2.2. Diferentes estrategias en el proceso de restauración de un ecosistema degradado. Modificado de Mola *et al.* 2018.

Otra estrategia que se puede utilizar es el reemplazo (Figura 2.2), que se orienta a obtener un nuevo ecosistema en situaciones donde la degradación es de tal magnitud que es prácticamente imposible asistir a la recuperación del sistema y el ecosistema resultante no presentará estructura ni funcionalidad original (Mola *et al.*, 2018).

En paisajes donde existen remanentes del ecosistema nativo, posibilidades de conectividad, participación social, científica y económica se recomiendan intervenciones de restauración. Por ejemplo, con acciones que promuevan que la fauna y flora pueda re-colonizar las zonas degradadas. Mientras que, en sitios donde el ecosistema nativo ya no existe, por ejemplo, donde las actividades extractivas han modificado por completo el medio, la rehabilitación o el reemplazo son más factibles. En este trabajo se tratarán principalmente procesos de rehabilitación ecológica en bosques.

Dentro de las estrategias antes mencionadas existen diferentes actividades que pueden utilizarse en un proyecto de rehabilitación ecológica. Una manera de clasificar dichas actividades es utilizando el *“Acuerdo mediante el cual se expiden los costos de referencia para reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación”* de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2014). Este documento delinea costos oficiales para realizar reforestación o restauraciones como manera de compensación ante disturbios realizados por empresas. En este, las actividades se clasifican según el ecosistema, las acciones relacionadas con la restauración de bosques templados se clasifican según los grupos siguientes: a) restauración de suelos, b) reforestación, c) mantenimiento, d) protección y e) asistencia técnica (Ver tabla 2.2).

Tabla 2.2. Tipos de actividades que pueden incluirse en proyectos de rehabilitación ecológica. Adaptado de CONAFOR 2014 y FAO 2014

Tipos de actividades	Descripción
Restauración y conservación de suelos	Se orientan a la disminución de escurrimientos y pérdida de suelo.
Reforestación	Restablecimiento del bosque a través de la plantación o de la siembra deliberada en tierra que ya es de uso forestal.
Mantenimiento	Actividades encaminadas a auxiliar la restauración con el fin de promover una mayor supervivencia de la reforestación.
Protección	Actividades encaminadas a evitar daños de cualquier índole a las actividades realizadas, tales como incendios y daños mecánicos por diferentes animales.
Asistencia técnica	Se refiere al acompañamiento o vinculación realizada con expertos técnicos o académicos en todas las actividades.

2.4 Bosque templado

Uno de los ecosistemas más representativos en México son los bosques templados (BT). Estos ecosistemas abarcan alrededor de 32 millones de hectáreas (INEGI, 2007), que representan el 19.2% de la superficie nacional (Pavón *et al.*, 2012), de las cuales 4.2 millones se encuentran en Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT, 2012). Este tipo de vegetación, a su vez, puede ser dividida según el grupo arbóreo dominante en: a) encinar, b) pino, c) pino-encino, y d) oyamel.

Los BT se encuentran en altitudes entre los 1,200 a 2,800 msnm, suelen localizarse en suelos ácidos de origen volcánico, en pendientes de 3 a 15 grados en promedio, registran alrededor de 600 a 1,200 mm de precipitación anual durante 6 a 7 meses, en un clima templado semifrío (Calderón y Rzedowski, 2001; Cotler, 2003; González-Medrano, 2004; Challenger y Soberón, 2008; Pavón *et al.*, 2012). Sin embargo, la clasificación de estos ambientes puede variar según el autor (ver tabla 2.3).

Tabla 2.3. Definiciones de bosque templado y equivalentes. Información obtenida de Calderón y Rzedowski, 2001, González-Medrano 2004, Challenger y Soberón 2008.

Variables ambientales	Bosque templado (González Medrano, 2004)	Bosque de <i>Quercus</i> (Calderón y Rzedowski, 2001)	Bosque templado de coníferas y latifoliadas (Challenger y Soberón, 2008)
Temperatura y clima	5 - 18 °C clima C	12 - 20 °C clima C	Clima templado húmedo y subhúmedo
Precipitación	500 - 2,500 mm	350 - 2000 mm	-
Altitud	1,500 - 2,500 msnm	1,200 - 2,800 msnm	2,000 - 3,400 msnm
Tipo de suelo	Rojizos, ricos en hierro, formados por arcillas de saturación incompleta con óxidos libres (Feozems)	Suelos ácidos (pH5.5 a 6.5) de coloración rojiza con abundante hojarasca	Suelos ácidos de origen volcánico
Ubicación	Eje Volcánico Transversal y en la Sierra de los Tuxtlas en Veracruz	Sierra Madre Oriental, Occidental, el Eje Volcánico Transversal y en las Sierras madre del Sur, Sierra de Oaxaca, Chiapas y Baja California	Sierras madre Oriental, del Sur y del Sur de Chiapas, el Eje Neovolcánico, la Sierra Norte de Oaxaca y los Altos de Chiapas,
Vegetación	Se dividen en bosque de encino, pino-encino, pino u oyamel	No presenta divisiones	Se dividen en bosques de coníferas y bosques de latifoliadas

En México, los bosques templados se encuentran a lo largo de la Sierra Madre Oriental, extendiéndose desde el sur de Tamaulipas hasta el centro de Veracruz; a lo largo de la Sierra Madre Occidental, desde Chihuahua hasta el norte de Michoacán; en el centro del país desde Colima hasta el centro de Veracruz cubriendo parte de la Faja Volcánica Transmexicana; y en la Sierra Madre del Sur, desde Michoacán hasta Oaxaca (Figura 2.3) (Cotler, 2003; Challenger, 1998; Challenger y Soberón, 2008). Estos bosques suelen encontrarse en las cabeceras de las cuencas, por lo que participan de forma decisiva en el funcionamiento de la recarga de mantos acuíferos (Cotler, 2003).



Figura 2.3. Distribución de los bosques templados en México. Modificado de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) 2019.

La importancia biológica de los BT de México radica en la diversidad de especies que albergan (Figura 2.4). Por ejemplo, son el mayor centro de diversidad de especies del género *Pinus*, con alrededor del 50% de las especies conocidas en el mundo (Challenger y Soberón, 2008; Martínez-Falcón *et al.*, 2015). De las cuales, al menos 35 especies son endémicas de México. Los BT también se caracterizan por la diversidad de angiospermas, pues albergan alrededor de 7,000 especies de la flora nacional (Calderón y Rzedowski, 2001), lo que representa casi el 24% de la diversidad del país (Sánchez *et al.*, 2003; Challenger y Soberón, 2008). Además, esta vegetación alberga gran parte de la diversidad genética del género *Quercus*, con alrededor de 150 de especies (Nixon, 1993). Otro grupo de angiospermas dominante o codominante de los BT mexicanos es el género *Quercus*, con alrededor de 150 especies, aproximadamente 30% de la diversidad mundial (Nixon, 1993).

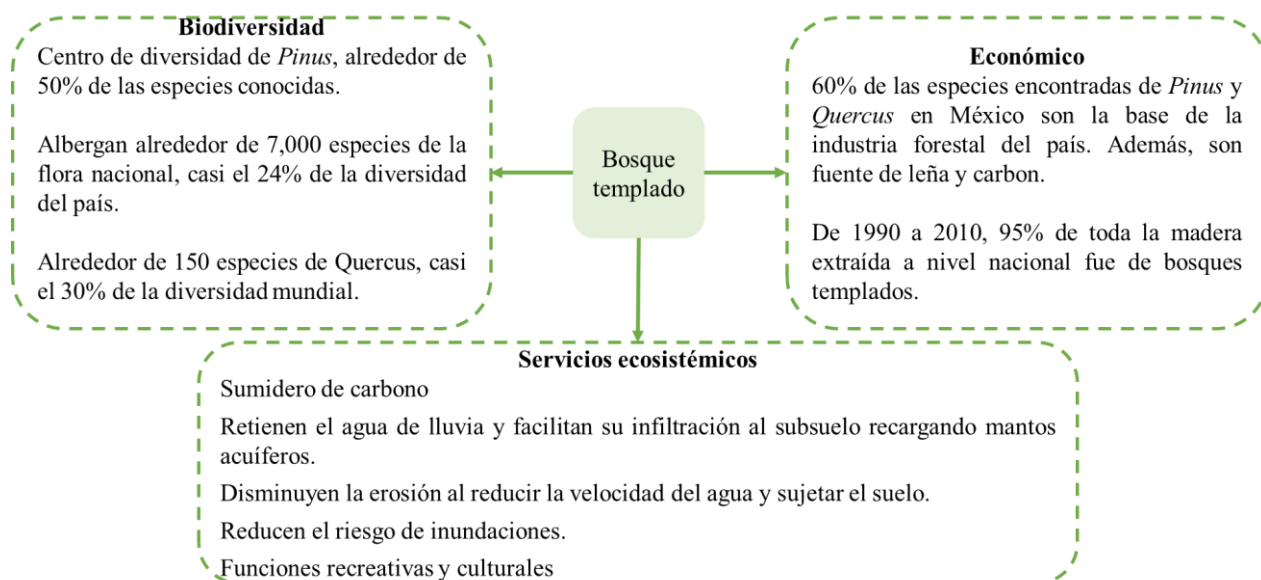


Figura 2.4. Importancia del bosque templado en México. Información de: Sánchez, 2003; Valencia 2004; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2012; Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) 2014; Martínez-Falcón *et al.*, 2015; CONABIO 2019.

Los bosques templados mexicanos son amenazados por distintas actividades productivas, anualmente se pierden aproximadamente 326 mil hectáreas (SEMARNAT, 2012). Gran parte de la pérdida de BT se debe a la industria forestal del país, que en muchos casos no presenta un manejo forestal (Sánchez *et al.*, 2003; SEMARNAT, 2012; Martínez-Falcón *et al.*, 2015). Aunado a esto, otras actividades como la conversión de BT a campos agrícolas o potreros, y la extracción de materiales pétreos también afecta a este tipo de ecosistemas (Figura 2.4) (Sánchez *et al.*, 2003; Challenger y Soberón, 2008).

La minería es una actividad productiva que, por su naturaleza extractiva, remueve suelos y extermina la flora y fauna nativas de la zona. En 2010 había 26,559 concesiones mineras, lo que equivale al 13.8% del territorio nacional (Cárdenas, 2013). Una problemática actual es que México no cuenta con un plan de cierre de minas, ejemplo, que promueva en alguna medida la recuperación de la composición, estructura y función, que se rija por legislación o norma (Saade Hazin, 2014).

En este trabajo se aplicarán herramientas de gestión del conocimiento dentro del contexto del proyecto de rehabilitación ecológica, en específico aquellas de las funciones de vigilar y planear. Se utilizaron tres herramientas de la gestión del conocimiento para generar una estrategia de transferencia de conocimiento, estas fueron: a) Vigilancia tecnológica, b) análisis comparativo y c) cartera de proyectos. A través de estas herramientas se abordaron las siguientes preguntas: ¿Cuál es el contexto de la rehabilitación ecológica en cuanto a número de investigadores, centros de investigación y desarrollos tecnológicos (patentes) a nivel nacional e internacional? ¿Qué estrategias de rehabilitación y restauración ecológica se han aplicado en proyectos similares? ¿Qué tipo de actividades de rehabilitación se pueden realizar en bosque templado?

3. OBJETIVOS

3.1. General

Aplicar herramientas de gestión del conocimiento en el campo de la rehabilitación ecológica; para identificar expertos, acciones y proyectos de interés, relevantes para el diseño de proyectos de rehabilitación ecológica de los bosques templados en México.

3.2. Particulares

- Aplicar la herramienta de vigilancia tecnológica al área de la rehabilitación ecológica de bosques a nivel mundial, para encontrar expertos, instituciones, tecnologías y proyectos; para delimitar las tendencias y avances en este campo del conocimiento.
- Identificar las acciones, instituciones proponentes y otras características de algunos proyectos de rehabilitación ecológica en bosque, a través de un análisis comparativo.
- Diseñar una cartera de proyectos, que sean compatibles con actividades de rehabilitación ecológica en bosques.

4. METODOLOGÍA

La figura 4.1 resume la metodología utilizada en este proyecto, la cual se divide en tres partes: a) vigilancia tecnológica, b) análisis de proyectos y c) cartera de proyectos.

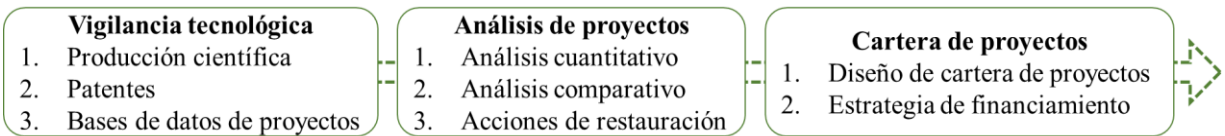


Figura 4.1. Metodología general utilizada. Elaboración propia.

4.1 Vigilancia tecnológica

La búsqueda de literatura científica especializada en los temas de rehabilitación y restauración ecológica de BT, siguió la metodología de Andrade *et al.* (2017) modificada (figura 4.2). Se definieron como objetivos de búsqueda las principales instituciones educativas o de investigación y los investigadores, nacionales e internacionales con publicaciones en dichos temas, así como la ubicación de casos de estudio.

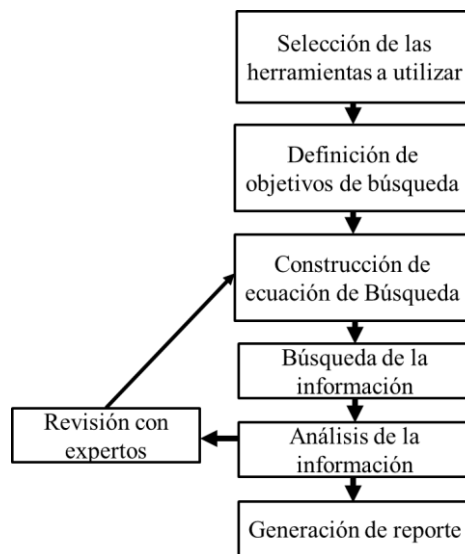


Figura 4.2. Metodología utilizada en la vigilancia tecnológica en producción científica. Modificado de Andrade *et al.*, 2017

Para la búsqueda de publicaciones se utilizaron términos relacionados con la rehabilitación y restauración de bosques, sinónimos y su traducción al inglés. El periodo de búsqueda fue de 1990 a 2018. Los motores de búsqueda utilizados fueron Redalyc y Scopus.

La ecuación de búsqueda fue la siguiente:

TITLE-ABS-KEY ((ecological AND restoration AND forest) OR (reforestation) OR (productive AND restoration AND forest) OR (rehabilitation AND forest) OR (reforestación) OR (restauración AND ecológica AND bosque) OR (restauración AND productiva AND bosque) OR (rehabilitación AND bosque)) AND PUBYEAR > 1989 AND PUBYEAR < 2019.

Posteriormente, la ecuación fue acotada a nivel nacional para su comparación con la información internacional. A partir de los resultados, se identifica el área del conocimiento de cada investigador, mediante la revisión de las páginas institucionales de los investigadores y la revisión de los artículos publicados por ellos.

Para el análisis de patentes en los temas de rehabilitación y restauración de bosques se utilizaron las herramientas *Lens*® (www.lens.org) y el buscador *Patentscope* (www.patentscope.wipo.int) de la Organización Mundial de Propiedad Intelectual. La ecuación de búsqueda fue la siguiente:

FP:((((ecological AND restoration AND forest) OR (reforestation) OR (productive AND restoration AND forest) OR (rehabilitation AND forest) OR (reforestación) OR (restauración AND ecológica AND bosque) OR (restauración AND productiva AND bosque) OR (rehabilitación AND bosque) OR ((abies OR arbutus OR pinus OR quercus) AND (plantation OR plantación)))).

Los resultados fueron divididos en grupos, según el área de aplicación del desarrollo y se seleccionó uno para ejemplificar el tipo de desarrollo. Además, para entender estas patentes se revisaron sus reivindicaciones, que son los elementos descriptivos que definen y delimitan lo que se está protegiendo.

4.2. Análisis de proyectos

A partir de los resultados de la vigilancia tecnológica se eligieron proyectos de rehabilitación y restauración de bosques para realizar un análisis comparativo (Figura 4.3). Además, se incluyeron casos de la base proyectos de restauración de la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER) y de la base de datos del Fideicomiso Fondo para la Biodiversidad (FFB) de la CONABIO.

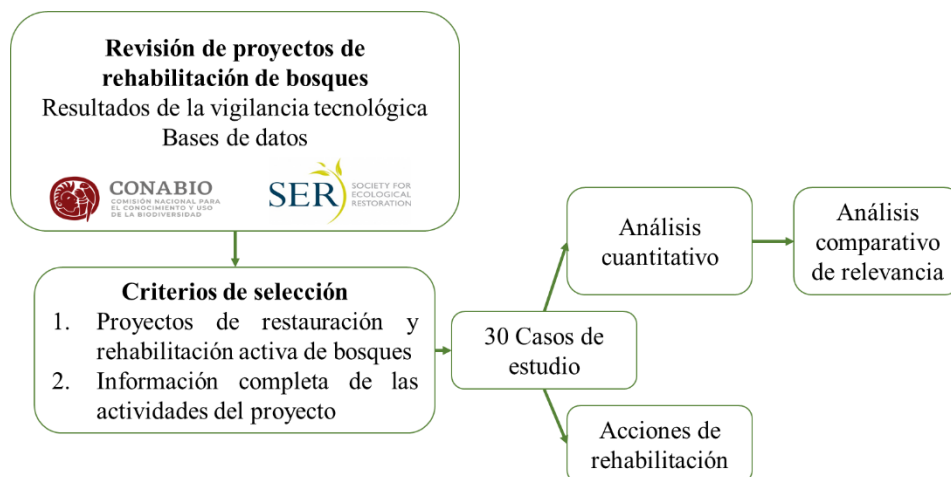


Figura 4.3. Metodología de selección y análisis de proyectos. Elaboración propia.

Los criterios de selección de los proyectos encontrados fueron: a) Proyectos de restauración y rehabilitación activa de bosques, no necesariamente BT y b) la cantidad y calidad de información de los proyectos, poniendo hincapié en que se mostrará la totalidad de la intervención.

Se seleccionaron treinta proyectos de rehabilitación y restauración de bosques. Para el análisis cuantitativo de estos proyectos se generó un cuestionario basado en las seis propuestas del *Acuerdo de costos de referencia para reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales* de la CONAFOR (2014). Las seis acciones son: a) restauración de suelos, b) reforestación, c) mantenimiento, d) protección, e) asistencia técnica y f) plan de monitoreo.

El cuestionario también incluyó información como: localidad, fuente de donde se encontró el proyecto, tipo de vegetaciones intervenidas, hectáreas intervenidas, costo total reportado en pesos, institución proponente, instituciones participantes, sectores participantes (gobierno,

empresas, sociedad civil, academia), fuentes de financiamiento, actividades de remoción de especies invasoras, causas de degradación, número de especies utilizadas en la reforestación, establecimiento de vivero de plantas nativas, años de intervención, manejo de fauna y si se realizaron actividades con la comunidad de la zona.

A partir de la información obtenida en la vigilancia tecnológica y en análisis comparativo de proyectos, se identificaron acciones de restauración y rehabilitación ecológica que podrían ser aplicadas en zonas degradadas de bosque. Estas acciones se definieron como aquellas actividades concretas que han sido previamente evaluadas y monitoreadas, y que no sólo tienen un efecto positivo en la estructura o funciones propias de los ambientes nativos.

A partir de estos treinta proyectos se seleccionaron los cuatro que presentaban información más completa y que se consideraron más relevantes para ser comparados. Se aplicó la herramienta de análisis comparativo y se realizó un resumen de cada proyecto.

4.3. Diseño de cartera de proyectos

Para la generación de la cartera de proyectos, se identificó el objetivo del principal actor interesado en esta zona, la empresa *Basaltex*, el objetivo está empresa es la explotación productiva de los terrenos, realizando el menor daño posible a la vegetación. Tomando esto en cuenta, se seleccionaron acciones de restauración y rehabilitación que podrían tener un efecto positivo en lo zona, específicamente en los terrenos que se presentaban en estado de cárcavas, terrenos erosionados o cultivos abandonados, retomando la clasificación del equipo de vegetación (Figura 4.4).

Al mismo tiempo, se buscaron fuentes de financiamiento que podrían estar interesadas en apoyar proyectos de rehabilitación de bosques templados en México. Para esto se utilizó el catálogo de organismos que otorgan financiamiento generado por el Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT), así como algunas fuentes de financiamiento encontradas en búsquedas de *Google*.

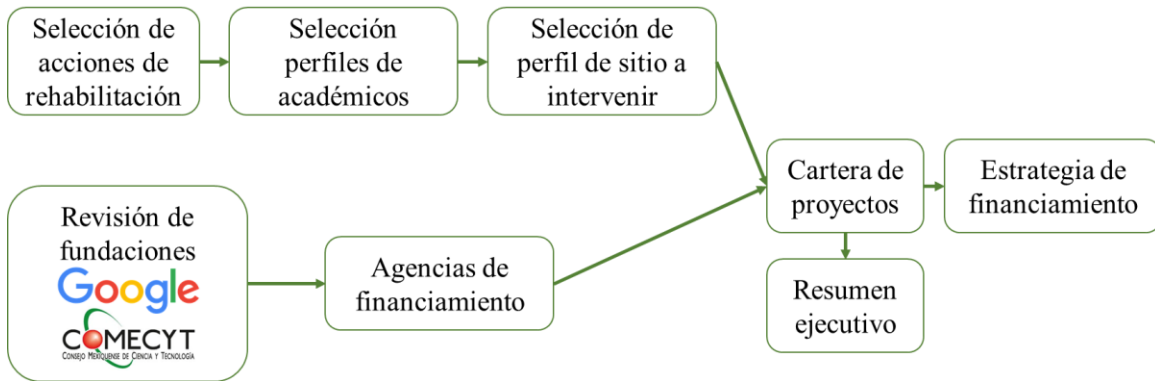


Figura 4.4. Metodología de diseño de cartera de proyectos. Elaboración propia.

Se generaron dos proyectos de rehabilitación que pueden ser implementados en áreas degradadas de la empresa. Dentro de la cartera de proyectos se proponen perfiles de los investigadores, para que participen en cada uno de los proyectos. También se integra un presupuesto calculado para cada uno. Posteriormente, se prioriza el proyecto de mayor interés, al cual se le generó un resumen ejecutivo, que incluye cronograma, entregables y algunas recomendaciones técnicas que se deben tomar en cuenta.

En el siguiente paso, se eligieron agencias de financiamiento que podrían estar interesadas en proyectos de rehabilitación o restauración de bosques. Para esto se revisaron los siguientes criterios: a) los ejes institucionales de la agencia, b) si habían apoyado proyectos similares en México con anterioridad, b) el monto de apoyo que habían otorgado a dichos proyectos, c) los ejes de interés de la institución, y d) demandas específicas de cada agencia.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Vigilancia de publicaciones científicas sobre rehabilitación y restauración ecológica en bosques

La revisión de las publicaciones entre 1990 al 2018 arrojó 17,003 documentos, principalmente artículos científicos de investigación (83%). También se encontraron artículos científicos de conferencias (8%) y revisiones bibliográficas (4%) (Tabla 5.1). Las áreas del conocimiento, según la clasificación de Scopus, donde se ubican las publicaciones encontradas fueron agricultura y ciencias biológicas con el 40% de los artículos, ciencias ambientales con el 35% y ciencias de la tierra con el 7% (un artículo puede estar catalogado en distintas áreas simultáneamente). La principal revista donde estos documentos se publicaron fue *Forest Ecology and Management*, seguida de *Reforestation Ecology and Forests*.

Tabla 5.1. Resultados de la vigilancia tecnológica de publicaciones científicas a nivel internacional. La vigilancia fue realizada sobre rehabilitación y restauración ecológica en bosques, en el periodo de 1990-2018. En la esquina superior izquierda se presentan los tipos de documentos encontrados, en la esquina superior derecha se presentan las principales áreas del conocimiento presentes en los documentos encontrados y en la esquina inferior izquierda se presentan las principales revistas donde se publicaron.

Tipo de documentos	Número	%	Principales área del conocimiento	Número	%
Artículo	14,134	83	Agricultura y ciencias biológicas	10,712	40
Artículo de conferencia	1,313	8	Ciencias ambientales	9,410	35
Revisiones bibliográficas	761	4	Ciencias de la tierra	1,929	7
Capítulo de libro	388	2	Ciencias sociales	1,631	6
Artículo de prensa	128	1	Ingeniería	941	3
Otros	279	2	Otros	2,245	9
Total	17,003	100			

Revista	Número	%
Forest Ecology and Management	1,755	10
Restoration Ecology	516	3
Forests	320	2
New Forests	289	2
Canadian Journal of Forest Research	277	2
Otros	13,846	81
Total	17,003	100

A nivel nacional e internacional, la producción científica en los temas de rehabilitación y restauración ecológica ha experimentado un incremento relativamente constante (Figura 5.1); en ambos casos se alcanzó el máximo histórico en 2018, con 44 y 1,620 publicaciones científicas, respectivamente.

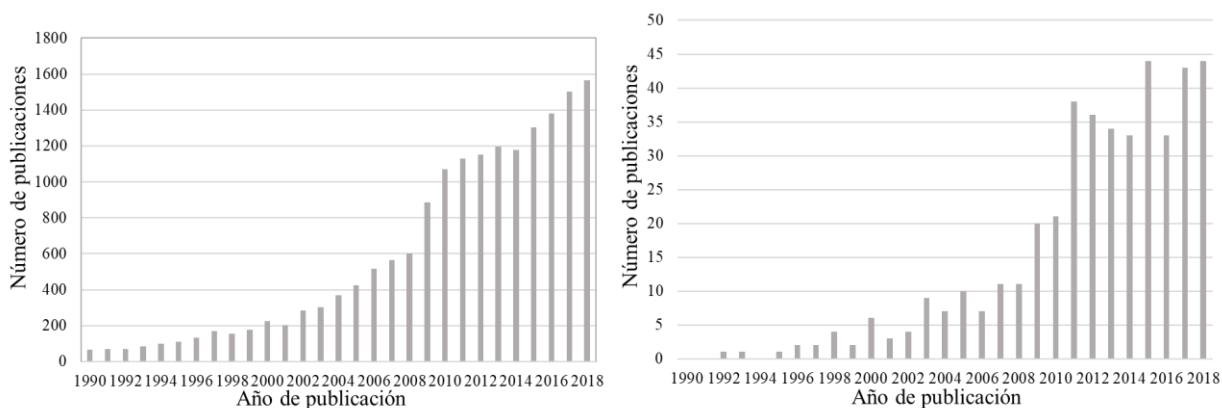


Figura 5.1. Publicaciones científicas sobre rehabilitación y restauración de bosques. La revisión se realizó para el periodo de 1990 a 2018. De lado derecho se presentan el número de publicaciones a nivel internacional, mientras que del lado izquierdo sólo se muestran las publicaciones realizadas por instituciones mexicanas.

El país con mayor número de publicaciones en rehabilitación y restauración ecológica es Estados Unidos, con 4,681 publicaciones; lo que equivale al 24.3% de todas las publicaciones encontradas (Figura 5.2). En segundo lugar, se encuentra China con 2,303 publicaciones, en el tercer lugar Canadá con 1,259 publicaciones. Por su parte, México está en decimosegundo lugar, con el 2% del total de las publicaciones.

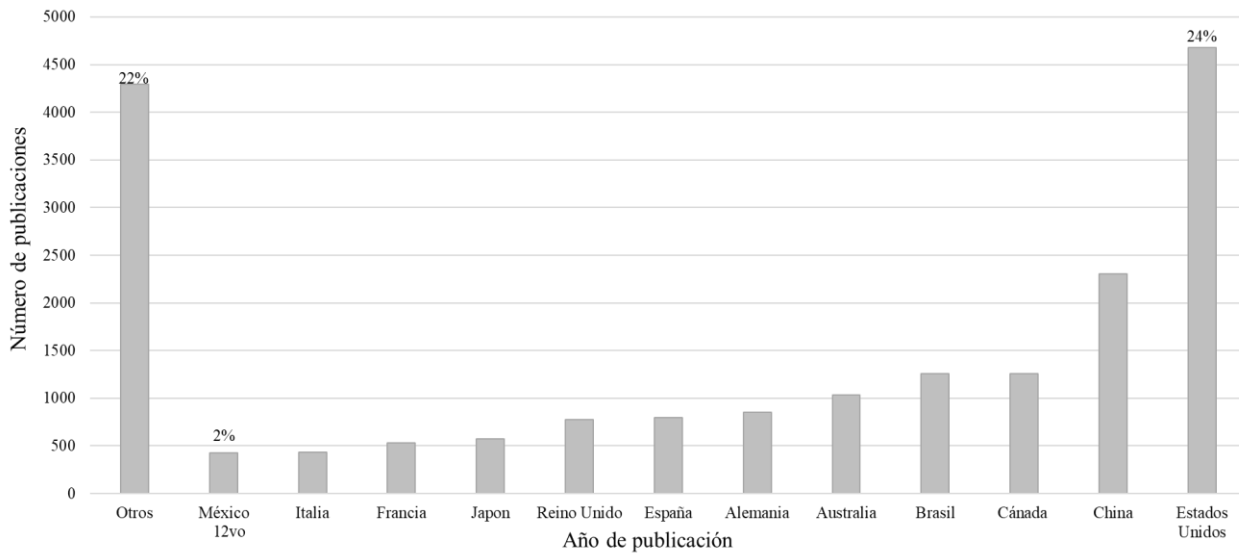


Figura 5.2. Cantidad de publicaciones científicas por país, sobre la rehabilitación y restauración ecológica de bosques. La búsqueda corresponde al periodo de 1990 a 2018.

A nivel nacional se encontraron 427 artículos científicos de investigación, 17 capítulos de libros, 17 artículos de conferencias, 11 artículos de revisión y 5 artículos de prensa (Tabla 5.2). Los artículos se han publicado en más de 200 revistas científicas, la mayoría contienen menos de 17 documentos y sólo la revista *Forest Ecology and Management* presenta 40 publicaciones.

En otros trabajos se ha encontrado un aumento en el número de publicaciones en el área de la rehabilitación y restauración ecológica de bosques o temáticas relacionadas (Wortley *et al.*, 2013; Aznar-Sánchez *et al.*, 2018; Calva-soto y Pavón, 2018). Los países con más producción científica en esta área también cuentan con una superficie forestal superior a los 200 mil millones de hectáreas cada uno (FAO, 2018), por lo que existe un interés intrínseco en su investigación y recuperación.

El aumento de interés en la recuperación de bosques a nivel mundial se podría asociar a factores ecológicos y económicos. Aznar-Sánchez *et al.* (2018) encontró que Estados Unidos, China, Canadá, Brasil y Australia también son los países con más publicaciones científicas relacionadas con la investigación de servicios ecosistémicos de bosques, mismos países aquí encontrados con mayor número de publicaciones. Esto podría entenderse con que el incremento en investigación de rehabilitación o restauración de bosques se debe al aumento

de interés en recuperar o conservar los servicios ecosistémicos de los bosques. Aunque, por otro lado, estos países también se encuentran entre los principales productores consumidores de madera en rollo industrial (FAO, 2018).

En México, desde hace 15 años se han incrementado el número de proyectos de restauración terrestre (Calva-Soto y Pavón, 2018; Méndez-Toribio *et al.*, 2018). Esto también puede deberse a las diversas iniciativas internacionales a las cuales México está suscrito como la Iniciativa 20x20, el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Reto de Bonn (CDB, 2010; Aronson y Alexander, 2013; UICN, 2014); y a nivel nacional con la Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal (CONABIO, 2012) y Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México (CONABIO, 2016). Dentro de estas intervenciones, los bosques templados concentran el 27% de la inversión en proyectos de restauración, con un monto promedio de un poco menos de 8 millones de pesos por proyecto (Méndez-Toribio *et al.*, 2018).

Tabla 5.2. Resultados de la vigilancia tecnológica de publicaciones científicas de trabajos sobre México en rehabilitación y restauración ecológica. La vigilancia se realizó en el período 1990-2018. En la esquina superior izquierda se presentan los tipos de documentos encontrados, en la esquina superior derecha se presentan las principales áreas del conocimiento presentes en los documentos encontrados y en la esquina inferior izquierda se presentan las principales revistas donde se publicó.

Tipo de documentos	Número	%	Principales área del conocimiento	Número	%
Artículo	373	87	Agricultura y ciencias biológicas	308	47
Capítulo de libro	17	4	Ciencias ambientales	205	31
Artículo de conferencia	17	4	Ciencias sociales	37	6
Revisión	11	3	Bioquímica, Genética y Biología Molecular	29	4
Artículo en prensa	5	1	Ciencias de la tierra	27	4
Otro	4	1	Otros	51	8
Total	427	100			
Revista	Número	%			
Forest Ecology and Management	40	9			
Restoration Ecology	18	5			
Madera Bosques	17	4			
Agrociencia	14	3			
Botanical Sciences	14	3			
Otros	324	76			

Las instituciones de investigación con el mayor número de publicaciones en rehabilitación y restauración ecológica a nivel mundial fue la *Academia China de las Ciencias*, con 862 publicaciones (Tabla 5.3). Entre las publicaciones encontradas se observa que esta institución se enfoca en trabajos de reforestación y uso de suelo, e intervenciones de silvicultura en bosques de China. Le sigue el *Servicio Forestal del Departamento de Agricultura* de los Estados Unidos, con 732 publicaciones que tratan principalmente la reforestación, sistemas de silvicultura y el manejo forestal, enfocados a los bosques como sistemas de producción de madera. La tercera es la *Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia* con 259 publicaciones. Estos trabajos se concentran en la reforestación utilizando *Picea abies*, la biodiversidad de los sitios y el manejo forestal de estos. Después de esta institución, las siguientes no superan el 1.5% del total de los documentos y ninguna institución encontrada público más del 5.1% de los artículos.

Tabla 5.3. Principales instituciones con publicaciones sobre rehabilitación y restauración de bosques. De lado izquierdo se presentan las instituciones internacionales, del izquierdo las nacionales.

Institución	Número	%	Institución	Número	%
 Academia China de las Ciencias	862	5	 Universidad Nacional Autónoma de México	140	31
 Servicio Forestal USDA	732	4	 Instituto Nacional de Ecología A.C.	50	11
 Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia	259	1	 Colegio de la Frontera Sur	39	9
 Universidad de Sau Paulo	229	1	 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	33	7
 Universidad de la Academia China de Ciencias	229	1	 Colegio de Postgraduados	33	7
 Universidad Forestal de Beijing	201	1	 Universidad Veracruzana	32	7
Otros	14,491	85	Otros	100	23

Los investigadores con mayor número de publicaciones se encuentran principalmente en Estados Unidos (Tabla 5.4). El doctor Peter Z. Fulé, investigador de la Escuela Forestal de la Universidad del Norte de Arizona, es el autor con el mayor número de publicaciones con 49 artículos en los últimos 21 años. Fulé se especializa en restauración ecológica, la ecología del fuego, sus efectos en bosques de coníferas y bosque cordillerano (del suroeste de EEUU).

Por otra parte, Douglass F. Jacobs, investigador perteneciente al Departamento Forestal y de Recursos Naturales de la Universidad de Purdue en Indiana, estudia la reforestación y restauración forestal, con énfasis en la comprensión eco-fisiología de la regeneración de bosques en respuesta al manejo forestal, manejo de viveros de árboles nativos y calidad de plántulas, temas en los cuales ha publicado 49 artículos durante 18 años. El doctor Pedro H. S. Brancalion es investigador de la Universidad de Sao Paulo en Brasil, desde 2010 ha publicado 45 artículos sobre la restauración de bosques tropicales y el papel de la tríada ‘investigación, práctica y política’ en la restauración a gran escala y la relación costo-beneficio de los proyectos.

El doctor William Covington ha trabajado durante 24 años en investigación y divulgación de temas relacionados con la restauración ecológica de bosques de *Pinus ponderosa*, coníferas mixtas y *Pinus-Juniperus*, temas de los cuales ha publicado 41 artículos. Por su parte, el doctor Ricardo R. Rodríguez, investigador del departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Sao Paulo, ha publicado 39 artículos sobre ecología de ecosistemas y botánica aplicada en temas de florística, bosque tropical y atlántico.

Tabla 5.4. Investigadores encontrados con más producción científica sobre rehabilitación y restauración ecológica en bosques. La búsqueda se realizó en el periodo de 1990 a 2018. En la tabla de la izquierda se encuentran los investigadores a nivel internacional, mientras que en la de la derecha los investigadores nacionales y la institución a la que pertenecen.

Investigador	Institución	Número	Investigador	Institución	Número
Fulé, P.Z.	Universidad del Norte de Arizona, Escuela Forestal	49	Lindig-Cisneros, R.	Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad - UNAM	18
Jacobs, D.F.	Universidad de Purdue, Departamento Forestal y de Recursos Naturales	49	Sáenz-Romero, C.	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	18
Brancalion, P.H.S.	Universidad de Sao Paulo – Departamento de Ciencias Forestales	45	Martínez-Garza, C.	Universidad Autónoma del Estado de Morelos	14
Covington, W.W.	Universidad del Norte de Arizona – Escuela Forestal	41	Williams-Linera, G.	Instituto de Ecología (INECOL)	14
Rodrigues, R.R.	Universidad de Sao Paulo	39	Ceccon, E.	Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias - UNAM	10

En México, la institución con más publicaciones en el área es la UNAM, esta contiene el 31% de los resultados encontrados y como parte de sus investigadores figuran 4 de los 10 investigadores con mayor publicación científica en el país (Tabla 5.3). Las Publicaciones de la UNAM se centran en reforestaciones y toman un enfoque de ecología de la restauración, entendiendo la ecología de la restauración como la disciplina científica que a partir de la teoría ecológica desarrolla principios para guiar la práctica de la restauración de los ecosistemas (López-Barrera *et al.*, 2017)

En segundo lugar, se encuentra el Instituto de Ecología A.C. (INECOL), organización centrada en la resolución de problemas ecológicos derivados del uso de los recursos naturales mediante la investigación científica de éstos y la conservación de la biodiversidad en México (INECOL, 2020). En sus artículos la temática principal es la reforestación, y al igual que la UNAM, la mayoría de sus artículos presentan un enfoque de ecología de la restauración o de conservación enfocado a bosque de niebla.

En tercer lugar, se encuentra el Colegio de la Frontera Sur con 39 publicaciones científicas, las cuales se centran en la conservación de los ecosistemas del sur del país. La mayoría de los artículos, al igual que en los casos anteriores, trataban sobre reforestación con un enfoque de ecología de la restauración y su relación con proyectos de conservación.

En México, el autor con más publicaciones en este tema es el doctor Lindig Cisneros con 18 publicaciones. El investigador ejerce en el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México. Su trabajo aborda la ecología de la restauración de bosques templados, bosques secos y en humedales, que presentan disturbios naturales de origen volcánico o antropogénicos. También investiga el papel de las plantas nodrizas en las reforestaciones.

Con el mismo número de publicaciones se encontró el investigador Cuauhtémoc Sáenz-Romero de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Sus trabajos se relacionan con trabajos de rehabilitación y restauración de bosques, especializándose en el efecto del cambio climático en la reforestación. A continuación, la doctora Cristina Martínez-Garza de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, es quien ha publicado 14 documentos

científicos sobre la relación entre la biología evolutiva de las especies arbóreas y la restauración ecológica de bosques.

La doctora Guadalupe Williams-Linera del Instituto de Ecología A.C. en Xalapa ha publicado 14 artículos sobre restauración de bosques de niebla o mesófilos de montaña de Veracruz, incluyendo cuestiones de sucesión secundaria, biodiversidad, dinámica foliar y especies arbóreas amenazadas. La doctora Eliane Ceccon del Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM) de la UNAM ha publicado 10 documentos sobre aspectos sociales en la restauración de distintos ecosistemas de América Latina. La doctora Fabiola López Barrera labora en el Instituto de Ecología A.C. donde estudia la regeneración y restauración de bosques de niebla de Veracruz utilizando herramientas como la ecología del paisaje, así como los efectos de la fragmentación en las interacciones planta animal (Ceccon y Martínez-Garza, 2016).

Comparando las temáticas de las instituciones internacionales con más publicaciones con las nacionales, resalta que a nivel mundial se pone énfasis en el bosque como proveedor de servicios ecosistémicos. Revisando las principales temáticas y palabras clave de los artículos encontrados a nivel mundial aparecen temáticas como: a) El manejo forestal, referente a las decisiones y actividades encaminadas al aprovechamiento de los recursos forestales de manera ordenada y sin comprometer la provisión de estos recursos para las generaciones futuras (Aguirre-Calderón, 2015), b) la silvicultura, la cual se refiere a las acciones encaminadas a aumentar el nivel de biodiversidad y complejidad estructural de los bosques degradados, de manera que se incremente la producción de bienes y servicios de los bosques (Bannister *et al.*, 2016); ambas estrategias se han explorado como herramientas de la rehabilitación y restauración en otros trabajos (Bannister *et al.*, 2016; García-Barrios y González-Espinosa, 2017 y Donoso *et al.*, 2018). En contraste, cuando se revisan las palabras clave de las instituciones mexicanas, los enfoques se concentran en: a) reforestación y e) Ecología de la restauración, disciplina científica que a partir de la teoría ecológica desarrolla principios para guiar a la práctica de la restauración de los ecosistemas (López-Barrera *et al.*, 2017)

5.2 Producción tecnológica

En la revisión de patentes a nivel internacional en el período 1990-2018 se encontraron 465 registros relacionados con la rehabilitación y restauración de bosques. De estas patentes, 129 de ellas han sido otorgadas y 340 se encuentran en alguna parte del proceso de aplicación. El país con más patentes encontradas fue China, seguido de Estados Unidos, Australia, Corea del Sur y Rusia (Figura 5.3). México se encuentra en el octavo lugar con 8 patentes. Los registros encontrados presentan el máximo histórico en 2018, con 46 patentes en ese año.

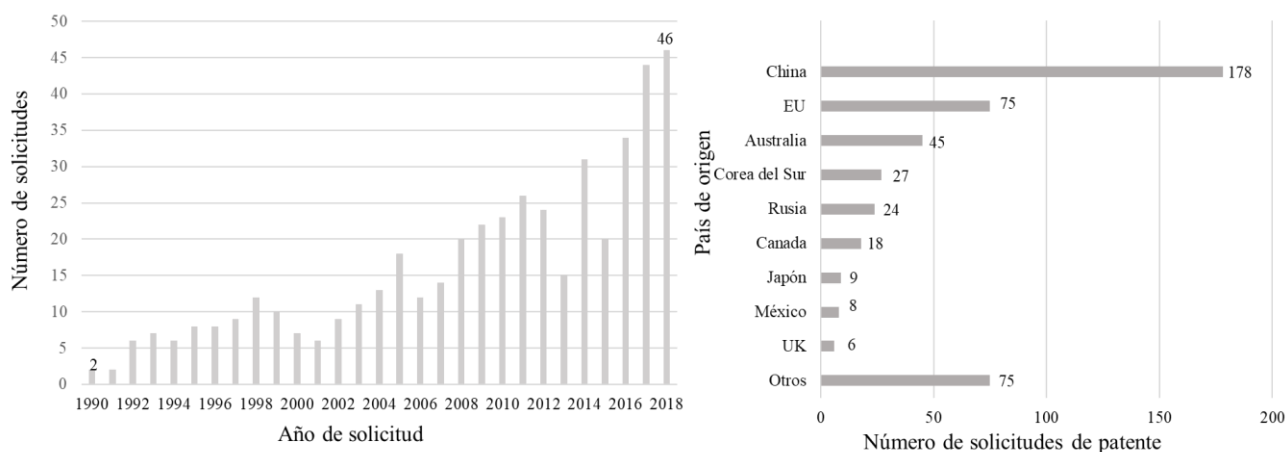


Figura 5.3. Distribución de patentes relacionadas con la rehabilitación y restauración de bosques. La búsqueda se limitó al período 1990-2018. En la figura izquierda se observa en qué año fueron solicitadas, mientras que en la derecha se observa el país donde se realizó la solicitud.

Utilizando la clasificación CPC (*Cooperative Patent Classification*) de patentes (EPO y USPTO, 2020), se observaron áreas tecnológicas centradas en el manejo de plantas arbóreas en bosques (Tabla 5.5). El área que presentó más registros fue la relacionada con tecnologías o métodos de reforestación o aforestación de bosques. En segundo lugar, se encontraron patentes relacionadas con métodos de generación de plantas adultas a partir de cultivo de tejidos. La tercera área encontrada con más registros trata métodos y tecnologías relacionadas con la silvicultura. En cuarto y quinto lugar se encontraron medios de cultivo y aparatos relacionados con el manejo de células vegetales *in vitro*, respectivamente.

Tabla 5.5. Distribución de las áreas tecnológicas de las patentes encontradas. Se utilizó la clasificación internacional de patentes de la CPC (EPO y USPTO, 2020)

Clasificación CPC	Definición	
Y02A40/243	Tecnologías o aplicaciones para reforestación o aforestación	110
A01H4/008	Métodos de reproducción de plantas adultas por medio de cultivo de tejidos	14
A01G23/00	Metodologías y tecnologías de silvicultura	12
Y02A40/294	Prácticas y tecnologías relacionadas con silvicultura y sistemas agroforestales	11
A01G9/0291	Receptáculos de plantación adaptados a mantenerse en el suelo tras el trasplante	10
C12N5/0025	Medios de cultivo para células vegetales	10
E03B3/00	Métodos o instalaciones para obtener o coleccionar potable o de grifo	8
E03F1/00	Métodos, sistemas o instalaciones para drenar aguas residuales o de lluvia	8
Y02A40/227	Técnicas de control de la arena en la agricultura	8
Otros		274

Las patentes encontradas se encuentran distribuidas entre una gran cantidad de instituciones, 74% de ellas presentan una o dos patentes (Tabla 5.6). La empresa con más patentes encontradas fue *Westvaco*®, actualmente llamada *WestRock*, que cuenta con 27 patentes de esta área. *WestRock* se encuentra en Estados Unidos y se dedica a la producción de sistemas de embalaje, cajas, papeles corrugados, producción de cartón, cajas sanitarias, papel laminado, sobres, resinas sintéticas, aceites, productos químicos de goma y madera (FHSLA, 2018).

Las patentes de *WestRock* se centran en protocolos, medios de cultivo y tecnologías relacionadas con la reproducción de coníferas por medio de cultivo de tejidos vegetales. Esta compañía ha realizado la reforestación de suelos forestales que cumple con los estándares requeridos para conseguir el certificado de la *Sustainable Forestry Initiative*, con los estándares del *Global Reporting Initiative* y el *Brazilian Forest Certification Program* (Westrock Company, 2016).

En segundo lugar, la *Universidad de Agricultura de Nanjing*, esta institución se encuentra en la región oeste de China, en la ciudad de Nankín. Se detectaron 11 patentes de esta institución, todas relacionadas con la especie *Haloxylon ammodendron*, tocando temas de metodologías para aumentar la supervivencia y germinación de dichas plantas. Esta planta es usualmente utilizada en la región norte y oeste de China en procesos de aforestación de suelos desertificados, debido a su resistencia a la sequía y tolerancia a la salinidad (Sheng *et al.*, 2005). Cinco de las patentes tienen cotitularidad con la *Universidad de Agricultura de Xinjiang*, ubicada en el noreste de China. Estas 5 patentes tratan específicamente de metodologías de plantación de *Haloxylon ammodendron* con poco mantenimiento, esta especie es utilizada en la restauración de la vegetación en las regiones desérticas del norte de China para la estabilización de dunas de arena (Fan *et al.*, 2016).

En tercer lugar, se encuentra la empresa *Luxin Green Planet* ubicada en Lucerna, Suiza, y cuenta con 10 patentes relacionadas con sistemas de almacenamiento y saneamiento de agua, que además funcionan como sistemas de riego. Los resúmenes de las patentes mencionan que los sistemas están diseñados para horticultura y campos deportivos, sin embargo, aparecieron en la búsqueda debido a que en las reivindicaciones se menciona que estos podrían ser adaptados para ser aplicados en reforestaciones.

En cuarto y quinto lugar se encuentran las empresas brasileñas *Phb Industrial* y *KEHL Industria y Comercio LTDA*. La primera se dedica al desarrollo de composiciones de poliuretano y poliéster biodegradable. Mientras que la segunda, se dedica a la producción de azúcar de caña. Se encontraron 6 de sus patentes y en general se relacionan con composiciones de poliuretano y poliéster biodegradables. Sus funciones son la elaboración de todo tipo de recipientes y, se menciona que se pueden utilizar como reemplazo de las bolsas negras y charolas de germinación, para disminuir los residuos.

Tabla 5.6. Instituciones encontradas con mayor número de patentes sobre rehabilitación y restauración de bosques.

Institución	Número
 WestRock Corp	27
 Universidad de Agricultura de Nanjing	11
Luxin Green Planet	10
 PHB Industrial	6
 KEHL Industria y Comercio	6
 Universidad de Agricultura de Xinjiang	5
Otros	400

En México, se encontraron 8 patentes relacionadas con el área de rehabilitación y restauración de bosques (Tabla 5.7). La mitad de ellas están registradas por personas físicas, una de ellas por un centro de investigación y tres bajo empresas. De estas patentes, sólo 1 se encuentra actualmente vigente, las demás perdieron el registro debido a que no se cubrió el pago de derechos que debe de ser cubierto de manera anual.

El *Cinvestav* cuenta con la única patente vigente, la cual fue otorgada en 2017 (Herrera y Xoconostle, MX Solicitud de Patente núm. 2009/008884). Esta patente es una composición de metabolitos secundarios extraídos de la raíz de una especie de pino, que acelera y estimula el proceso ectomicorrízico. Fue diseñada para ser utilizada en plantaciones comerciales de pino por los investigadores Aseneth Herrera Martínez, Roberto Ruiz Medrano y Beatriz Xoconostle Cázares.

Dos de las patentes encontradas pertenecían a *Multifills S.A. de C.V.* empresa productora de envases de plástico para todo tipo de función. Las patentes tratan sobre bolsas y recipientes de un material biodegradable y compostable para semillas o plántulas que, según la información presentada, aumenta el porcentaje de supervivencia en vivero y evita la contaminación del suelo mediante la eliminación del uso de derivados del petróleo. Una de estas patentes está diseñada para el manejo de todo tipo de plantas en vivero y otra en específico para coníferas (Nava *et al.*, MX solicitud de patente núm. 2010/010354; Vilchis *et al.*, MX solicitud de patente núm. 2011/003334).

Una patente fue registrada por Luis Castillo, y consiste en el proceso de fabricación de un sustrato para agricultura y reforestaciones que, según la descripción, absorbe 30% más agua que los sustratos comerciales (Castillo, MX solicitud de patente 2012/013294). Este producto fue comercializado por la empresa *Eco-Terra fertilizantes y sustratos ecológicos SA de CV*, sin embargo, la página web de esta empresa no se encuentra funcionando y el producto no parece estar siendo comercializado. Otra patente encontrada está registrada bajo el titular Salvador Hermosillo (Hermosillo, MX solicitud de patente 2007/006882). Esta patente consiste en un dispositivo para dispensar agua, capturada en épocas de lluvia, directamente a la raíz durante temporadas de sequía.

Rico Escobedo cuenta con una patente que consiste en un procedimiento para generar cápsulas de semillas de coníferas (Escobedo y Tiemanns, MX solicitud de patente núm. 2003/001670). Se menciona que las cápsulas están diseñadas para la germinación y que su composición incluye fungicidas y repelentes de insectos, de manera que se mejore la supervivencia de las plantas en un proceso de reforestación. No se encontró qué empresa o institución comercializa este producto.

Obed Galicia cuenta con una patente de procedimientos para utilizar árboles de navidad, en este caso *Pinus ayacahuite*, que después sean reintegrados en procesos de reforestación (Galicia, MX solicitud de patente 2012/011810). Este servicio fue comercializado por una empresa llamada *ArbolesdenavidadMéxico®*, aunque actualmente no se encuentra disponible la página de la empresa, ni los teléfonos de contacto.

La última patente encontrada pertenece a la empresa coreana *Knu-Industry* (Chun, MX solicitud de patente 2008/012685). La invención se refiere a un método de reforestación mediante el hecho de dejar caer de un helicóptero una estructura similar a una maceta con una plántula de edad no especificada. La estructura se entierra en el suelo y según la patente, permite que la planta crezca y reduce la mano de obra.

Como se observa en la figura 5.3 las tecnologías relacionadas con la rehabilitación y restauración de bosques han ido en aumento. En México, las universidades y centros públicos de investigación protegen más patentes que las empresas en temas relacionados con ciencias biológicas (Solleiro y Briseño, 2003), el hecho de que en este trabajo no se haya encontrado esta tendencia (Tabla 5.6) puede significar que no hay tanto interés en el desarrollo tecnológico de esta área comparado con otras de las ciencias biológicas. Aunque esto también podría deberse a que las empresas relacionadas con el manejo o aprovechamiento de los bosques no cuentan con capacidades para adquirir el conocimiento y desarrollar tecnología a partir de las investigaciones científicas. Por ejemplo, en EEUU son las empresas que tienen relación con el aprovechamiento del bosque, como la empresa *Westrock*, las que continuamente desarrollan tecnología relacionada con su aprovechamiento y recuperación.

Tabla 5.7. Patentes mexicanas encontradas sobre rehabilitación y restauración de bosques. La búsqueda se acotó al período 1990-2018.

Titular	Descripción de la patente	Inventores	Estado actual
Salvador Hermosillo	Dispositivo para dispensar agua directamente a la raíz, permitiendo así que el agua se use mejor durante la sequía. Además, en la estación lluviosa, el agua se recolecta.	Salvador Hermosillo	Abandonada
Multifills S.A. de C.V.	Bolsas para vivero para la germinación y crecimiento de diferentes especies de arboles y plantas.	Mario Vilchis Félix Mercado Mónica Aguilar	Abandonada
Multifills S.A. de C.V.	Bolsas para reforestación, designadas para la germinación y crecimiento de diferentes especies de arboles y plantas.	Mario Vilchis Félix Mercado Mónica Aguilar	Abandonada
Cinvestav	Composiciones de los metabolitos secundarios que promueven y agilizan el proceso de ectomicorrización.	Aseneth Herrera Roberto Ruiz Beatriz Xoconostle	Vigente
Luis Castillo	Proceso de fabricación de un sustrato retentor de agua para diferentes tipos de plantas, que se utiliza en la agricultura y el ganado y se enfoca en reforestaciones.	Luis Castillo	Abandonada
Obed Galicia	Procedimiento para reutilizar arboles de navidad de dos o tres años y una composición fertilizante.	Obed Reyes	Abandonada
Rico Escobedo	Capsulas de protección y germinación de semillas de coníferas para la reforestación.	Rico Escobedo	Abandonada
Knu-Industry	Método para la reforestación temprana del suelo inútil, a través aeronaves.	Su-kyoung Chun	Abandonada

El hecho de que la mayoría de las patentes mexicanas se encuentren abandonadas, nos puede hablar de diferentes problemáticas. El Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, organismo que tiene como labor la protección de las patentes en México, ha mencionado (Milenio, 2020) que entre las razones de abandono se encuentran el cambio de giro o estrategia comercial de las empresas, así como el proceso burocrático de realizar una patente.

Aunado a esto, también debe de considerarse que el objetivo de las patentes es el aprovechamiento económico de una tecnológica o proceso, por lo cual esto puede hablarnos de que las instituciones que abandonaron las patentes no encontraron o no lograron comercializar sus desarrollos. En el caso de la patente del Cinvestav, los centros públicos de investigación usualmente cuentan con un fondo para cubrir los gastos de protección, por lo que, aunque está no encuentre mercado es normal que la protección se cubra anualmente.

5.3. Análisis cuantitativo de proyectos de rehabilitación y restauración de bosques.

A través de la vigilancia tecnológica se encontraron 30 proyectos de rehabilitación y restauración de bosques, de los cuales 11 se realizaron en Estados Unidos, 10 en México, 2 en Canadá, y los proyectos restantes se realizaron en India, Argentina, España, Nueva Zelanda, Australia, República Checa y Chile. La mayoría de los proyectos se realizaron en BT, dos en bosque mesófilo y dos en múltiples tipos de vegetación.

Las instituciones gubernamentales fueron las principales proponentes y realizadoras de proyectos. En segundo lugar, las instituciones académicas, en tercero las empresas y en último la sociedad civil (Tabla 5.8). Las instituciones académicas, aunque no participaron en la mayoría de los proyectos como responsables técnicos, fueron las que más se vincularon en los proyectos, seguidas de instituciones de la sociedad civil y de empresas. Sólo 4 de los proyectos fueron financiados con recursos propios, los demás solicitaron financiamiento de distintas instituciones internacionales.

En estos proyectos, el papel de diversos sectores, como academia, gobierno y organizaciones de la sociedad civil suele nombrarse como el principal o como responsables propiamente de los proyectos. Se encontró que las empresas también participan en los trabajos de rehabilitación y restauración ecológica de bosques (Tabla 5.8), ya sea como la fuente de financiamiento del proyecto, como los dueños del sitio de intervención o los responsables del proyecto (Tabla 5.9). Esto puede deberse a distintas razones, en los últimos años han surgido distintas iniciativas para promover el interés de la rehabilitación y restauración de los ecosistemas en el sector privado (Sabogal *et al.*, 2015; Toribio *et al.*, 2017). Esto puede ser un área de oportunidad la vinculación con el sector privado puede resultar beneficioso para el desarrollo de proyectos de rehabilitación y restauración ecológica.

En los proyectos revisados la información menos accesible suele ser el costo preciso de las actividades de rehabilitación y restauración. Solo 11 proyectos reportan el costo total de la intervención, aunque ninguno desglosa los costos por rubros o por actividad. Esto representa un problema, ya que, si bien se pueden diseñar planes de trabajo utilizando las acciones o metodologías exitosas o tomando recomendaciones de otros proyectos, no es posible estimar el costo de estas acciones. Si bien CONAFOR (2014) menciona los costos por tipo de actividad que se deben dedicar por hectárea de BT (\$26,508.95), estos no concuerdan con los costos finales de los proyectos por hectárea, los cuales llegaban a ser de \$400,000.00 pesos por hectárea.

Tabla 5.8. Sectores responsables y colaboradores de los 30 proyectos de rehabilitación y restauración de boques encontrados a nivel mundial.

Instituciones	Responsables	Colaboraron
Empresas	6	20
Sociedad civil	6	24
Academia	8	26
Gobierno	10	15

En cuanto a las acciones de restauración, la mayoría de los proyectos se centraron en la reforestación (Figura 5.4). De los proyectos analizados, 90% realizaron actividades de reforestación, el 52% realizaron actividades de restauración y conservación de suelos, el 69% realizaron mantenimiento relacionado con el reemplazo de plantas muertas después de plantaciones, la reconstrucción de presas o de terrazas. El 83% de los proyectos realizaron actividades de protección, como la instalación de cercas para prevenir la entrada de ganado, o jaulas para prevenir herbivoría de las plantaciones reforestadas. En cuanto a asistencia técnica, 79% de los proyectos se vinculan con instituciones de educación superior, en este sentido, los proyectos que no realizaron esta acción presentaban experiencia previa con la rehabilitación de bosques o diseñaron el proyecto sólo como una reforestación. 62% de los proyectos presentaban algún plan de monitoreo, aunque, en la mayoría esto se debía a que la institución proponente de la rehabilitación tenía sus instalaciones o administraba directamente el sitio del proyecto.

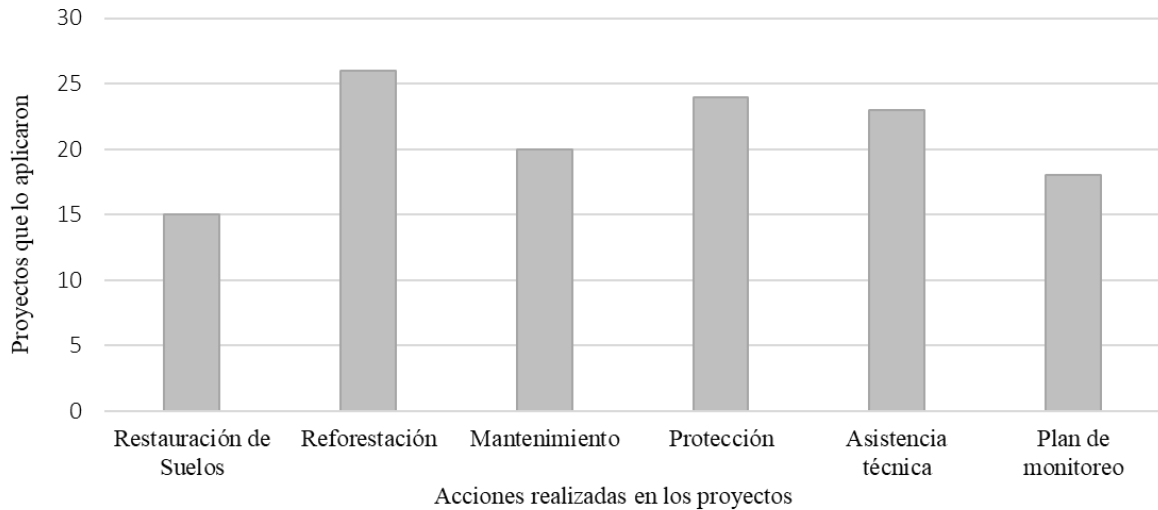


Figura 5.4. Tipos de actividades de restauración realizadas en los 30 proyectos analizados.

En la mayoría de los proyectos se detectó más de una causa de degradación y éstas fueron variadas. La principal causa reportada fue el cambio de uso de suelo de superficie forestal a potreros dedicados a la ganadería. En segundo lugar, se reportó el cambio forestal a terrenos dedicados a la agricultura, donde la sobre explotación daba como resultado la pérdida de suelo. En tercer lugar, se encontró la minería y la introducción de especies exóticas, la primera causando una pérdida de suelo directa y la segunda causando la pérdida de estructura de vegetación del sitio.

5.4. Análisis comparativo de proyectos de rehabilitación y restauración de bosques.

A partir de los 30 proyectos encontrados, se eligieron 4 para el análisis comparativo, todos realizados en México (Tabla 5.9). Dos se realizaron en BT, y dos en bosque mesófilo. Dos de los proyectos practican la restauración pasiva debido a que resguardan zonas de bosque conservado que puede proveer de germoplasma a las zonas degradadas. Los 4 proyectos mencionan un plan de monitoreo y todos presentan como actividad de protección la construcción de cercas para ganado, ya que cerca de estos proyectos se realiza actividad de ganadería y esto puede llegar a afectar la supervivencia de las plantas en las reforestaciones.

Sólo en un caso, se reporta una fuente de financiamiento para el proyecto. Todos mencionaron que se realiza o se realizaría una actividad productiva para mantener el proyecto, esto en respuesta a los altos costos de la rehabilitación de los bosques y la duración de las intervenciones.

Tres de ellos tienen una página web dedicada a la divulgación de conocimientos generados durante el proyecto. Esta usualmente también tiene el objetivo de permitir la vinculación con expertos en el área o con otros proyectos que se encuentren en desarrollo, y en el caso de 3 de los proyectos, ofrecer servicios y productos generados por el proyecto para generar ingresos.

Tabla 5.9. Análisis comparativo entre proyectos de rehabilitación y restauración ecológica en México.

Proyectos				
Localidad	Sierra de Arteaga, Coahuila, México	Tlaxco, Tlaxcala, México	Huatusco, Veracruz, México	Cerro Buenavista, Veracruz, México
Ecosistema	Bosque templado	Bosque templado	Bosque mesófilo	Bosque mesófilo
Área intervenida (ha)	100	22	36	40.6
Costo total (Pesos)	\$1,952,072.00	-	-	\$16,900,000.00
Duración (Años)	3	51	26	7
Financiamiento	gubernamental y privado	Actividades productivas	Actividades productivas	Recursos propios
Causas de la degradación	Incendio forestal	Agricultura y ganadería	Ganadería	Minería
Actividades productivas	√	√	√	√
Página web		√	√	√
Instituciones Vinculadas				
Tipo de intervención	Rehabilitación activa	Rehabilitación activa y pasiva	Rehabilitación activa y pasiva	Rehabilitación activa
Instalación de vivero			√	√
Manejo de fauna	√			√
Plan de monitoreo	√		√	√
Actividades de restauración de suelos	Terrazas forestales, presas de morillo, cabeceo de cárcavas Zanja y bordo	Presas de piedra, paja y llantas, zanja y bordes Materia orgánica	Materia orgánica	Planta de compostaje Terrazas Materia orgánica
Número de especies utilizadas en la reforestación	1	6	5	28
Actividades de mantenimiento	Replantación y eliminación de malezas, reconstrucción de terrazas, riego y aplicación de composta	Reconstrucción de presas, replantación y aclareos	Eliminación de pastos exóticos	Replantación
Especies arbóreas utilizadas en la reforestación	<i>Pinus cembroides</i>	<i>Pinus oaxacana</i> <i>Pinus ayacahuite</i> <i>Pinus montezumae</i> <i>Pinus patula</i> <i>Pinus pseudostrobus</i> <i>Pinus teocote</i>	<i>Fraxinus uhdei</i> <i>Juglans pyriformis</i> <i>Liquidambar styraciflua</i> <i>Quercus sapotifolia</i> <i>Platanus mexicana</i>	<i>Quercus castanea</i> <i>Quercus affinis</i> <i>Quercus laurina</i> <i>Quercus obtusata</i> Entre otras
Introducción de herbáceas	No mencionado	No mencionado	√	√
Criterio de selección de especies vegetales	Nativas	Disponibles	Nativas, útiles y estructuralmente importantes	Nativas, útiles y estructuralmente importantes
Actividades de protección	Cercas para ganado Brechas cortafuego	Cercas para ganado Brechas cortafuego	Cercas para ganado	Cercas para ganado

5.4.1. Proyecto El Taray

El proyecto de la sociedad civil CAMEF fue realizado dentro del santuario "El Taray", ubicado en la Sierra de Arteaga en Coahuila (Tavarez, 2010) (Figura 5.5). En el 2006, el predio fue gravemente afectado por un incendio forestal. La importancia reportada de este predio radica en que es sitio de anidación de la cotorra serrana oriental (*Rhynchopsitta terrisi*), especie endémica de México y en peligro de extinción. El objetivo del proyecto fue la recuperación de la masa forestal nativa de la región en un área de 100 hectáreas. El proyecto tuvo una duración de 3 años y fue financiado \$1,952,072.00, por el Fondo para la Biodiversidad, a sugerencia de la CONABIO. El proyecto también recibió financiamiento de la Sociedad Zoológica de San Diego, el Fondo Mexicano para la Conservación, y del Fish and Wildlife Service de Estados Unidos para realizar la adquisición del terreno; que se proyecta destinar para actividades de protección del hábitat, educación, investigación y ecoturismo.

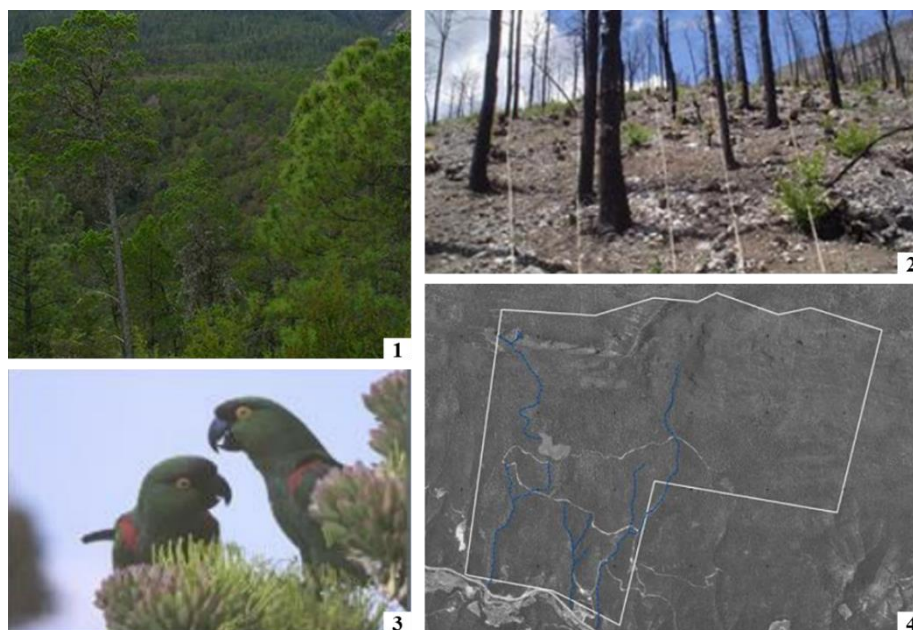


Figura 5.5. Predio del proyecto El Taray. 1) El predio antes del incendio forestal, en la fotografía se aprecian árboles de las especies *Pinus pseudostrobus* y *Pinus cembroides*. 2) El Taray posterior al incendio. 3) Se observa una fotografía de la cotorra serrana oriental (*Rhynchopsitta terrisi*). 4) Plano hidrológico de la zona afectada antes del incendio, el plano se encuentra en escala 1:15000. Fotografías de Tavarez 2010.

El proyecto se trabajó como una intervención de restauración de bosque templado. Para la restauración y conservación de suelos se realizaron terrazas forestales, presas y barreras de morillos utilizando restos de la madera quemada del predio; así como la técnica de zanja y borde (Figura 5.6). Se realizó una reforestación con *Pinus cembroides*, especie nativa de la región (Tavarez, 2010). Como actividades de mantenimiento, dos años después, se realizó la replantación de alrededor del 20% de los árboles. Además de la reconstrucción de terrazas forestales, eliminación de malezas cada cuatro meses, riego y la aplicación de composta en época de secas. Las acciones de protección fueron la construcción de cercas para ganado y brechas cortafuego. Como asistencia técnica se contó con apoyo de la CONABIO y del Fondo Mexicano para la Conservación.

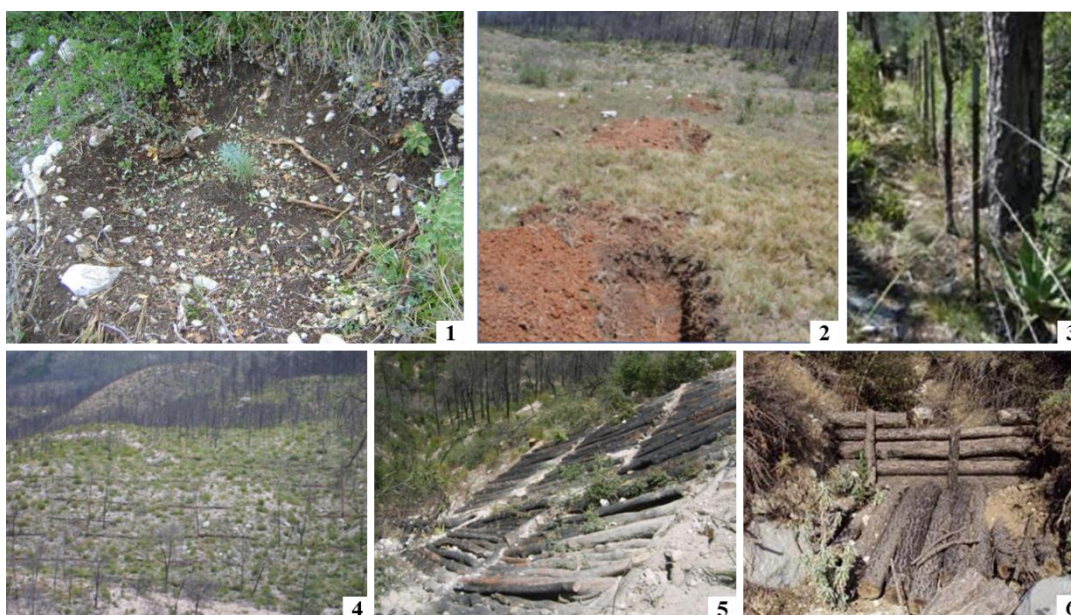


Figura 5.6. Acciones de rehabilitación realizadas en el predio el Taray. 1) Reforestación en terraza forestal, 2) zanja y borde (o zanja trinchera), 3) cerca para ganado, 4) barreras en curvas a nivel con troncos, 5) cabeceo de cárcava con troncos y 6) presa de morillos. Fotografías de Tavarez 2010.

5.4.2. Proyecto San Isidro

Actualmente, la asociación civil "*Proyecto San Isidro: educación permanente*", trabaja en la rehabilitación ecológica en Tlaxco, Tlaxcala (San Isidro, 2019) (Figura 5.7). El proyecto lleva 51 años de haber comenzado, cuando la familia líder del proyecto compró las 22 hectáreas del predio. La causa de la degradación de este predio fue el cambio de uso de suelo para actividades de agricultura y ganadería, lo cual resultó en la pérdida de vegetación, y

posteriormente, en la aparición de cárcavas. El proyecto se ha mantenido con fondos propios adquiridos mediante actividades productivas, como la venta de madera generada a partir de aclareos, manejo forestal a pequeña escala, así como cursos y talleres sobre educación ambiental y rehabilitación ecológica.



Figura 5.7. Predio del proyecto San Isidro. 1) En la fotografía se observa el cambio de uso de suelo de forestal a potrero, 2) fotografía donde se observa la pérdida de suelo y algunas cárcavas. Fotografías del banco de imágenes del proyecto PN218.

Las acciones de restauración y conservación de suelo fueron la construcción de presas de piedra con el material generado por el cabeceo de cárcavas, pacas de paja y llantas, la generación y agregado de materia orgánica en forma de composta a las plantaciones, y la construcción de zanjas y bordes (San Isidro, 2019) (Figura 5.8).

Se realizaron reforestaciones esporádicas con especies proporcionadas por apoyos de CONAFOR y disponibles en viveros de la región. Las reforestaciones incluyeron a las especies nativas: *Pinus oaxacana*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*; especies que tienen distribución en Tlaxcala según CONAFOR (2009), así como la especie *Pinus teocote*, la cual no se distribuye en Tlaxcala. Como acciones de mantenimiento se realiza la reconstrucción de presas según disponibilidad de personal y materiales, así como la replantación. También se realizan aclareos y la eliminación de especies parásitas de los pinos plantados. Las acciones de protección incluyeron la

construcción de cercas para ganado y brechas cortafuego. Como asistencia técnica tuvieron el apoyo del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre Desarrollo Regional (CIISDER).



Figura 5.8. Acciones de rehabilitación realizadas en el proyecto San Isidro. 1) Barreras en curvas de nivel hechas de paja y rocas, 2) composta de residuos de plantaciones y estiércol, 3) presas en cárcavas conformadas de cuadros de paja y rocas, 4) construcción de zanjas y bordos en curvas de nivel y 5) presas de llantas llenas de rocas en presas. Fotografías del banco de imágenes del proyecto PN218.

5.4.3. Proyecto Bosque de Niebla

El proyecto denominado “Bosque de Niebla” realizado en Huatusco, Veracruz por la sociedad civil *Agroecología y Ecoturismo Las Cañadas* ha consistido en la rehabilitación ecológica activa y pasiva de bosque mesófilo (Figura 5.9). El proyecto lleva 26 años de haber comenzado con la compra de 396 hectáreas por familias de la región. Los terrenos presentaban una fuerte degradación debido a que fueron convertidos en potreros y se introdujo al pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) como alimento para ganado. El proyecto se ha mantenido debido a las actividades productivas realizadas por sus integrantes: éstas incluyen, pero no se limitan, ecoturismo, venta de madera con manejo forestal, venta de plantas y semillas nativas, cursos y talleres de agroecología y ecotecnologías, venta de productos artesanales, silvopastoreo, agricultura tipo milpa, producción de miel con abejas meliponas (*Meliponini* spp.) y recorridos de ecoturismo por el predio (AELC, 2012).

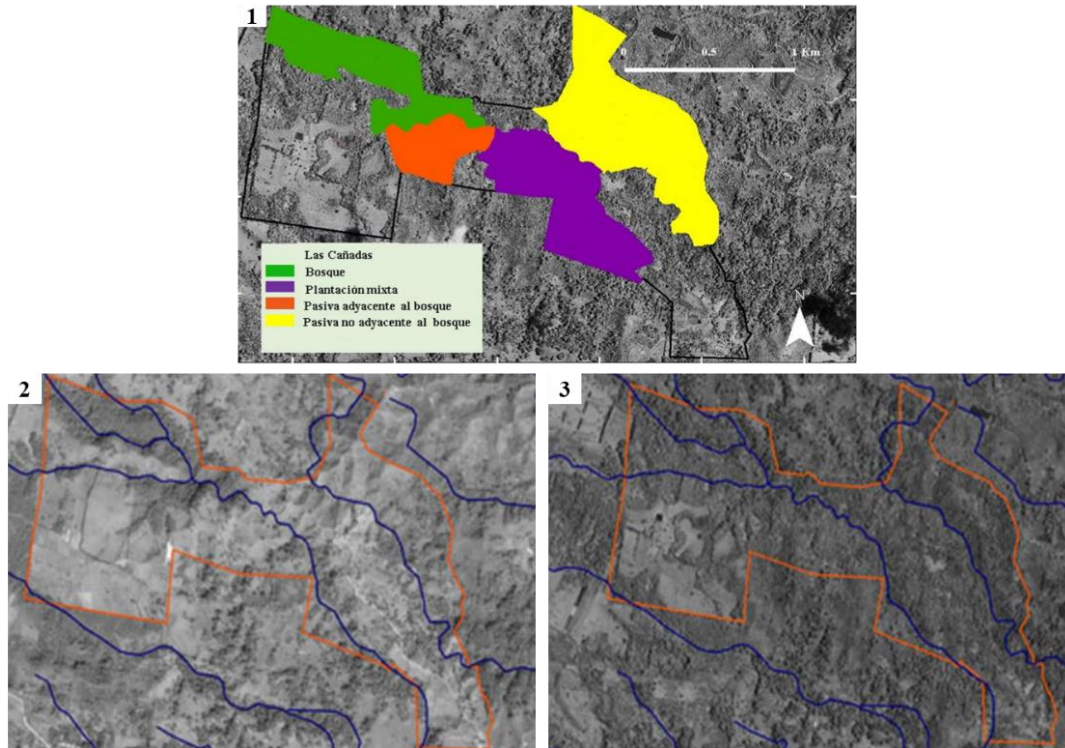


Figura 5.9. Predio del proyecto las cañadas. Imágenes del predio las Cañadas a escala 1:15000: 1) Se observa en verde la zona de bosque conservado, en morado dónde se realizaron las actividades de rehabilitación, en naranja la zona adyacente al bosque conservado que se destinó a restauración pasiva y en amarillo la zona no adyacente a bosque que también se sometió a restauración pasiva. 2) En la imagen se observa el polígono de la zona del proyecto antes de las actividades de rehabilitación en 1995. 3) Se observa el polígono del proyecto años adelante de la intervención de rehabilitación, en 2006. Fotografías de Trujillo 2017.

La rehabilitación se dividió en pasiva, la cual se realizó excluyendo 75 hectáreas con cercas para ganado, y la activa, la cual fue realizada en 36 hectáreas (Figura 5.10). Como acción de restauración y conservación de suelos se generó y agregó materia orgánica al suelo mediante composta generada del residuo de la milpa. Se realizó una reforestación utilizando las especies nativas *Fraxinus uhdei*, *Juglans pyriformis*, *Liquidambar styraciflua*, *Platanus mexicana*, *Quercus sapotifolia* y *Quercus* spp. y fueron adquiridas de viveros de la región, además de que se generó un vivero propio de estas especies para futuras intervenciones (Trujillo, 2017).

Como acción de protección se construyeron cercas de ganado, para prevenir la herbivoría de las plantas. La acción de mantenimiento fue la eliminación de pastos. El proyecto recibió apoyo técnico por parte de la asociación civil *Pronatura* y el Instituto de Ecología A.C., el cual efectuó una evaluación de las actividades realizadas por el proyecto, determinando que

se había alcanzado una estructura de vegetación similar a bosques mesófilos conservados en la región (AELC, 2012).



Figura 5.10. Sitios intervenidos en el proyecto de rehabilitación de Las Cañadas. 1) Bosque mesófilo de montaña conservado, 2) Plantación mixta de especies nativas, 3) área de restauración pasiva adyacente al bosque y 4) área de restauración pasiva no adyacente al bosque. Fotografías de Trujillo 2017.

5.4.4. Proyecto Holcim-Apasco

El Centro de Capacitación Agropecuaria y Forestal (CECAF), actualmente conocida como Fundación Holcim México, realizó un proyecto rehabilitación de bosque mesófilo en el Cerro Cautlapan en Ixtaczoquitlán, Veracruz (Figura 5.11). El proyecto tuvo una duración de 16 años y fue implementado en 40 hectáreas por la extracción de roca caliza y arcilla a lo largo de 40 años. Por lo cual, en la mayoría de los sitios la superficie no presentaba vegetación o suelo.

El proyecto fue financiado en su totalidad por recursos de la empresa *Apasco*, actualmente *Holcim*. Esta intervención tenía como objetivos mejorar las condiciones físicas del terreno para acelerar procesos de sucesión vegetal, restablecer la cobertura vegetal y evaluar los trabajos de rehabilitación realizados (Fragoso y Rojas 2012) (Figura 5.12).

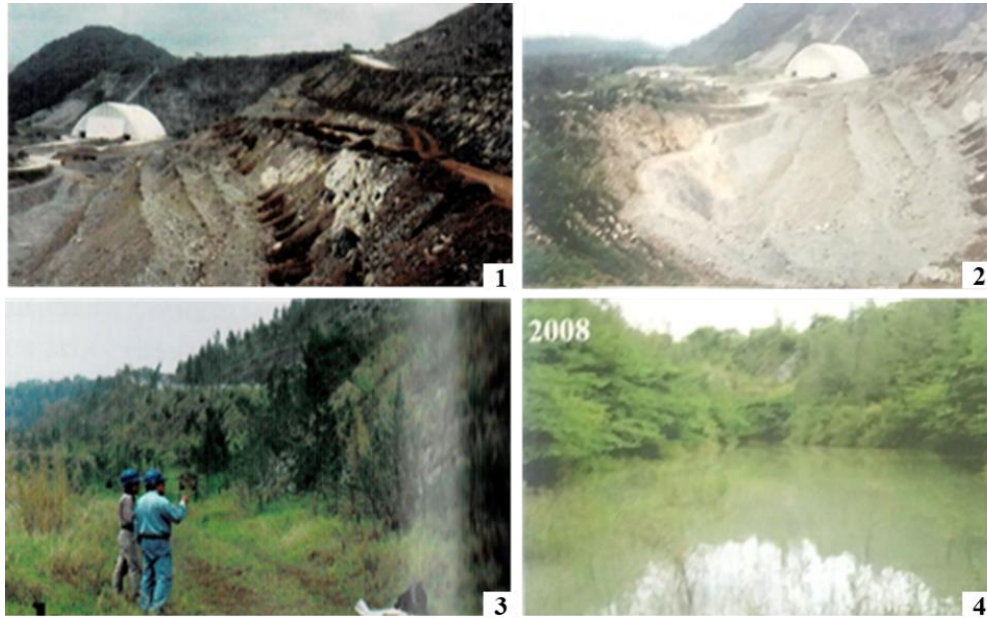


Figura 5.11. Predio del proyecto de restauración de la cantera Holcim-Apasco. 1) y 2) Fotografías de la cantera, tomadas desde el talud en 1995, 3) y 4) Fotografías de los taludes, tomadas en 2008, 16 años de intervenciones, ya que comenzaron en 1992. Fotografías de Fragoso y Rojas 2012.

Las acciones de restauración y conservación de suelos incluyeron la generación de una planta de lombricomposta (utilizando *Eisenia andrei*) para generar suficiente materia orgánica para cubrir 10 cm de profundidad en los sitios intervenidos, se construyeron terrazas en taludes del 40% para habilitar la plantación y el mantenimiento de la materia orgánica, y se generó un lago artificial de media hectárea en el fondo de la cantera para tener acceso a agua de riego para las plantaciones.

Se utilizaron más de 18 especies arbóreas y 10 especies herbáceas nativas y exóticas para la reforestación. Entre las especies arbóreas se incluyeron: *Acacia pennatula*, *Bambusa oldhamii*, *Bursera simaruba*, *Casuarina equisetifolia*, *Cupania dendata*, *Cupresus* sp., *Denderopanax aboreus*, *Fraxinus uhdei*, *Leucaena diversifolia*, *Liquidambar styraciflua*, *Musa paradisiaca*, *Psidium guajaba*, *Quercus aff. castanea*, *Quercus affinis*, *Quercus laurinam*, *Quercus obtusata*, *Quercus salicifolia*, *Wigadia urens* y *Yucca elephantipes*, las cuales fueron plantadas mediante el trasplante directo y de manera homogénea para facilitar las labores de aclareo (Fragoso y Rojas, 2012). La incorporación de plantas herbáceas se realizó mediante la adición de mezclas de tierra negra y semillas.

En los inicios del proyecto, para los terrenos con taludes superiores a 60% se contrató a alpinistas para realizar la plantación, ya que la distancia entre los taludes alcanzaba los 60 metros de altura. La densidad de árboles por hectárea fluctuó entre 625 y 2,200 por hectárea. En zonas donde no se contaba con árboles se introdujo pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) para evitar la erosión del suelo y, posteriormente, el pasto fue retirado y sustituido por plantas nativas. Se diseñó un vivero forestal utilizando plantas nativas de zonas aledañas. Las actividades de protección se implementaron brechas cortafuego. Como actividades de mantenimiento se realizaron aclareos y replantaciones, así como el reemplazo paulatino de especies exóticas por nativas.



Figura 5.12. Acciones de rehabilitación realizadas en el proyecto Holcim Apasco. 1) Combinación de composta con semillas de plantas herbáceas. 2) Distribución de 10 cm de composta con semillas en los terrenos con poca pendiente. 3) Diseño de plantación y cepas de manera regular. 4) Instalación de estacas en taludes para el establecimiento de pasto estrella para evitar introducción de semillas. 5) Colocación de cubierta plástica impermeable sobre la arcilla compactada para formación de lago artificial. 6) Construcción de terrazas en los taludes de 21 grados. Fotografías de Fragoso y Rojas 2012.

El INECOL se vinculó al proyecto mediante un convenio de colaboración, para realizar apoyo técnico en las actividades de la valoración y monitoreo de la intervención. Durante al menos los primeros 4 años del convenio entre el INECOL y *Apasco* planta Orizaba, se les dio asesoría técnica sobre los aspectos ecológicos a considerar en los trabajos de rehabilitación ecológica (Márquez-Huitzil, com. pers. 2020). Desde 1999 el responsable técnico del INECOL y coordinador del proyecto el M. en C. Roberto Márquez-Huitzil recomendó el reemplazo del pasto exótico y las casuarinas por especies nativas, debido a que, si bien aportan materia orgánica, ésta resultó antagonista para la macrofauna, lo cual se confirmó a través de un análisis de la macrofauna, la mesofauna, la materia orgánica y nitrógeno (Fragoso y Rojas, 2012).

5.4.5. Discusión de los proyectos de rehabilitación y restauración ecológica de bosques.

Para México, debido a su alta diversidad biológica, la restauración ecológica suele ser la más recomendada, ya que busca recuperar la estructura, incluyendo la biodiversidad, y el funcionamiento original de los ecosistemas (INECC, 2013). Sin embargo, debido a que los ecosistemas mexicanos en muchos casos son parte de terrenos privados o comunales, esto no siempre es posible.

Como se mencionó, existen diferentes enfoques en la recuperación de ambientes degradados (Figura 2.2). Sin embargo, en muchos de los trabajos se utilizan como sinónimos términos de rehabilitación, restauración ecológica e incluso en algunos casos de reclamación. Esto representa un problema, debido si bien existen una vinculación en los proyectos con el sector académico, no se está explicando con claridad la información técnica relacionada con los proyectos, o que las intervenciones no se tienen objetivos claros más allá de la recuperación de la cobertura vegetal con énfasis en la reforestación, actividad dominante en casi en todos los proyectos encontrados (Figura 5.4 y 5.9).

Una dificultad conocida de los programas y proyectos de restauración ecológica es determinar con precisión en qué momento se considera exitoso (Tavarez, 2010; Wortley *et al.*, 2013). En los proyectos revisados el objetivo principal de la intervención era evitar la erosión causada por la pérdida de vegetación, y recuperar las especies nativas de la zona, por lo que la supervivencia de las especies reforestadas se tomó como medición del éxito de la intervención. Si se toman estos objetivos en consideración más que el término utilizado en los proyectos se entiende que estas intervenciones fueron rehabilitaciones.

Las intervenciones también pueden entenderse o trabajarse a manera de gradiente. Por ejemplo, en el proyecto de Holcim, una vez lograda la recuperación de la cubierta vegetal se procedió a eliminar las especies exóticas utilizadas y realizar plantaciones de especies nativas. En este sentido y como lo menciona Mendoza-Hernández *et al.* (2013) una vez lograda una rehabilitación de la zona intervenida se pueden realizar actividades asociadas a la restauración ecológica, entendiendo esto como un gradiente o niveles de intervención.

En los tres proyectos (Taray, Holcim y Las Cañadas) se realizó un monitoreo para valorar el éxito de la intervención. Entendiendo el monitoreo como el seguimiento y evaluación continuos de los cambios que experimenta el ecosistema, bajo los diferentes tratamientos de restauración aplicados (Ríos, 2011). Sin embargo, los monitoreos tienen una larga duración y suelen tener costos continuos que deben de cubrirse después de la intervención y que en casos no se suelen tomar en cuenta. Por esto, los proyectos descritos realizan actividades para generar recursos que financien el seguimiento. Estas actividades van desde vinculaciones académicas, (Tavarez, 2010; Fragoso y Rojas, 2012), apoyo por parte de fundaciones, la impartición de talleres de capacitación y otras actividades productivas (AELC A.C. 2012; San Isidro 2019).

5.5. Acciones de rehabilitación y restauración ecológica de bosques.

La principal causa de degradación a nivel mundial es el cambio de uso de suelo (Holl y Aide, 2011). A través de diversas actividades antropogénicas se pierde la cobertura vegetal, lo cual lleva a la erosión del suelo, causada por la lluvia y acentuada por las pendientes donde usualmente se encuentran las áreas boscosas (Nieves y Sorani, 1995).

La erosión lleva a la formación de cárcavas, que dificultan las labores de reforestaciones u otras acciones encaminadas a la rehabilitación y restauración ecológica. Lo que explica que la mayoría de las actividades y prácticas de rehabilitación y restauración ecológica en bosques se enfocan a la protección, conservación y restauración del suelo. Enríquez y Cremona (2018) mencionan que el suelo es la base de un proyecto de rehabilitación y restauración ecológica. Entre las prácticas de conservación de suelos más encontradas en los artículos y proyectos de rehabilitación más utilizadas fueron las zanjas y bordos. Aunque Cotler *et al.* (2015) ha reportado que las zanjas y bordos tienen un impacto negativo, provocando la pérdida del suelo y reteniendo una cantidad mínima de escurrimiento.

Las acciones de rehabilitación encontradas en los proyectos revisados fueron las siguientes:

Zanjas y bordos

Esta práctica se refiere a la construcción de un conjunto de zanjas en las curvas de nivel, colocando el producto de la excavación aguas abajo de la zanja, formando un bordo (Figura 17) (LaFevor, 2014). Las zanjas se construyen con diques divisores para seccionar el agua almacenada. Se recomienda que se realice en terrenos con pendientes menores a 14 grados. Se utilizan para combatir la erosión laminar y captar la mayor cantidad de escurrimientos (Cardoza, 2013; Cuevas *et al.*, 2015).

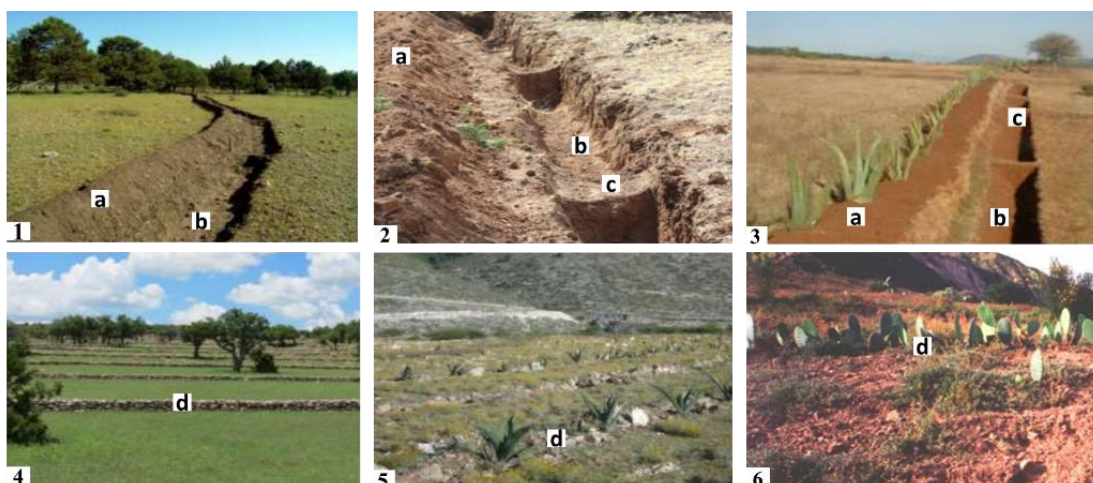


Figura 5.13. Acciones de restauración de suelos colocadas en curvas de nivel. 1) Zanja y ladera continua. 2) Zanja y ladera con diques para separar el agua en la zanja. 3) Zanja y ladera acompañada de una barrera viva de *Aloe* spp. 4) Barrera en curva de nivel compuesta de rocas de la zona. 5) Barrera de piedra intercalada con plantas del género *Agave*. 6) Barrera viva en curvas de nivel compuesta de *Opuntia ficus-indica*. En las fotografías se indican algunas partes de las estructuras: a) bordo, b) zanja, c) divisores de la zanja, y d) barreras en curvas de nivel. Fotografías de Goitia 2008, Cardoza 2013, Cuevas *et al.*, 2015.

Barreras en curvas de nivel

Se construyen mediante el acomodo de material en las curvas de nivel, esto con la intención de retener el suelo y disminuir la velocidad de los escurrimientos, y se aplica en suelos desprovistos de vegetación, con poca profundidad (Figura 17) (Cuevas *et al.*, 2015). Estas barreras se pueden conformar de rocas de la misma región, de material vegetal muerto producto de aclareos y/o podas, o de material incendiado. Se recomienda utilizar el material al que se tenga acceso en la zona para evitar costos.

En las barreras se pueden realizar plantaciones de especies nativas de la zona de manera continua en línea, o alternarse con otros materiales (Goitia, 2008). Algunas de las plantas recomendadas son agaves u opuntias. Se debe dar mantenimiento a estos surcos reemplazando el material faltante y plantas muertas, así como colocar presas en caso de que la barrera cruce cárcavas. Adicionalmente, las plantaciones pueden generar ingresos familiares en el caso de la producción de tunas o agaves (Cardoza, 2013 y LaFevor, 2014).

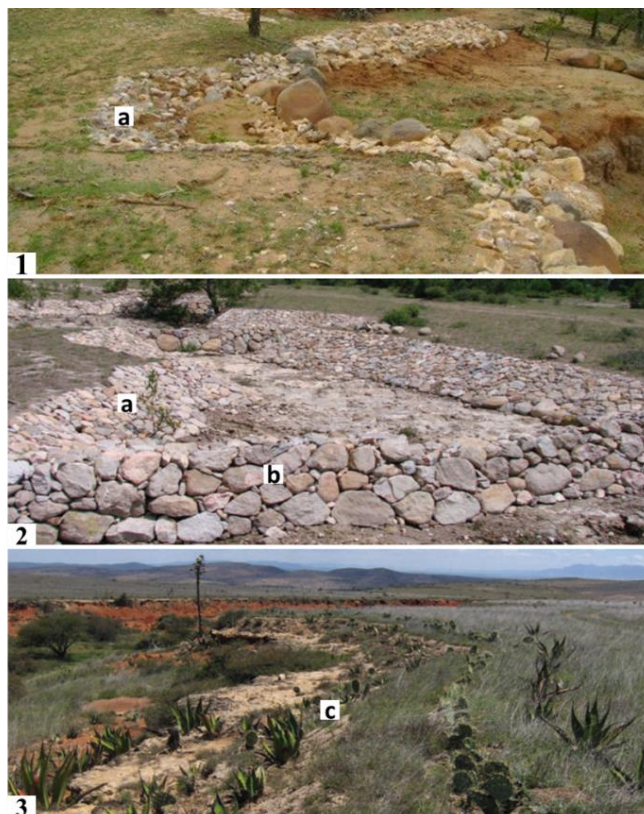


Figura 5.14. Acciones de estabilización de taludes. 1) Cabeceo de cárcavas con rocas de la zona. 2) Cabeceo de cárcavas asociado a una presa de rocas. 3) Estabilización de taludes mediante tres hileras de barreras vivas, en este caso se plantaron especies de los géneros *Agave* y *Opuntia*. En las fotografías se señala a) el talud que está siendo intervenido, b) presa unida al cabeceo de talud, c) plantaciones en talud. Fotografías de González y Descroix 2010, Cuevas *et al.*, 2015.

Estabilización de taludes

Cuevas *et al.* (2015) describe la estabilización de taludes como recubrimiento del talud o de una pared de una cárcava, con material inerte como piedras o material vegetal, con la finalidad de disminuir la inclinación y con ello reducir la velocidad de escorrentía y la erosión del suelo (Figura 18). Esta acción suele utilizarse en pendientes de menos de 45 grados, en

caso de que sea mayor a 60 grados, es recomendado despaldar la cárcava. Esta acción también se puede acompañar con plantaciones de agave o nopal a las orillas de las cárcavas, de manera que se evite el paso de ganado y con ello evitar el pisoteo del talud. También se pueden agregar árboles como el ahuejote (*Salix bonplandiana*), el izote (*Yucca filifera*), el cocuite (*Gliricidia sepium*) o el colorín (*Erythrina spp.*).

Presas

Esta acción consiste en la construcción de diques en el fondo de las cárcavas, con el objetivo reducir la escorrentía y capturar el azolve en el fondo de la cárcava, disminuyendo su profundidad (Figura 19). La presa se puede conformar de mampostería, ramas, gaviones, piedras, morillos, llantas o troncos, e incluso incorporar mallas de alambre o electrosoldadas, aunque se recomienda utilizar los materiales a los que se tenga acceso en la zona para disminuir costos. Se suele dar mantenimiento cada 3 a 4 años (CONAFOR, 2009; Pathak *et al.*, 2005).

Es recomendado colocar diversas presas a través de la cárcava y espaciarlas utilizando el criterio cabeza-pie, el cual consiste en que la altura del vertedor de la presa aguas abajo debe coincidir con el pie de la presa aguas arriba. La construcción de las presas se debe iniciar de las zonas más altas del terreno hacia abajo (Cuevas *et al.*, 2015; Tavarez, 2010).



Figura 5.15. Tipos de presas para retención de suelo. 1) Presas de rocas de la zona. 2) Presas de material vegetal muerto. 3) Presa de madera resultado de aclareo. 4) Presa de maya de alambre soldada rellena de rocas. 5) Presa de mampostería 6) Presa de llantas. En las fotografías se señalan: a) presa, b) vertedero. Fotografías de Cuevas *et al.*, 2015.

Reforestación con especies nodrizas

Esta práctica consiste en la siembra o plantación de especies arbustivas como leguminosas y plantas pioneras, previo a la plantación de las especies arbóreas en una reforestación (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2013). Las plantas nodrizas se dejan crecer por algunos meses y al realizar la plantación de las especies arbóreas se construyen cepas más pequeñas de lo normal, para no lastimar las raíces de las plantas nodrizas. Como plantas nodrizas se han utilizados plantas de los géneros *Lupinus* y *Tithonia* (Blanco-García *et al.*, 2011 y Encino-Ruiz *et al.*, 2013)

Acolchonados o Mulch

Esta técnica consiste en cubrir el suelo de un cultivo o plantación forestal con materiales como: corteza de árbol, astillas de pino, grava, polietileno, paja, entre otros. Lo que, reduce la erosión, el crecimiento de malezas, disminuye las fluctuaciones de temperatura y la pérdida de humedad. Si los materiales son orgánicos pueden liberar nutrientes al suelo (Blanco-García *et al.*, 2011)

Cercas

Esta práctica consiste en la implementación de cercas de alambre de púas, lienzos o muros de piedra de al menos 1.5 m para evitar la entrada de ganado a los suelos en rehabilitación, previniendo la depredación de plantas de interés y la compactación del suelo (Cuevas *et al.*, 2015).

Cortinas rompevientos

Esta técnica se refiere a la plantación de árboles y arbustos en hilera, de forma perpendicular a la dirección del viento, disminuyendo la erosión eólica. Este sistema se conforma de cuatro a diez hileras de árboles y arbustos plantados de manera trapezoidal y con una separación entre ellos de menos de 3 metros (Cuevas *et al.*, 2015).

Las especies que se suele recomendar para estos sistemas son: diversas especies nativas de la zona, con un sistema radical vigoroso con desarrollo vertical y horizontal, de preferencia perennifolias y que presenten crecimiento rápido. Para bosques se han utilizado los siguientes géneros: *Acacia*, *Bursera*, *Cupressus*, *Enterolobium*, *Fraxinus*, *Guazuma*, *Leucaena*, *Pinus*, *Prosopis*, *Prunus serotina*, *Quercus* y *Salix*. También se pueden obtener beneficios monetarios de estos sistemas (López y Loera 2017).

Terrazas forestales o individuales

Consisten en un terraplén circular u ovalado que se construye a nivel y con una pendiente interna, dentro de esta se realiza la plantación de plántulas. Esta acción tiene la finalidad de proporcionar mejores condiciones edáficas a las plantas que van a establecerse. Controlando la erosión y propiciando mayor infiltración se mejora el aprovechamiento de fertilizantes o abonos orgánicos, así como la conservación de humedad. Las terrazas se construyen sobre las curvas de nivel, colocando estacas con la separación y densidad entre ellas que tendrán los árboles (Cuevas *et al.*, 2015).

Se recomienda que, al realizar la cepa, se mezcle la tierra con composta, por terraza, así como dar mantenimiento cada cuatro meses, reconstruyendo las terrazas mediante el aporcado del talud y su estabilización con vegetación herbácea. (Tavarez, 2010).

5.6. Cartera de proyectos

A partir de las acciones de restauración encontradas y de los proyectos de rehabilitación y restauración se diseñó una cartera de proyectos de rehabilitación ecológica, para ser presentada a la empresa *Basaltex*. Los proyectos tienen como objetivo principal el detener la erosión del suelo a través de la introducción de especies vegetales.

La FAO ha remarcado la necesidad de generar carteras de proyectos financiables que mejoren el acercamiento del sector industrial con la rehabilitación y restauración ecológica (Sabogal *et al.*, 2015); adicionalmente, a algunas instituciones mexicanas han presentado sus propuestas como cartera de proyectos para promover la inversión de instituciones privadas (Brand, 2011 y CONAFOR, 2011).

Para poder desarrollar proyectos de rehabilitación ecológica en los terrenos de *Basaltex* se requirió determinar el estado de degradación de los terrenos. Actualmente la tesista Lizbeth Pérez está haciendo análisis sobre la estructura de la vegetación del sitio y el grado de degradación (Aún sin publicar). En este documento se clasificó la vegetación en distintas zonas: a) Arbórea nativa, zonas que presentaban un estrato arbóreo representativo de la región, con especies como *Juniperus deppeana* y especies de *Quercus* y *Pinus*, b) arbustivas cerradas, zonas con vegetación secundaria arbustiva c) terrenos erosionados, en estas áreas se presenta erosión causada por actividad agrícola o ganadera, por ello hay poca vegetación y principalmente herbácea y d) áreas con cárcavas, zonas con perturbación notable con vegetación. En este documento también se determinaron las especies estructuralmente importantes, las cuales fueron explicadas en la cartera de proyectos

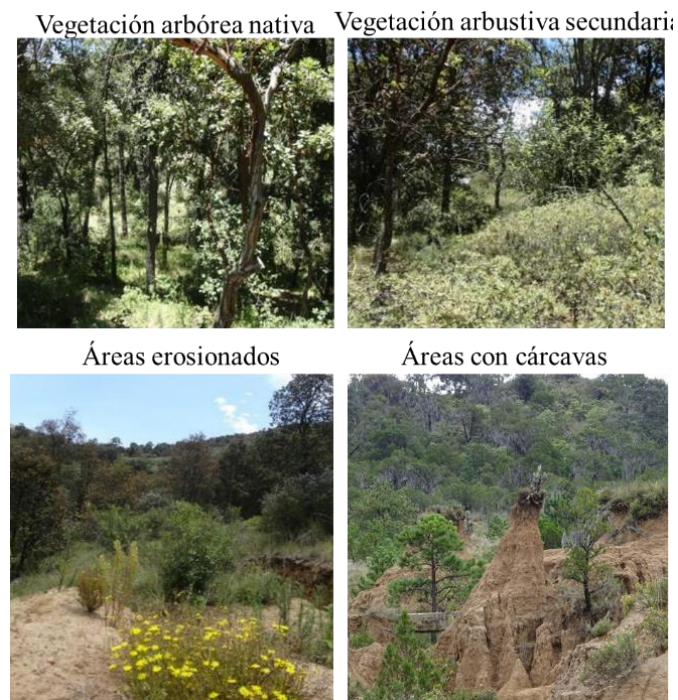




Figura 5.16. Clasificación de zonas del proyecto PN218.

Se diseñaron dos proyectos con el objetivo de promover y acelerar la sucesión ecológica mediante la introducción de especies nativas y arbóreas. Esto de manera de que se recupere la función del ecosistema parcialmente. La sucesión ecológica se define como un proceso no estacional, direccional y que presenta patrones contenidos de colonización y extinción de poblaciones sobre sitios recientemente expuestos a disturbios (Guerra, 2012), que generalmente toma varios cientos de años en seguir su curso (Begon *et al.*, 2006).

En la cartera se desglosan dos proyectos con: a) costo estimado de la intervención, b) instituciones propuestas para participar, c) zonas de intervención propuestas, tomadas de la clasificación realizada por el equipo de vegetación y d) campos del conocimiento requeridos para los académicos que participen (Tabla 5.10).

Tabla 5.10. Cartera de proyectos. Elaboración propia.

Título	Campo del conocimiento requerido	Zonas de intervención	Instituciones participantes
Proyecto de intervención de cárcavas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Edafología 2. Vegetación 3. Rehabilitación ecológica 4. Gestión del conocimiento 	Cárcavas	
Rehabilitación de terrenos erosionados	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vegetación 2. Manejo de viveros 3. Rehabilitación ecológica 4. Gestión del conocimiento 	Cultivos abandonados Terrenos erosionados	

5.6.1. Proyecto de intervención de cárcavas.

En este proyecto, el objetivo principal es la desaceleración de pérdida de material en las zonas de cárcavas, así como la introducción de especies pioneras las cárcavas (plantas que suelen colonizar primero estos sitios). En estas zonas la principal causa de degradación es la erosión laminar, causada por la falta de cubierta vegetal que prevenga la pérdida de suelo. Dentro del proyecto se realizarán los cinco tipos de actividades propuestas por la CONAFOR (Tabla 2.1). Como actividades de rehabilitación de suelos se plantea la construcción de barreras en curvas de nivel utilizando rocas y materiales de la zona.

En el proyecto de intervención de cárcavas, el principal objetivo es detener la pérdida de material y crecimiento de estas. En este sentido, se plantea promover la sucesión ecológica y recuperación de suelo y vegetación. En este proyecto no se plantea la introducción de especies arbóreas debido a la poca supervivencia de éstas en sitios donde la roca madre se encuentra expuesta (Gómez-Romero *et al.*, 2013). En este sentido, este proyecto es una intervención del tipo conocido como reclamación.

Para la estabilización de los taludes de las cárcavas se realizará una plantación de plantas nativas ya encontradas en la zona. Se utilizará *Agave salmiana* y opuntias de la región, realizando la plantación de la zona más alta de los taludes hasta la zona más baja de estos. Estas plantas han sido utilizadas en diversos trabajos de rehabilitación (Vázquez-Alvarado *et al.*, 2011, Arias-Medellín, 2016; García, 2016), debido a su resistencia ambientes de sequía extrema y suelos degradados (Vázquez-Alvarado *et al.*, 2010; López *et al.*, 2011; Torres, 2020). Además, los agaves han sido utilizados en cárcavas y pendientes para ayudar en la retención del suelo (Corrales, 2013; CONAFOR, 2015).

En esta zona, también se encontró la leguminosa perenne *Lupinus bilineatus*, la cual es nativa de la región y podría usarse dentro de esta intervención. Diversos trabajos han encontrado que especies de este género han sido utilizadas como plantas nodrizas debido a su capacidad de tolerancia a suelos degradados y a que fijan nitrógeno (Reyes *et al.*, 2009; Díaz-rodríguez *et al.*, 2013). Además, Gómez-Romero (*et al.*, 2013) y Ceccon (*et al.*, 2016) han explorado el uso de del género *Lupinus* para asistir en el establecimiento de otras especies en cárcavas, funcionando como especies pioneras. La plantación de esta especie nos podría permitir la estabilización de las cárcavas para futuras intervenciones.

Como actividad de protección se colocarán cercas para ganado alrededor del área elegida, de manera que se elimine la entrada a personas o animales que puedan dañar las intervenciones. Como actividades de mantenimiento, se agrega materia orgánica como tierra negra cuando se introduzcan plantas, para facilitar su establecimiento en las curvas de nivel. También se realizará un reemplazo de las plantas muertas detectadas durante los monitoreos posteriores, que se realizarán al menos tres veces después del término de las actividades del proyecto.

En este proyecto se consideran cuatro áreas del conocimiento relevantes para su éxito. Las áreas son: a) Vegetación, b) Edafología, c) rehabilitación ecológica y d) gestión del conocimiento. Para cubrir estas áreas, se considera al Jardín Botánico del Instituto de Biología para realizar las actividades relacionadas con la vegetación. El Colegio de Postgraduados para el manejo de vivero, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para la rehabilitación ecológica. Mientras la Universidad del Estado de México realizará las actividades relacionadas con la recuperación y conservación de suelos, y la Facultad de Ciencias de la UNAM para la gestión del conocimiento generado.

5.6.2. Resumen ejecutivo de rehabilitación de terrenos erosionados

En este proyecto se plantea realizar rehabilitación ecológica planeada para comenzar con una hectárea, y con ello obtener una evaluación preliminar para que pueda ser escalado posteriormente. En el proyecto se elegirá una hectárea de las zonas de los terrenos erosionados, zonas donde no exista un dosel arbóreo. El proyecto se comenzaría en cuanto se aseguren fondos, acoplados a una coinversión de la empresa *Basaltex*.

La primera actividad será determinar cauces hídricos que pueden estimular la erosión de la zona, y allí se construirán presas de rocas u otros elementos de la misma región, de manera que se ahorren costos.

En esta intervención solo se plantea el uso de especies nativas seleccionadas previamente por el equipo de vegetación como estructuralmente importantes. Se tomó esta decisión debido a que diversos trabajos han encontrado efectos negativos que las plantas exóticas pueden proveer al ambiente (Arriaga *et al.*, 1994; Guerra, 2012; Vázquez-Yanes y Batis-Muñoz, 1996). Por esto, se utilizaron especies nativas para la reforestación se eligieron cinco especies recomendadas por la tesista Lizbeth Pérez (manuscrito) como estructuralmente importantes: a) *Quercus rugosa*, b) *Juniperus deppeana*, c) *Arbutus xalapensis*, d) *Yucca filifera* y e) *Quercus crassipes*. Además, se agregará la especie *Agave salmiana*, como planta productiva no maderable en el proyecto (Figura 5.16).

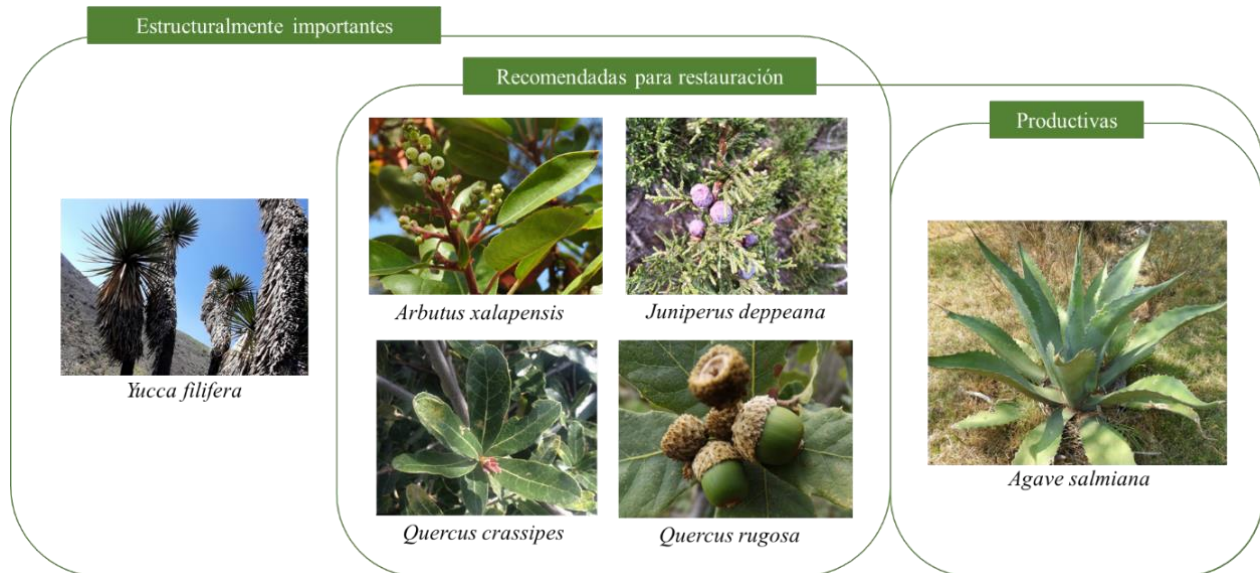


Figura 5.16. Especies seleccionadas para el proyecto. Con información de Venegas 2016 y fotografías de Naturalista.

Se realizó una búsqueda de estas plantas para determinar su valor en la rehabilitación. Se encontró que las especies a) *Arbutus xalapensis* b) *Juniperus deppeana* c) *Quercus crassipes* y d) *Quercus rugosa* son plantas comúnmente utilizadas en la restauración (Tabla 11) (CONABIO, 2009; García, 2016). Se ha reportado que la especie *Yucca filifera* se puede utilizar en proyectos de restauración para bloquear arroyos de agua pequeños (CONABIO, 2009), aunque no se encontró una explicación técnica de los beneficios de realizarlo de esa manera.

Tabla 5.11. Recomendaciones de colecta de las especies en el proyecto. Con información de CONABIO 2009, García 2016.

Especie	Relación con la rehabilitación	Recomendación de plantación
<i>Agave salmiana</i>	Estabilizadores de suelo Resiste a suelos compactados o con poca fertilidad	Plantarse en las curvas de nivel, de la parte más alta de la pendiente a la más baja.
<i>Quercus rugosa</i>	Formadores de suelo Promueven el control de la erosión Contribuye a la infiltración. Alta capacidad de producir rebrotes	Implementar acolchado o agregar hojarasca. Selección de semillas grandes Siembra directa Inocular con suelo de bosque conservado para promover la presencia de endo y ectomicorrizas
<i>Juniperus deppeana</i>	Recuperación de la fertilidad Resistente a sequías y suelos compactos Promueve el control de la erosión.	Trasplantadas con al menos 86 días de haber germinado Raíces con al menos 50% del volumen total del envase Altura total de la plántula menor a 30 cm
<i>Arbutus xalapensis</i>	Provee de alimento a especies de aves de la zona Requiere mínimo riego	Siembra directa
<i>Yucca filifera</i>	Contener arroyos pequeños.	No requiere fertilización ni riego
<i>Quercus crassipes</i>	Promueven el control de la erosión Contribuye a la infiltración.	Implementar acolchado o agregar hojarasca. Inocular con suelo de bosque conservado para promover la presencia de endo y ectomicorrizas

Debido a que en la zona de la empresa aún hay bosque conservado, se recomienda realizar colecta de germoplasma de la zona, así como comprar plantas de Probosque de Texcoco (PROBOSQUE, 2019a y 2019b). A excepción de *Agave salmiana*, las demás especies a utilizar en la reforestación presentan su época de colecta entre septiembre a diciembre (Figura 16). Por otro lado, *Agave salmiana* produce semillas y plántulas todo el año, aunque se recomienda recolectar plántulas de al menos 25 cm de alto, debido a que presentan mejor supervivencia al trasplante.

En la reforestación se planean seguir algunas recomendaciones encontradas de las especies seleccionadas y ser realizada en época de lluvias. Para la siembra de las plántulas de agave primero se diseñarán las curvas de nivel. La plantación de agave se sembrará en forma tresbolillo (Nieto *et al.*, 2013) siguiendo esta línea, colocando 5 líneas de plantación en cada hectárea, conforme lo permita el terreno e iniciando de la parte superior de la pendiente, hacia la inferior. La reforestación con las especies *Quercus rugosa*, *Juniperus deppeana*, *Arbutus xalapensis* y *Quercus crassipes* se realizará en forma de cortina rompevientos de forma paralela a la plantación de agave y acomodada también forma de tresbolillo, pero intercalando cada especie a lo largo de la línea de plantación y con al menos tres metros de separación entre cada cepa.

Tabla 5.12. Recomendaciones de rehabilitación de las especies en el proyecto. Con información de CONAFOR 2010, García 2016.

Especie	Método de propagación	Época de colecta	Recomendaciones de colecta
<i>Agave salmiana</i>	semillas y plántulas	Todo el año	Frutos maduros o plántulas de talla de al menos 25 cm de alto
<i>Quercus rugosa</i>	bellotas	Diciembre - febrero	Colectar directamente de las ramas
<i>Juniperus deppeana</i>	retoños (tocón) o semilla	Agosto – septiembre	Los frutos y semillas se colectan directamente del árbol o del suelo
<i>Arbutus xalapensis</i>	semilla o estacas	Agosto – octubre	Frutos jóvenes los cuales se secan en laboratorio
<i>Yucca filifera</i>	semillas	Octubre	Se colectan dátiles de color café-amarillento, estos se pueden secar al sol por cuatro días, después se almacenan en cámaras frías
<i>Quercus crassipes</i>	Semillas	Noviembre – enero	-

Las cepas generadas se estimularán mediante la aplicación de composta, se re-cubrirá la base de las plantas con hojarasca de la zona y acomodarán rocas en la base de las plantas para evitar que la corriente de la lluvia las lastime. También se realizarán acciones de mantenimiento de poda y deshierbe durante los primeros cuatro años de la plantación, siguiendo las recomendaciones de CONAFOR 2011 para proyectos de reforestación.

El cronograma del proyecto contempla dos años de actividades y cuatro de monitoreo. La primera actividad del proyecto contempla la colecta de germoplasma, el diseño y establecimiento de un vivero forestal, actividades que comenzarán desde el primer mes (Tabla 18). A continuación, se realizará el diseño de la plantación, aunque esta se efectuará hasta la época de lluvias del segundo año. Durante este periodo se realizará la documentación de los avances del proyecto y se enviará una solicitud de fondos para dar continuidad a las actividades de monitoreo o tomar la decisión de escalar el proyecto.

Tabla 5.13. Cronograma del proyecto. Elaboración propia.

Actividad/ Semestre	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5		Año 6	
	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	
Colecta de germoplasma	√											
Diseño de vivero	√	√										
Establecimiento de vivero	√	√	√									
Seguimiento de vivero		√	√	√		√		√			√	
Diseño de plantación			√									
Puesta en marcha de plantación			√	√								
Búsqueda de financiamiento para actividades posteriores			√	√								
Seguimiento de plantación						√		√			√	

En este proyecto se consideran cuatro áreas del conocimiento relevantes para su éxito. Las áreas son: a) Vegetación, b) manejo de vivero, c) rehabilitación ecológica y d) gestión del conocimiento. Para cubrir estas áreas, se considera al Jardín Botánico del Instituto de Biología para realizar las actividades relacionadas con la vegetación, al Colegio de Postgraduados para el manejo de vivero, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para la rehabilitación ecológica y la Facultad de Ciencias de la UNAM para la gestión del conocimiento generado.

5.6.4. Sostenibilidad económica de los proyectos

En ambos proyectos se integró los agaves debido a los beneficios en términos de rehabilitación y económicos que está genera (Suárez *et al.*, 2016). Otra ventaja de la integración de agave en esta propuesta es la posibilidad de generar un beneficio económico al proyecto. En el estado de México, los agaves tienen una amplia utilización, desde la venta directa de las pencas, el mixiote, el aguamiel y el pulque hasta su procesamiento biotecnológico para diversos productos (Castañeda-Nava *et al.*, 2019; Suárez *et al.*, 2016; Rivas y González, 2016; Ramírez-Manzano *et al.*, 2020). Esta especie es nativa de la región (Granados, 1993) y su producción en zonas forestales es común.

5.6.5. Fuentes de financiamiento

Para conseguir el financiamiento inicial se considera solicitar a la empresa *Basaltex* una inversión que será acompañada de otras fuentes de financiamiento. Entre las fuentes de financiamiento se encontraron 8 instituciones internacionales que han apoyado proyectos similares (Tabla 5.17). Estas instituciones solicitan una coinversión a los proyectos proponentes y en su mayoría apoyan con por lo menos 1 millón de pesos a sus proyectos y con máximos variables.

Tabla 5.17. Agencias de financiamiento internacional. *Según proyectos realizados previamente en México, máximo monto de apoyo. Elaboración propia.

Convocatoria	Fecha de apertura	Monto máximo (pesos)	Ejes de interés	Limitantes	Dirección electrónica
	Todo el año	50% del proyecto	Acceso a agua potable Prácticas agro-ecológicas Sanidad y manejo de desechos	Requieren otra institución fondeadora Requiere coinversión	https://bit.ly/2FTuNHP
	Todo el año	1 a 6 millones	Conservación de la biodiversidad Desarrollo sostenible	Buscan resultados cuantificables en el ambiente intervenido	https://bit.ly/2IZToXb
	Todo el año	Máximo 22 millones *	Empoderando a las mujeres Protección del medio ambiente Mejora de las comunidades.	-	https://bit.ly/3d4ypsh
	Todo el año	Máximo 8 millones	Agricultura y seguridad alimentaria Gestión de recursos naturales	-	https://bit.ly/2vB2vTm
	Todo el año	Hasta 600 millones*	Cambio climático Agroforestería Acceso al mercado	Requiere Coinversión Requiere vinculación gubernamental	https://bit.ly/2WjEAm8
	Todo el año	Máximo 27 millones *	Manejo de recursos naturales Cambio climático	-	https://bit.ly/3bfezsL
	Por convocatoria	Máximo 25 millones*	Cambio climático Conservación del medio ambiente Restauración del hábitat	Convocatorias sectoriales	https://bit.ly/3a1wsuS
	Todo el año	No sé especifica	Propagación de árboles en la <i>red list</i> Conservación <i>in situ</i>	Plantas en la <i>red list</i> Solo para conservación in situ Requieren otra institución fondeadora	https://bit.ly/2vzc4ID

La asociación con organizaciones de este tipo también genera el beneficio de una vinculación técnica mejor. Organizaciones como las Fundaciones Franklina, Suez, y la Hewlett no solo se vinculan al proyecto a través de la aportación de recursos financieros, sino cuentan con expertos en el área que apoyan conocimiento técnico los cuales también promueven que los proyectos contengan resultados cuantificables y estructurados.

6. CONCLUSIONES

1. La herramienta de vigilancia tecnológica encontró que las publicaciones del área de investigación de la rehabilitación y restauración ecológica de bosques se encuentran en aumento, a nivel internacional se han enfocado en las temáticas orientadas a la recuperación de los servicios ecosistémicos, mientras en México el enfoque se ha mantenido en la ecología de la restauración, la parte teórica que guía a las actividades de rehabilitación y restauración. De igual manera, los desarrollos tecnológicos publicados en patentes a nivel internacional relacionados con la rehabilitación y restauración ecológica de bosques se encuentran en aumento. A nivel nacional solo existe una patente vigente, lo cual puede indicar que las tecnologías en México relacionadas con esta área no han podido encontrar un mercado o que las instituciones de aprovechamiento de los recursos forestales no cuentan con las capacidades para el desarrollo y protección de tecnología relacionada con la recuperación del bosque.
2. En el análisis comparativo se encontró que los proyectos de rehabilitación y restauración ecológica se centran en intervenciones del suelo de manera que se evite su pérdida y la formación de cárcavas. También se observó que las intervenciones se manejan como un gradiente, primero enfocándose en la recuperación de la cubierta vegetal, como una rehabilitación y después en la diversidad y eliminación de especies exóticas, tendiendo a una restauración. Otra cualidad de los proyectos fue que suelen acoplar distintos tipos de actividades productivas, de manera que se vuelvan sostenibles en términos económicos y se asegure su continuidad.
3. Se diseñó una cartera de proyectos tomando en cuenta las intervenciones y acciones de rehabilitación detectadas. En esta cartera se presentan dos proyectos, uno de intervención de las cárcavas y otro de terrenos erosionados. En ellos se eligieron las especies con potencial de rehabilitación *Arbutus xalapensis*, *Juniperus deppeana*, *Quercus crassipes* y *Quercus rugosa*, así como *Agave salmiana* como especie productiva que podría ayudar a sostener económicamente a los proyectos. También se encontraron fundaciones internacionales que podrían apoyar proyectos de rehabilitación ecológica de bosques como los presentados en la cartera de proyectos.

4. En general a través de la aplicación de herramientas de gestión del conocimiento en el campo de la rehabilitación ecológica identificamos tendencias, expertos, acciones y proyectos de interés. Estos resultados pueden ser transferidos a expertos del área para asistir en el diseño de futuros proyectos, también se podría transferir a la industria relacionada con los bosques de manera que se estimule la vinculación de la industria con la academia.

1.1. Recomendaciones

- La elección del tipo de intervención dependerá del estado de la zona degradada. Si la vegetación nativa se encuentra presente cerca de la zona degradada se puede plantear un esquema de rehabilitación pasiva siempre y cuando el dueño del terreno este de acuerdo. Si no se cuenta con vegetación nativa cercana a la zona a intervenir se debe de realizar rehabilitación activa en el sitio.
- Priorizar actividades de protección o recuperación de suelo forestal antes de realizar intervenciones de reforestación, trabajando a manera de gradiente. Primero intentando recuperar el suelo y su cubierta vegetal, posteriormente se puede trabajar en la recuperación de especies nativas.
- Incorporar actividades productivas en los proyectos de rehabilitación y restauración ecológica de manera que se aseguren fondos para financiar las actividades de rehabilitación. Así como buscar fundaciones o instituciones de financiamiento que puedan integrarse al proyecto de manera técnica y económica.
- En el diseño de proyectos a futuro y la presentación de sus resultados es importante reportar los costos exactos de intervención. Esto generaría información vital para el diseño de proyectos, de manera que se pueda valorar el rendimiento de costo/beneficio de las actividades realizadas en la rehabilitación forestal.
- Buscar vinculación de academia, gobierno y empresas. A través de la vinculación con la industria relacionada con la explotación forestal se puede tener acceso a sitios degradados con características similares al sitio degradado de la empresa *Basaltex*.
- Una manera de dar continuidad a esta intervención sería generar un directorio de empresas mineras similares a *Basaltex* en el estado de México, de manera que se mapee que empresas estarían interesadas en participar en un proyecto de rehabilitación de sus terrenos.

7. REFERENCIAS

7.1. Literatura citada

- AELC (Agroecología y Ecoturismo Las Cañadas A.C.) (2012) Restauración del bosque de niebla. Recuperado de: <https://bosquedeniebla.com.mx/que-hacemos/bosque-de-niebla/restauracion-del-bosque-de-niebla/>
- Aguirre-Calderón, O. (2015). Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y bosques*, 21, 17-28.
- Andrade, J. M., Plazas, E. R., & Quintero, A. (2017). Vigilancia tecnológica del sector agroindustrial. *Entornos*, 30(2), 23-35.
- Arias-Medellín, L. A., Bonfil, C., & Valverde, T. (2016). Demographic analysis of *Agave angustifolia* (Agavaceae) with an emphasis on ecological restoration. *Botanical Sciences*, 94(3), 513-530.
- Aronson, J., & Alexander, S. (2013). Ecosystem restoration is now a global priority: time to roll up our sleeves. *Restoration Ecology*, 21(3), 293-296.
- Arriaga, V., Vargas-Mena, A., & Cervantes, V. (1994). Manual de reforestación con especies nativas. Ciudad de México, México: *Universidad Nacional Autónoma de México*.
- Aznar-Sánchez, J. A., Belmonte-Ureña, L. J., López-Serrano, M. J., & Velasco-Muñoz, J. F. (2018). Forest ecosystem services: An analysis of worldwide research. *Forests*, 9(8), 453.
- Bannister, J. R., Donoso, P. J., & Mujica, R. (2016). La silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 229-235.
- Barrera-Cataño, J. I., & Valdés-López, C. (2007). Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarum*, 12(2), 11-24.
- Barrera, J., & Ríos, H. (2002) Acercamiento a la ecología de la restauración. *Pérez-Arbelaezia* (13): 33-46.
- Begon, M., Townsend, C., & Harper, J. (2006) Ecology: from individuals to ecosystems.. Malden, MA: *Blackwell Pub*.
- Blanco-García, A., Sáenz-Romero, C., Martorell, C., Alvarado-Sosa, P., & Lindig-Cisneros, R. (2011). Nurse-plant and mulching effects on three conifer species in a Mexican temperate forest. *Ecological Engineering*, 37(6), 994-998.
- Bradshaw, A. D. (1984). Ecological principles and land reclamation practice. *Landscape planning*, 11(1), 35-48.

- Brand D. (2011). Inversiones en los servicios ambientales de los bosques australianos. En: La venta de servicios ambientales forestales. Ciudad de México, México: SEMARNAT. México.
- Brown, S., & Lugo, A. E. (1994). Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Restoration Ecology*, 2(2), 97-111.
- Bueno, E. (2000). De la sociedad de la información a la del conocimiento y el aprendizaje. Gestión de la información en la sociedad de conocimiento y la globalización: IX Encuentro AECA: nuevas tendencias en contabilidad y administración de empresas, 25-26.
- Calderón, G., & Rzedowski, J. (2001). *Flora Fanerogámica del Valle de México*. 2a. Ed. Ciudad de México, México: Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Calva-Soto, K., & Pavón, N. P. (2018). La restauración ecológica en México: una disciplina emergente en un país deteriorado. *Madera y bosques*, 24(1).
- Cardoza R. (2013). Estado, prioridades y necesidades para el manejo sostenible del suelo en México. En el Taller de lanzamiento de la Alianza Mundial por el Suelo: hacia la prevención y restauración de suelos degradados en Centro América y el Caribe. *Taller llevado a cabo en la Habana, Cuba*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/FAOoftheUN/estado-prioridades-y-necesidades-para-el-manejo-sostenible-del-suelo-en-mxico-ramon-cardoza-vasquez-gobierno-de-la-repblica-de-mxico> .
- Cárdenas C. (2006). El benchmarking como herramienta de evaluación. *Acimed*, 14(4), 1-5.
- Cárdenas, J. (2013). La minería en México: despojo a la nación. *Cuestiones constitucionales*, (28), 35-74.
- Castañeda-Nava, J. J., Rodríguez-Domínguez, J. M., Camacho-Ruiz, R. M., Gallardo-Valdez, J., Villegas-García, E., & Gutiérrez-Mora, A. (2019). Morphological comparison among populations of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck (Asparagaceae), a species used for mezcal production in Mexico. *Flora*, 255, 18-23.
- Castells, P. E., Boch, R. M., & Jiménez, E. C. (2001). Inteligencia competitiva y transferencia de tecnologías: reflexiones para el desarrollo de la relación universidad–empresa. Recuperado de <http://www.oocities.org/es/pedrobonillo/oyc/t1/pere2.pdf> .
- CDB (Convenio sobre la Diversidad Biológica) (2010). Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 3. Montreal, Canadá: *Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica*.

- Ceccon, E., & Martínez-Garza, C. (2016). Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Morelos, México: *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*.
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. Ciudad de México, México: Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, Instituto de Biología, UNAM y Agrupación Sierra Madre.
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). *Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Ciudad de México, México: CONABIO.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) – Programa Nacional de Reforestación. (2009). Sire-Paquetes Tecnológicos. Recuperado de www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/reforestación/fichas%20tecnicas/ .
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2012). Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal 2012-2030. Com. Nacl. Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México: *Impresora Apolo*.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2016). Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. Ciudad de México, México: *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2019). Ecosistemas de México: Extensión y distribución potencial. Ciudad de México, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado de : <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado> .
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) (2009). Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores. Ciudad de México, México: *Comisión Nacional Forestal*.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) (2011). Programa de Inversión Forestal: Plan de Inversión. Ciudad de México, México: *Semarnat*. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/2641Plan%20de%20Inversi%C3%B3n%20Forestal.pdf> .
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) (2014). Acuerdo mediante el cual se expiden los costos de referencia para reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5354722&fecha=31/07/2014 .

- Cotler, H. (2003). Características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña. Sánchez, O., Vega E. Peters E. y Monroy-Vilchis. Eds. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México, 153-171. Morelos, México: *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/395/cotler.html> .
- Cotler, H., Cram, S., Trinidad, S. M., & Bunge, V. (2015). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015(88), 6-18.
- Corrales F. (2013). Recuperación de cárcavas con agave (penca azul) para la protección biológica ambiental del estadio Caypsa, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Tesis para obtener el título de Ingeniero en Medio Ambiente. Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.
- Cuevas, L., Sartorius, D., Carreón, J., Herrera, J., Olarte, J., Méndez, H., & Vázquez, R. (2015). Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de Obras y Prácticas. Quinta Edición. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Jalisco, México: *SEMARNAT*.
- Díaz-Rodríguez, B., Del-Val, E., Gómez-Romero, M., Gómez-Ruiz, P. A., & Lindig-Cisneros, R. (2013). Conditions for establishment of a key restoration species, *Lupinus elegans* Kunth, in a Mexican temperate forest. *Botanical Sciences*, 91(2), 225-232.
- Donoso, H., Promis Baeza, Á., & Soto, D. P. (2018). *Silvicultura en bosques nativos. Experiencias en silvicultura y restauración en Chile, Argentina y el oeste de Estados Unidos*. The Chile Initiative, OSU College of Forestry.
- Ehrenfeld, J.G., & Toth, L.A. (1997) Restoration ecology and the ecosystem perspective. *Restoration Ecology*, 5(4):307-317.
- Ehrenfeld, J.G. (2000) Defining the limits of restoration: the need for realistic goals. *Restoration Ecology*, 8(1):2-9
- Encino-Ruiz, L., Lindig-Cisneros, R., Gómez-Romero, M., & Blanco-García, A. (2013). Desempeño de tres especies arbóreas del bosque tropical caducifolio en un ensayo de restauración ecológica. *Botanical Sciences*, 91(1), 107-114.
- Enriquez, A. S., & Cremona, M. V. (2018). *El rol de los suelos en la restauración ecológica*. Editorial de la Universidad Nacional del Comahue.
- EPO (European Patent Office) & USPTO (United States Patent and Trademark Office) (2020) CPC scheme and CPC definitions. Recuperado de: <https://www.cooperativepatentclassification.org/cpcSchemeAndDefinitions/table>.

- Fan, B., Zhang, A., Yang, Y., Ma, Q., Li, X., & Zhao, C. (2016). Long-term effects of xerophytic shrub *Haloxylon ammodendron* plantations on soil properties and vegetation dynamics in Northwest China. *PLoS One*, 11(12).
- Fisher, B., Turner K. & Morling P. (2009) Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*: 643-653.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2010). Global Forest Resources assessment 2010: Main report. FAO. Rome: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2014). Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal. Recuperado de: <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-restoration-and-rehabilitation/basic-knowledge/es/>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2018). Global Forest Products Facts and Figures. *FAO: Forestry Department*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/ca7415en/ca7415en.pdf> .
- FHSLA (Forest History Society Library and Archives) (2018). Inventory of the Westvaco Corporation Records, 1902 – 2010. Recuperado de <https://foresthistor.org/research-explore/archives-library/fhs-archival-collections/inventory-of-the-westvaco-corporation-records/> .
- Fragoso C. y Rojas P. (2012). Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim-Aspasco en Veracruz. Veracruz, México: *Instituto de Ecología A.C.*
- FCCyT (Foro Consultivo Científico y Tecnológico A.C.) (2012). Glosario. Términos relacionados con la innovación. CONACYT, México.
- FPNTI (Fundación del Premio Nacional de Tecnología e Innovación) (2016). Guía del Premio Nacional de Tecnología e Innovación. Fundación Premio Nacional de Tecnología, A. C.. Ciudad de México, México: *Fundación del Premio Nacional de Tecnología e Innovación*.
- Galván S. & Palomo G. (2019). La gestión de tecnología: Modelos y sus elementos clave. *Innovaciones de Negocios*, 7(14).
- García I. (2016). Propuesta de reforestación con *Agave salmiana* de la región centro del país, en el ejido de San Mateo Chipiltepec, Acolman, estado de México, 2015. Tesis para obtener el título licenciado en planificación para el desarrollo agropecuario. Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México, México.
- García-Barrios, L., & González-Espinosa, M. (2017). Investigación ecológica participativa como apoyo de procesos de manejo y restauración forestal, agroforestal

- y silvopastoril en territorios campesinos. Experiencias recientes y retos en la sierra Madre de Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88, 129-140.
- Granados D. (1993). Los agaves en México. *Imprenta universitaria, Universidad Autónoma Chapingo*, 252.
- Goitia M. (2008). Evaluación de especies forestales en la formación de barreras vivas y comportamiento de la erosión hídrica, en el cantón cohoni. Tesis para obtener el título de Ingeniero agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Gómez-Romero, M., Villegas, J., Sáenz-Romero, C., & Lindig-Cisneros, R. (2013). Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* en cárcavas. *Madera y bosques*, 19(3), 51-63.
- González J. & Descroix L. (2010). Adaptación a la degradación de los recursos naturales en la zona semiárida mexicana. *Sustentabilidad em Debate*, 114-126.
- González-Medrano F. (2004). Las comunidades vegetales de México: Propuesta para la unificación y nomenclatura de la vegetación de México. Ciudad de México, México: INE-SEMARNAT.
- González R. (2018). Dificultades en la introducción de un sistema de gestión del conocimiento en la Universidad Nacional Autónoma de México 2013-2014. Tesis para obtener el título de Ingeniero industrial. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Guerra F. (2012). Caracterización ecológica de la barranca de Tarango, México, D.F.: Propuesta para su restauración ecológica. Tesis para obtener el grado de Maestro en ciencias biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Hidalgo-Nuchera, A., Iglesias-Pradas, S., & Hernández-García, Á. (2009). Utilización de las bases de datos de patentes como instrumento de vigilancia tecnológica. *El profesional de la información*, 18(5), 511-519.
- Higgs E. (1997) What is Good Ecological Restoration?, *Conservation Biology*, (11), 338-348
- Holl K. & Aide. (2011). When and where to actively restore ecosystems?. *Forest Ecology and Management*. (261) 1558-1563.
- Holl K. (2020) *Primer of ecological Restoration*. Washington D.C.: Island Press.
- INECOL (Instituto de Ecología A.C.) (2020). INECOL: Quienes somos. Recuperado de: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-1/quienes-somos>.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) (2013). El disturbio y su importancia en la ecología. *Restauración ecológica*. Recuperado de: www.inecc.gob.mx .

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2016). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2015. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México: *INEGI*.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2007). Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV. Escala 1:250 000. Ciudad de México, México: *INEGI*.
- Kumar A., Antony J., y Dhakar, T. (2006). "Integrating quality function deployment and benchmarking to achieve greater profitability", *Benchmarking: An International Journal* Vol. 13 No. 3, pp. 290-310.
- LaFevor, M. C. (2014). Restoration of degraded agricultural terraces: Rebuilding landscape structure and process. *Journal of environmental management*, 138, 32-42.
- López-Barrera, F., Martínez-Garza, C., & Ceccon, E. (2017). Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88, 97-112.
- López L., Grabach C., Pérez L., & Cisneros, L. (2011). El agave como elemento para la restauración de parcelas agrícolas abandonadas, en la comunidad de La Esperanza, Puebla, México. In *Memorias Del I Congreso Colombiano De Restauración Ecológica*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- López M. & Loera I. (2017). Valoración económica de un plan para evitar la pérdida de cultivos básicos e industriales en Oaxaca, México. *Rev. Investig. Altoandin.* 19(4), 411-418.
- Mansourian S., Vallauri D. & Dudley N. (2005). *Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees*. New York, EEUU: *Springer*.
- Márquez-Huitzil, R. (2005). Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica: Aplicación de conceptos y teorías a la resolución de problemas en restauración. *Sánchez O, Peters E, Márquez-Huitzil R, Vega E, Portales G, Valdez M, Azuara D, editors. Temas sobre restauración ecológica*. México DF: Instituto Nacional de Ecología. p, 159-168.
- Martínez-Falcón A., Moreno C., & Pavón, N. (2015). Litter fauna communities and litter decomposition in a selectively logged and an unmanaged pine-oak forest in Mexico. *Bosque*, 36(1), 81-93.
- Meffe, G., Carroll, C., & Groom, M. (2006). *Principles of Conservation Biology*, 3rd Edition. Martha J. Groom, Gary K. Meffe, C. Ronald Carroll. 2006. Sinauer Associates. Sunderland, MA..
- Méndez-Toribio M., Martínez-Garza C., Ceccon E. & Guariguata M. (2018). La restauración de ecosistemas terrestres en México: Estado actual, necesidades y oportunidades. Bogor, Indonesia: *CIFOR*.

- Mendoza-Hernández, P. E., Orozco-Segovia, A., Meave, J. A., Valverde, T., & Martínez-Ramos, M. (2013). Vegetation recovery and plant facilitation in a human-disturbed lava field in a megacity: searching tools for ecosystem restoration. *Plant Ecology*, 214(1), 153-167.
- Milenio (2020) Por burocracia en trámites, se abandonan 2 mil 700 patentes al año: IMPI. Redacción. Recuperado de: <https://www.milenio.com/negocios/impi-reporta-ano-abandonan-2-mil-700-patentes>.
- Mola I., A. Sopena y R. Torre. (2018) Guía práctica de restauración ecológica. Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica. Recuperado de <https://ieeb.fundacion-biodiversidad.es/content/guia-practica-de-restauracion-ecologica>.
- Nieto, A. R., Reynoso, G. A., Cruz, R. A., & González, G. J. (2013). El cultivo de maguey pulquero. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Nieves, F.J., y Sorani, V. (1995) Estudio de las relaciones suelo-vegetación en las áreas forestales de la República Mexicana, *VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota*. Puerto Vallarta, Jalisco, México. Noviembre 5-10,1995.
- Nixon K. (1993). Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. *Ann. Sci. For. Suppl.* 50: S25–34.
- Pathak, P., Wani, S., & Sudi R. (2005). Gully control in SAT watersheds (No. 15). *International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics*.
- Pavón, N. P., Moreno, C. E., & Ramírez-Bautista, A. (2012). Biomasa de raíces en un bosque templado con y sin manejo forestal en Hidalgo, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(3), 304-312.
- Pérez, G. I. A., & Castro, L. G. (2012). Degradación, pérdida y transformación de la biodiversidad continental en Colombia: Invitación a una interpretación socioecológica. *Ambiente y Desarrollo*, 16(30), 53-71.
- Pons, N., Pérez, Y., Stiven, E., & Quintero, L. (2014). Diseño de un modelo de Gestión del Conocimiento para mejorar el desarrollo de equipos de proyectos informáticos. *Revista española de documentación científica*, 37(2), 044.
- Probosque (Protectora de Bosques del Estado de México) (2019a). Lista de precios de planta para venta. Estado de México. Disponible en <http://probosque.edomex.gob.mx/sites/probosque.edomex.gob.mx/files/files/ventaDeSemilla/ventaPlanta2019.pdf> , consultado el 4 de enero del 2020.
- Probosque (Protectora de Bosques del Estado de México) (2019b). Lista de precios de semillas y conos para venta. Estado de México. Disponible en <http://probosque.edomex.gob.mx/sites/probosque.edomex.gob.mx/files/files/ventaDeSemilla/ventaSemillasConos2019.pdf> , consultado el 4 de enero del 2020.

- Proyecto San Isidro: educación permanente, S.C. (2019) Oferta Educativa. Recuperado de: <http://www.proyectosanisidro.com/> .
- Ramírez-Manzano S., Bye R., García-Moya E., & Romero-Manzanares A. (2020). Aprovechamiento del Maguey Pulquero en Nanacamilpa, Tlaxcala, México. *Revista Etnobiología*, 18(1), 65-76.
- Rincón, R. (2017). Gestión del conocimiento y aprendizaje organizacional: una visión integral. *Informes Psicológicos*, 17(1), 53-70.
- Rivas E. & González F. (2016). El patrimonio gastronómico del municipio de Toluca: el caso del pulque y las pulquerías. *Ciencia ergo-sum* (24)1: 1841-1920.
- Ruiz-Jaen, M., & Mitchell Aide, T. (2005). Restoration success: how is it being measured?. *Restoration ecology*, 13(3), 569-577.
- Saade Hazin, M. (2014). Buenas prácticas que favorezcan una minería sustentable. *CEPAL, Serie Macroeconomía del Desarrollo*, (157), 54.
- Sabogal C., Besacier C., & McGuire D. (2015). Restauración de bosques y paisajes: conceptos, enfoques y desafíos que plantea su ejecución. *Unasylva*, 66(245), 3-10.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2012). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. Ciudad de México, México: SEMARNAT.
- Sánchez O., Vega E., Peters E. & Monroy-Vilchis O. (2003). Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. Ciudad de México, México: INE-SEMARNAT.
- Secretaría de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Agua del Estado de Aguascalientes. 2019. La apicultura como aliada para la conservación de la biodiversidad en Aguascalientes. Sexto Informe Nacional de México ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Sheng Y., W. Zheng, K. Pei y K. Ma. (2005). Genetic variation within and among populations of a dominant desert tree *Haloxylon ammodendron* (Amaranthaceae) in China. *Ann. Bot.* 96(2): 245-252.
- SER (Society for Ecological Restoration International) (2006). The SER International Primer on Ecological Restoration, Tucson, EEUU: SER.
- Solleiro, J. L., & Briseño, A. (2003). Propiedad intelectual II: el caso de la biotecnología en Mexico. *Interciencia*, 28(2), 90-94.

- Suárez A., Saldaña T., & Velázquez M. (2016). El cultivo de maguey pulquero: opción para el desarrollo de comunidades rurales del altiplano mexicano. *Revista de Geografía Agrícola*, (56), 33-44.
- Tavarez C. (2010). Restauración ecológica del área afectada por incendio forestal en el predio "El Taray", Municipio de Arteaga, Coahuila. Consultores Asociados en Manejo de Ecosistemas Forestales S.C. Informe Final SNIB-CONABIO proyecto No.F1015. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfFQ015.pdf> .
- Toribio, M., Martinez, C., Ceconc, E., & Guariguata, M. (2017). Planes actuales de restauración ecológica en Latinoamérica: Avances y omisiones. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 1-30.
- Torres-Rojo J., & Guevara S. (2002). El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica*, (63), 40-59.
- Torres A. (2020) Propuesta de restauración ecológica con reforestación en el Cerro de Casitagua en la provincia de Pichincha, Cantón Quito. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Ambiental. Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador.
- Trujillo A. (2017). Evaluación del éxito de estrategias de restauración activa y pasiva del bosque mesófilo de montaña. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias. INECOL, México.
- Westrock Company. (2016). Responsibility to results 2016 Sustainability Report. Recuperado de <https://www.westrock.com/-/media/pdf/sustainability/wrck-2016sustainabilityreport-dw37-pdf.pdf?modified=20180406151048> .
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (2014). The Bonn-Challenge, Washington, USA. Recuperado de <http://www.bonnchallenge.org>
- Reyes Díaz, O., Morris, V., & Ayuso, F. (2009). *Evaluación del efecto de la fertilización orgánica con nitrógeno y potasio sobre la primera cosecha de banano*. Tesis para obtener el grado de licenciado en planificación para el desarrollo agropecuario. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. Costa Rica.
- Ríos, O. V. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta biológica colombiana*, 16(2), 221-246.
- Valencia, S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Botanical Sciences*, (75), 33-53.
- Vázquez-Alvarado R., Blanco-Macías F., Ojeda-Zacarías M., Martínez-López J., Valdez-Cepeda R., Santos-Haliscak A., & Háuad-Marroquín L. (2011). Reforestación a base de nopal y maguey para la conservación de suelo y agua. *Rev. Salud Pú. Nutric*, (5) 18.

- Vázquez-Yanes C. & Batis-Muñoz A. (1996). La restauración de la vegetación, árboles exóticos vs árboles nativos. *Ciencias* 43:16-23.
- Ventura-Ríos, A., Plascencia-Escalante, F., Hernández de la Rosa, P., Ángeles-Pérez, G., & Aldrete, A. (2017). ¿Es la reforestación una estrategia para la rehabilitación de bosques de pino?: Una experiencia en el centro de México. *Bosque*, 38(1), 55-66.
- Villaruel C. United States Department of Agriculture. 2009. Collaborative Forest Restoration Program: Lessons learned. United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington D.C. (2015). Diseño e implementación de una unidad de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. *Interciencia*, 40(11): 751-757.
- Wortley L., Hero J., & Howes M. (2013). Evaluating Ecological Restoration Success: A Review of the Literature. *Restoration Ecology*, 21(5): 537-543.
- Zabaleta A. (2003). Los modelos actuales de gestión en las organizaciones. Gestión del talento, gestión del conocimiento y gestión por competencias. *Psicología desde el Caribe*. 12: 115-133.

7.2. Patentes citadas

- Castillo L. 2012. Mx patente N° 013294 A. México, SIGA, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
- Chun S. 2008. Mx patente N° 012685 A. México, SIGA, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
- Galicia O. 2012. Mx patente N° 011810 A. México, SIGA, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
- Hermosillo S. 2007. Mx patente N° 006882 A. México, SIGA, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
- Herrera A., R. Ruiz, B. Xoconostle. 2009. Mx patente N° 008884 A. México, SIGA, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
- Escobedo R. y L. Tiemanns. 2007. Mx patente 001670 A. México, SIGA, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
- Nava V., M. Becerril y M. Velázquez. 2012. MX Patente N° 010354 A. Australia, Lens.org.
- Vilchis M., F. Mercado y M. Aguilar. 2010. MX patente N° 010354 A. México, SIGA, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
- Vilchis M., F. Mercado y M. Aguilar. 2011. MX patente N° 003334 A. México, SIGA, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.