

Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña

La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería

City Adapt
RECONECTANDO CIUDADES CON LA NATURALEZA
LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

ONU programa para el medio ambiente

gef

La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería. CityAdapt, ONU Programa para el Medioambiente. México 2022.

Autores:

Aníbal Farabundo Ramírez Soto

Arturo García Valencia

Omar Trujillo Santos

Coordinación editorial:

Gabriela Helena Gutiérrez Sosa

Diseño editorial e ilustraciones:

Ana María Gómez Mayorga

Mapas:

Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

Fotografías y esquemas:

Gabriela Helena Gutiérrez Sosa

Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

Revisión y corrección de estilo:

Isabel García-Coll

Sergio Alfredo Angón Rodríguez

Cómo citar:

Ramírez-Soto, A.F., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I.M., Gutiérrez-Sosa, G.H., Gómez-Sánchez, I., Contreras-Huerta, I., Angón-Rodríguez, S.A., García-Coll, I. 2022. Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña. La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería. CityAdapt, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México. 101 p.

ÍNDICE

Introducción..... 8
1. Uniendo la Restauración Ecológica con la Agroforestería 10
1.1 Qué es la Restauración Ecológica..... 10
1.2 Qué son los sistemas agroforestales..... 13
1.3 Cómo se complementan la restauración ecológica con los sistemas agroforestales 14
Ejemplos de sistemas agroforestales..... 16
2. Planeando la restauración ecológica en mi terreno..... 26
2.1 Planeación: Diagnóstico socioambiental para un inicio adecuado..... 27
2.1.1 Interesados, colaboradores y actores clave..... 27
2.1.2 Sitio de intervención..... 28
2.1.3 Tipos de suelo..... 34
2.1.4 Suelo y relieve como elementos clave de la RE y SAF..... 43
2.1.5 Trayectoria de la recuperación del ecosistema o zona degradada..... 47
2.1.6 Análisis del paisaje..... 48
2.2 Selección del sitio de referencia..... 50
2.3 Selección de técnicas de Restauración Ecológica (RE)..... 51

2.4 Selección de especies para la Restauración Ecológica (RE)..... 51
2.5 Decálogo para el manejo de semillas..... 53
3. Ejecución..... 59
3.1 Diseño mi proyecto para la acción..... 59
Ejemplos de diseños agroforestales..... 60
Diseño a microescala..... 60
Diseño a mesoescala..... 61
Diseño a macroescala..... 62
4. Compendio de fichas técnicas de Restauración Ecológica..... 63
4.1 ¿Cómo usar estas fichas?..... 64
Transposición de suelo..... 68
Lluvia de semillas..... 72
Perchas artificiales..... 76
Madrigueras artificiales..... 80
Plantación en grupos de alta densidad (grupos Anderson-Miyawaki)..... 84
Barrera de retención de suelo, técnica complementaria de restauración ecológica..... 88
5. Glosario..... 93
6. Referencias y recursos..... 96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de agroecosistemas y sus principales beneficios ambientales..... 24
Tabla 2. Intensidad de aplicación de las técnicas de restauración en relación a la fase sucesional en la que se encuentra el sitio..... 59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Beneficios de la restauración ecológica junto con la agroforestería. 15
Figura 2. Proceso de la restauración ecológica. 26
Figura 3. Ejemplo de mapeo de actores para proyecto de restauración ecológica en un ambiente ripario. 28
Figura 4. Mapa comparativo de cambio de uso de suelo en el Cerro del Estropajo, Tlalnelhuayocan, Veracruz, México. 29
Figura 5. Ejemplo de red hidrológica en paisaje rural. 31
Figura 6. Modelo 3D de red hídrica del Cerro del Estropajo en Tlalnelhuayocan, Veracruz, México. 31

Figura 7. Horizontes de suelo. 34
Figura 8. Fases y trayectoria de la sucesión ecológica. 48
Figura 9. Ejemplos de trayectorias en la restauración ecológica y agroforestería. 50
Figura 10. Diseño Miyawaki. 60
Figura 11. Diseño agroforestal sucesional. 61
Figura 12. Ejemplo de zonificación de predio, Valle de Bravo. 62
Figura 13. Ejemplo de zonificación de predio, Montenegro. 62
Figura 14. Ejemplo de paisaje con Sistemas Agroforestales Sucesionales y aplicación de técnicas de Resauración Ecológica. 92

Introducción

América latina es la segunda región más urbanizada del mundo, con un 80% de la población viviendo en ciudades. Se prevé que en las próximas dos décadas esta proporción alcance el 85%, lo que clasificará a las ciudades de la región entre las de más alto crecimiento en las economías en desarrollo.

La rápida urbanización y expansión no planificada de las ciudades está reduciendo los ecosistemas urbanos y periurbanos, como los humedales, los espacios verdes y los bosques, que proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos y que contribuyen considerablemente al bienestar de las comunidades.

El proyecto CityAdapt promueve el enfoque de Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) en el que se incluye la adaptación basada en ecosistemas (AbE) y la eco-reducción de riesgo de desastres, lo que implica el uso de los ecosistemas y sus servicios ambientales como una parte esencial de la estrategia global de adaptación al cambio climático, es decir, de una estrategia enfocada a reducir el riesgo y los efectos adversos de este fenómeno sobre las personas, sus condiciones de vida y nivel socioeconómico y el medio ambiente.

Entre los efectos adversos del cambio climático no solo se encuentran los impactos al bienestar y la salud humana, también se ven perturbados diversos procesos ecológicos, que pueden inducir o exacerbar la pérdida o deterioro de numerosos bienes y servicios ambientales, de los que dependemos los seres humanos. Estos bienes y servicios se han visto alterados por las actividades humanas que han degradado a los ecosistemas a través de los cambios de uso del suelo, la fragmentación de los ecosistemas y hábitats, la contaminación de suelo, aire y agua, así como la sobre-explotación de los recursos naturales.

Uno de los mayores desafíos que enfrentamos como parte del proceso de adaptación a los impactos del cambio climático es el de recuperar estos servicios ambientales mediante SbN, como puede ser la restauración de los ecosistemas y su integración con proyectos que rindan beneficios

a la sociedad; un ejemplo de estas intervenciones es la agroforestería combinada con la restauración ecológica. La recuperación de los bienes y servicios ambientales a través de este tipo de restauración debe enfocarse a reducir los impactos asociados a la variabilidad del clima y el cambio climático, entre los que destacan las inundaciones, movimientos de ladera (deslaves y derrumbes), sequías intensas, islas de calor, pérdida de biodiversidad, entre otros.

Las medidas de adaptación en proyectos de restauración ecológica deben orientarse a conservar los remanentes de ecosistemas facilitando su evolución hacia estados funcionales más resilientes, y al mismo tiempo apoyar la diversificación de las actividades productivas asociadas al campo para proveer medios de vida mas resilientes a las familias cuyas propiedades están siendo amenazadas por el crecimiento urbano. Estos espacios verdes bajo mejores prácticas pueden, entre otros beneficios, incrementar la conectividad entre los ecosistemas rurales, periurbanos y las áreas verdes o parques urbanos.

Esta guía de restauración ecológica y agroforestería busca ser un material para difundir algunos métodos enfocados a regenerar los ecosistemas y a su vez ofrecer espacios para el desarrollo de la agroforestería, usando la estructura vegetal que ha sido restaurada con mejores prácticas para un aprovechamiento sustentable.

La producción de alimentos y la regeneración de la naturaleza son actividades compatibles si se consideran como procesos que deben planearse juntos y que uno beneficia al otro. Los bosques nativos ayudan a los cultivos disminuyendo plagas y fungiendo como zonas protectoras contra vientos, fuego y otras perturbaciones. Las áreas bajo restauración ecológica proporcionan agua, el elemento vital necesario para cualquier proceso productivo. Cuando se aplican en conjunto, estas pueden ayudar a mejorar la conectividad de los parches a nivel paisaje y con ello las condiciones microclimáticas.

Usando métodos sencillos y de bajo costo (como los que se proponen en esta guía) es posible crear de manera relativamente rápida, sitios productivos en donde conviven especies como el café, cardamomo, plátano, pimienta, cúrcuma y otros productos de alto valor económico, nutricional y cultural, que además sirven a las comunidades para mitigar los efectos adversos del cambio climático.

1. Uniendo la Restauración Ecológica con la Agroforestería

Hoy sabemos que la Restauración Ecológica (RE) es una herramienta eficaz para potenciar el establecimiento rápido y de bajo costo de los Sistemas Agroforestales Sucesionales (SAF). Ambas estrategias se esfuerzan mutuamente para poder recuperar paisajes degradados y tierras en abandono que se pueden reincorporar a la producción agrícola. Tanto la RE como los SAF buscan el bienestar humano, la primera, a través de la recuperación de fuentes de agua y la biodiversidad, y la segunda, a través de la provisión de alimentos constantes y saludables. En un inicio se creía que sus objetivos eran distintos, pero hoy sabemos que son herramientas complementarias para buscar Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). La RE es una potente herramienta enfocada en recuperar la estructura, función, conectividad y por tanto los servicios ambientales. Los SAF utilizan la fuerza de la naturaleza para crear cultivos abundantes en cada fase del proceso de recuperación natural de la vegetación. El sustento de la producción y sus beneficios sociales se pueden fortalecer con una infraestructura verde robusta que asegure la recarga hídrica y la permanencia de la biodiversidad.

1.1 QUÉ ES LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La restauración ecológica RE se refiere a un conjunto de actividades deliberadas que ayudan al restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. La RE trata de restituir la funcionalidad, estructura, integridad, resiliencia y trayectoria ecológica e histórica de los ecosistemas. Las intervenciones utilizadas en la RE varían de acuerdo al ecosistema, el tipo, grado y extensión del disturbio, las condiciones socioculturales que han transformado el paisaje y

las oportunidades, amenazas y limitaciones actuales.[1] En circunstancias simples la RE implica retirar o modificar un tensor específico para que los procesos ecológicos se recuperen por sí mismos. En circunstancias más complejas, la RE puede requerir de la reintroducción de especies autóctonas que se habían perdido, de la eliminación o control de especies exóticas invasoras, o de una combinación de intervenciones.



Sitio en proceso de restauración. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

1 Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas, 2004; Ceccon, 2013; Chazdon y Guariguata, 2018; Gann et al., 2019; Wilson et al., 2021)

Los sitios bajo una adecuada RE son resilientes, es decir, contienen suficientes recursos bióticos y abióticos, así como interacciones para reconstruir su estructura y funcionamiento sin insumos e intervenciones externas. En sitios restaurados, el tensor ambiental que agravaba la integridad ecológica fue retirado, y en su lugar se desarrolla un proceso sucesional que alberga múltiples especies. Estas interacciones normalmente se desarrollan en una trayectoria que tiende al restablecimiento del sitio hacia un ecosistema de referencia. Los grupos funcionales de árboles y animales comienzan a aparecer y están bien representados incentivando de manera creciente la capacidad de reproducirse y de reclutar nuevas especies de bosques con mejor salud.

Los bienes y servicios que aporta un sitio restaurado dependen del tipo de ecosistema de referencia, entre los más importantes están: producción y depuración del agua, mejoramiento de la calidad del aire, generación y reciclaje de nutrientes en el suelo, prevención de la erosión y deslaves, regulación de la temperatura y el microclima, refugio para la biodiversidad y belleza escénica.



Sitio después de 6 años de ser restaurado. Fotografía: Gabriela Helena Gutiérrez Sosa

1.2 QUÉ SON LOS SISTEMAS AGROFORESTALES



El cafetal de sombra es un ejemplo de un sistema agroforestal
compatible con la conservación del bosque. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

Los sistemas agroforestales SAF son prácticas sustentables de producción que combinan cultivos de corto, mediano y largo plazo con una estructura de sombra. Se basan en la dinámica natural de los bosques y aprovechan las interacciones biológicas para producir alimentos, madera, condimentos, aromáticos, plantas medicinales, entre otros productos. Generalmente provienen del manejo comunitario y su diseño se ha ido mejorando con el tiempo con el fin de hacerlos más eficientes

en el aprovechamiento de espacio y luz.[2] Los SAF utilizan una combinación de especies leñosas y herbáceas, nativas o introducidas, en un mismo arreglo espacial y temporal con la premisa de producir alimentos o productos en el corto plazo. Estas prácticas están diseñadas y ejecutadas dentro del contexto de un plan de manejo de finca, en donde el productor optimiza el espacio y el uso de la radiación solar, incrementando su rendimiento y diversificando lo que obtiene. Además de lo económico, los SAF suponen menos riesgos para la economía comunitaria dada la diversidad de ingresos.[3] Estos sistemas inician de manera simplificada y con el tiempo se van complejizando al incorporarse nuevas especies y nuevos productos. Si bien inicia con una baja intensidad de manejo, conforme se hace más complejo, el manejo se torna más intensivo, con más biodiversidad, pero sin la utilización de agroquímicos.

Los SAF ofrecen productos desde el inicio del proceso y una vez establecidos van aportando nuevos alimentos, biomasa, leña y biodiversidad. Su desarrollo contribuye al mantenimiento de la fertilidad del suelo, la infiltración, reducen la escorrentía superficial, previenen la erosión, conservan la biodiversidad y mantiene la conectividad del paisaje.[4] Hasta cierto punto los SAF pueden ser concebidos como un proceso de restauración dado que alcanzan estructuras y funciones similares a las de un ecosistema de referencia solamente que bajo un manejo intensivo de las podas.

1.3 CÓMO SE COMPLEMENTAN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA CON LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

La RE ofrece beneficios que impactan positivamente en la producción de los SAF:

Control de plagas. Los sitios restaurados aportan recursos alimentarios alternativos como

2 Tierra Negra, S/F; Cabrera et al., 2011; Palafox et al., 2012; Gutiérrez Ulloa, 2015; Miccolis et al., 2016

3 Miccolis et al., 2016

4 Tierra Negra, S/F; Cabrera et al., 2011; Palafox et al., 2012; Gutiérrez Ulloa, 2015; Miccolis et al., 2016

polen o néctar, provisión de presas, huéspedes, sitios de oviposición y refugio, que incrementen las poblaciones de enemigos naturales para obtener un efectivo control de las plagas.[5]

Provisión de agua. Para que los sitios en recuperación a través de la RE o SAF alcancen un equilibrio hidrológico, en donde el aporte de agua sea superior al que necesita el ecosistema para garantizar sus funciones y necesidades, deben transcurrir entre 20 y 80 años, dependiendo del ecosistema de referencia. Para esto es necesario incluir una diversidad alta de especies de diferentes fases sucesionales y formas de vida, con distintas funciones ambientales y necesidades lumínicas. Estos elementos estimulan una trayectoria ecológica tendiente a la recuperación de estructura y función.

Salud del suelo. La RE tiene la capacidad de mejorar las condiciones del suelo de ambientes deteriorados, proporciona materia orgánica, mantiene la humedad, disminuye la temperatura, evita la erosión y deslaves, promueve la movilidad de nutrientes y favorece el sustento de la macrofauna del suelo. Parte de la energía generada en estos espacios tiene la capacidad de transferirse a zonas aledañas, beneficiando a sitios que carecen de esta como el caso de monocultivos, sitios degradados o SAF simples.

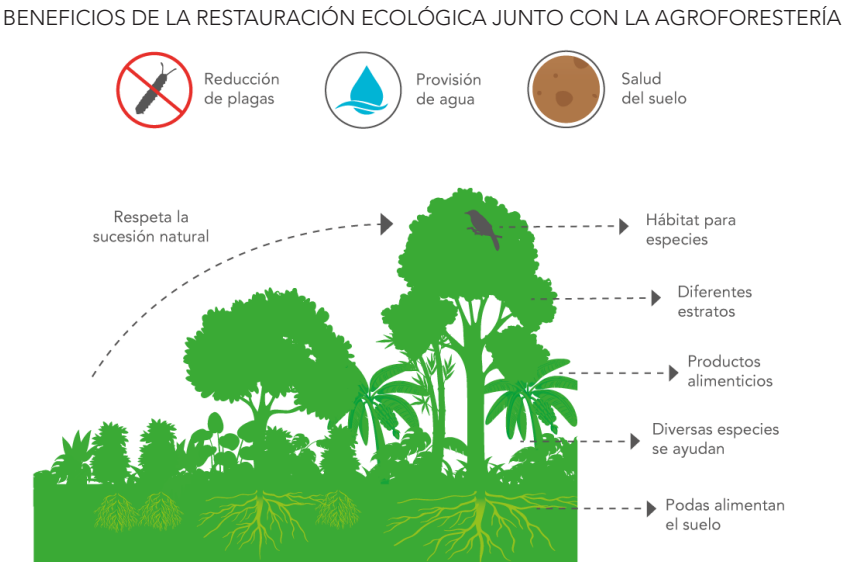


Figura 1. Beneficios de la restauración ecológica junto con la agroforestería.
Adaptado de https://airelibre.cl/que-es-agroforesteria-agrosilvicultura-sistema-agroforestal-definicion-concepto/

5 De Bach P y Rosen D, 1991; Núñez, 2000; Ceccon,- 2013

En un SAF establecido siempre habrá espacio para la restauración ecológica, sobre todo en partes de la parcela con bajo o nulo potencial agrícola. Algunas características que ayudan a identificar estas zonas son: topografía accidentada, baja accesibilidad, degradación del suelo, susceptibilidad a la erosión, deslaves o incluso desertificación. Por otro lado, la RE puede llevarse a cabo como una actividad previa al establecimiento de un SAF especialmente cuando la magnitud de un disturbio no permite el desarrollo de los cultivos. Dado que la RE aporta beneficios importantes a los SAF, y además su arreglo no se sobrepone al sistema de producción, esta debe diseñarse y ejecutarse en conjunto a los sistemas de producción y no vislumbrarse como una estrategia separada.

Ejemplos de sistemas agroforestales



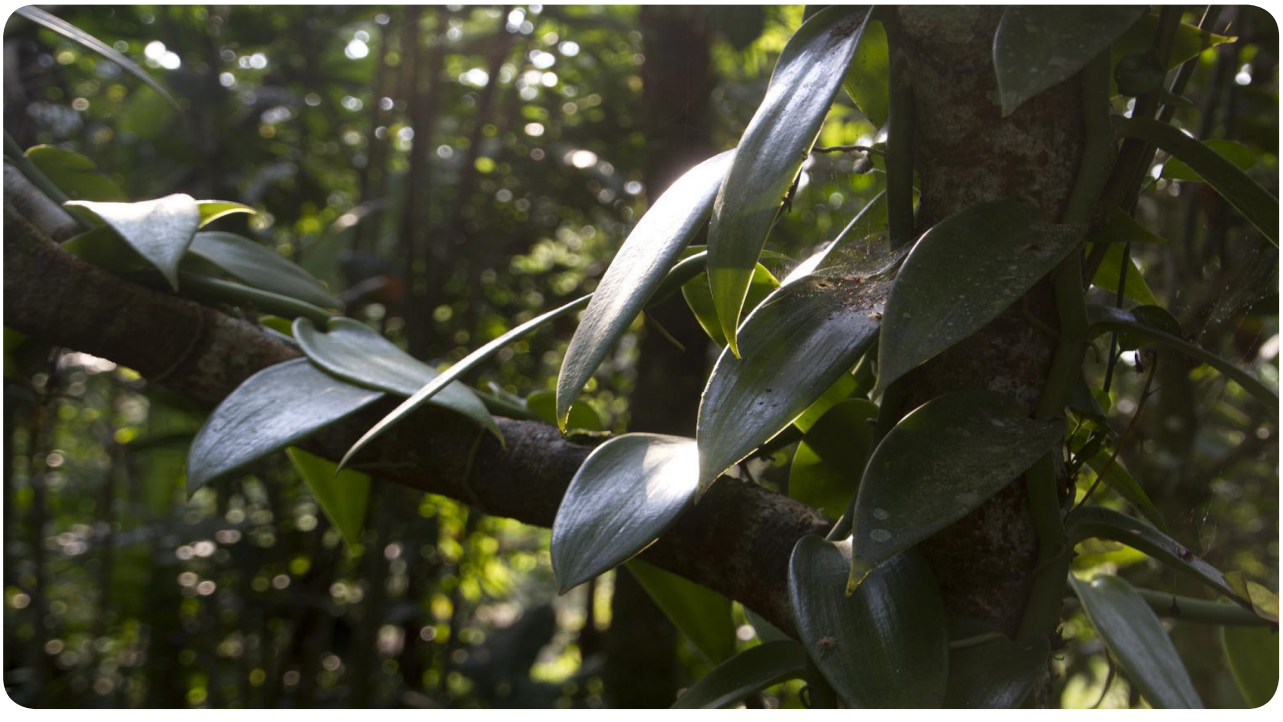
Cafetal bajo sombra. Fotografía: Gabriela Helena Gutiérrez Sosa



Macadamia con café. Fotografía: Gabriela Helena Gutiérrez Sosa.



Cacao en sistema agroforestal. Fotografía: Vecteezy.com



Vainilla bajo sombra. Fotografía: Adalberto Ríos/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.



Pimienta dioica. Fotografía: Francisco Rendón/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.



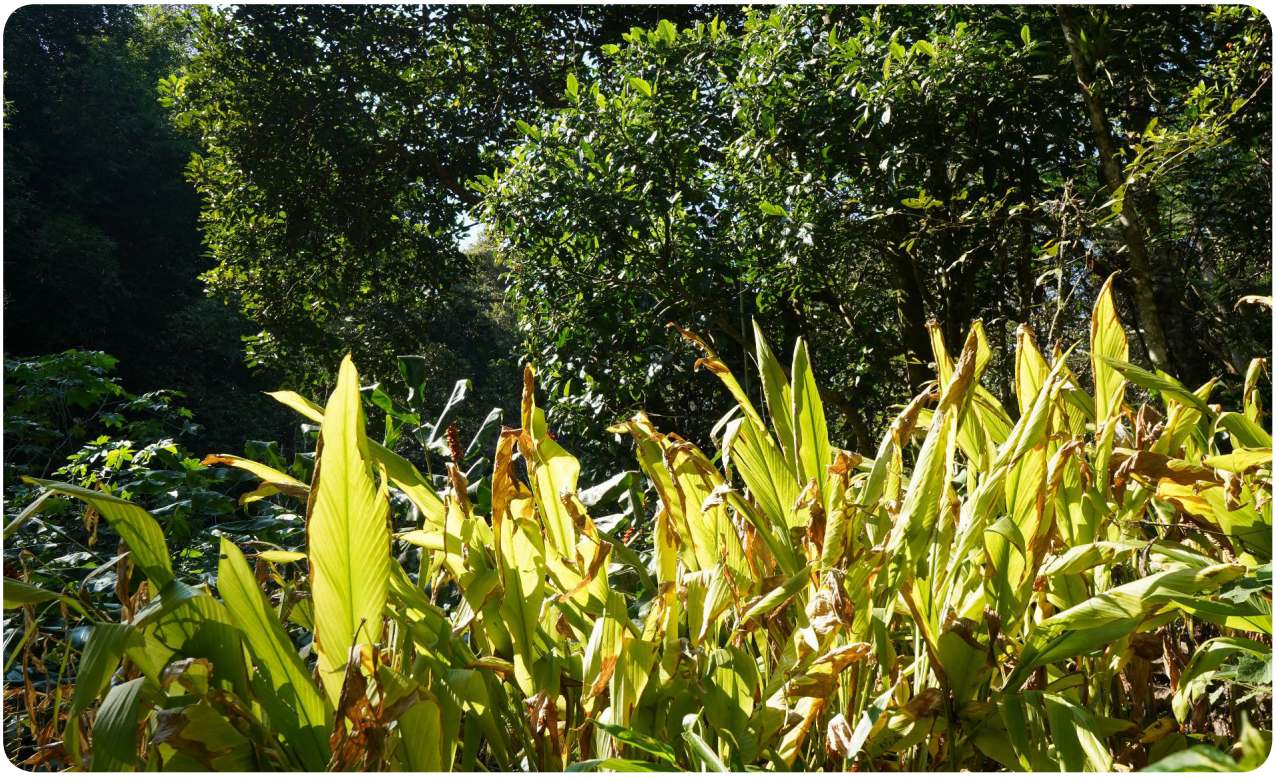
Pimienta dioica. Fotografía: Francisco Rendón/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.



Cardamomo bajo sombra. Fotografía: Gabriela Helena Gutiérrez Sosa.



Jengibre bajo sombra. Fotografía: Gabriela Helena Gutiérrez Sosa.



Cúrcuma bajo sombra. Fotografía: Gabriela Helena Gutiérrez Sosa.



Cítricos en cafetales. Fotografía: Gabriela Helena Gutiérrez Sosa.



Chicleras sustentables. Fotografía: Adalberto Ríos/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.



Ramonales selváticos. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Palma camedora en el bosque de niebla. Fotografía: Gabriela Helena Gutiérrez Sosa

TABLA1. TIPOS DE AGROECOSISTEMAS Y SUS PRINCIPALES BENEFICIOS AMBIENTALES

Agro-ecosistema	Conservación de la biodiversidad	Sombra	Estratos lumínicos	Problemas relacionados con el cambio climático que pueden resolver			
				Deslaves/ desliza-mientos	Desertifi-cación	Agotamiento de recargas de agua	Erosión
1.Cafetal de sombra	Alta	Alta	Emergente, Superior y Medio	X		X	X
2.Macadamia con café	Media	Alta	Emergente y Medio	X		X	X
3.Cacaotal	Alta	Alta	Emergente, Superior y Medio		X	X	X
4.Vainilla bajo sombra	Media	Media	Emergente, Superior, Medio e inferior		X	X	X
5.Pimienta con café	Media	Alta	Emergente, Superior y Medio	X		X	X
6.Cardamomo con café	Media	Media	Emergente, Superior, Medio e inferior	X		X	X
7.Jengibre con café	Media	Media	Emergente, Superior, Medio e inferior	X		X	X
8.Cúrcuma con plátano	Media	Media	Emergente y Medio	X	X		X
9.Cítricos en cafetales	Alta	Media	Emergente y Medio	X		X	X
10.Chicleras Sustentables	Alta	Alta	Emergente, Superior y Medio		X	X	
11.Ramonales selváticos	Alta	Alta	Emergente, Superior, Medio e Inferior	X	X	X	X
12.Palma camedor bajo selva	Alta	Alta	Emergente, Superior e Inferior	X		X	X

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se puede ver como los diferentes SAF pueden adaptarse y resolver problemas ambientales adversos relacionados con las modificaciones antrópicas y la variabilidad del clima y el cambio climático. Dependiendo de los niveles de sombra y de los sistemas radiculares que en conjunto producen, el SAF podrá impactar de manera acentuada en un tensor. Hay SAF que impactan mejor a nivel de recarga hídrica no solo por su estructura vertical sino también por la ubicación dentro de la cuenca (p.e cafetales de sombra), y hay otros que pueden contribuir de mejor manera a la prevención de deslaves dados los sistemas de abundantes raíces que generan (p.e cúrcuma y plátano). Así mismo, aquellas zonas expuestas a procesos de desertificación pueden ser intervenidas con SAF que han demostrado ser eficaces para retener humedad y generar suelos como son las chicleras y ramonales selváticos.

2. Planeando la restauración ecológica en mi terreno

La RE exitosa requiere de una interpretación adecuada de los factores ambientales y sociales, externos e internos que impiden la recuperación natural del sitio. Lo ideal es que este conocimiento sea generado con la participación de un equipo de expertos en restauración, así como usuarios del sitio y miembros de la comunidad local. Si bien no hay una receta o una estrategia mágica para la restauración ecológica, la experiencia propia y de expertos mundiales sugiere abordar los proyectos tratando de responder las preguntas del esquema el cual está ordenado por fases.

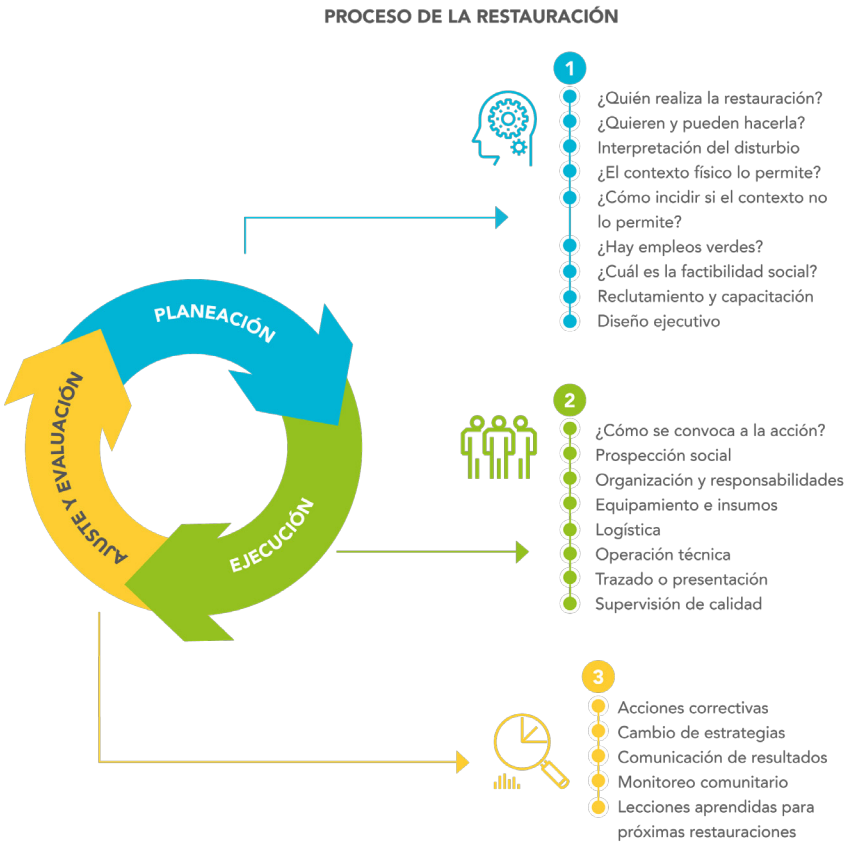


Figura 2. Proceso de la restauración ecológica. Fuente: elaboración propia.

2.1 PLANEACIÓN: DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL PARA UN INICIO ADECUADO

El diagnóstico es la base para la planeación de las intervenciones, su objetivo es describir con el mayor detalle posible las características sociales, físicas y ecológicas del sitio que se desea restaurar así como las presiones externas que puedan poner en riesgo la restauración. La información social se puede recopilar a través de entrevistas, encuestas o incluso en reuniones de participación, mientras que la información del sitio requiere del registro de datos en el lugar y la consulta de mapas e imágenes aéreas.

2.1.1 INTERESADOS, COLABORADORES Y ACTORES CLAVE

La socialización del proceso de RE promueve la participación activa de la comunidad y garantiza su aceptación, desarrollo y éxito a largo plazo. Es crucial asimilar que no puede tener éxito un proceso de RE que no considere desde el inicio la retroalimentación activa con las poblaciones locales. Es fundamental establecer una comunicación clara y directa todo el tiempo entre comunidad y equipo operativo. Identificar líderes locales, organizaciones e instituciones comunitarias es clave. Una de las herramientas esenciales en este punto es el mapeo de actores, proceso en el que se identifica a los principales agentes involucrados (propietarios, organizaciones, líderes de opinión y otros interesados), se analizan sus perspectivas e intereses con base en los objetivos del proyecto y se resuelven dudas e inquietudes sobre el objetivo de la RE.

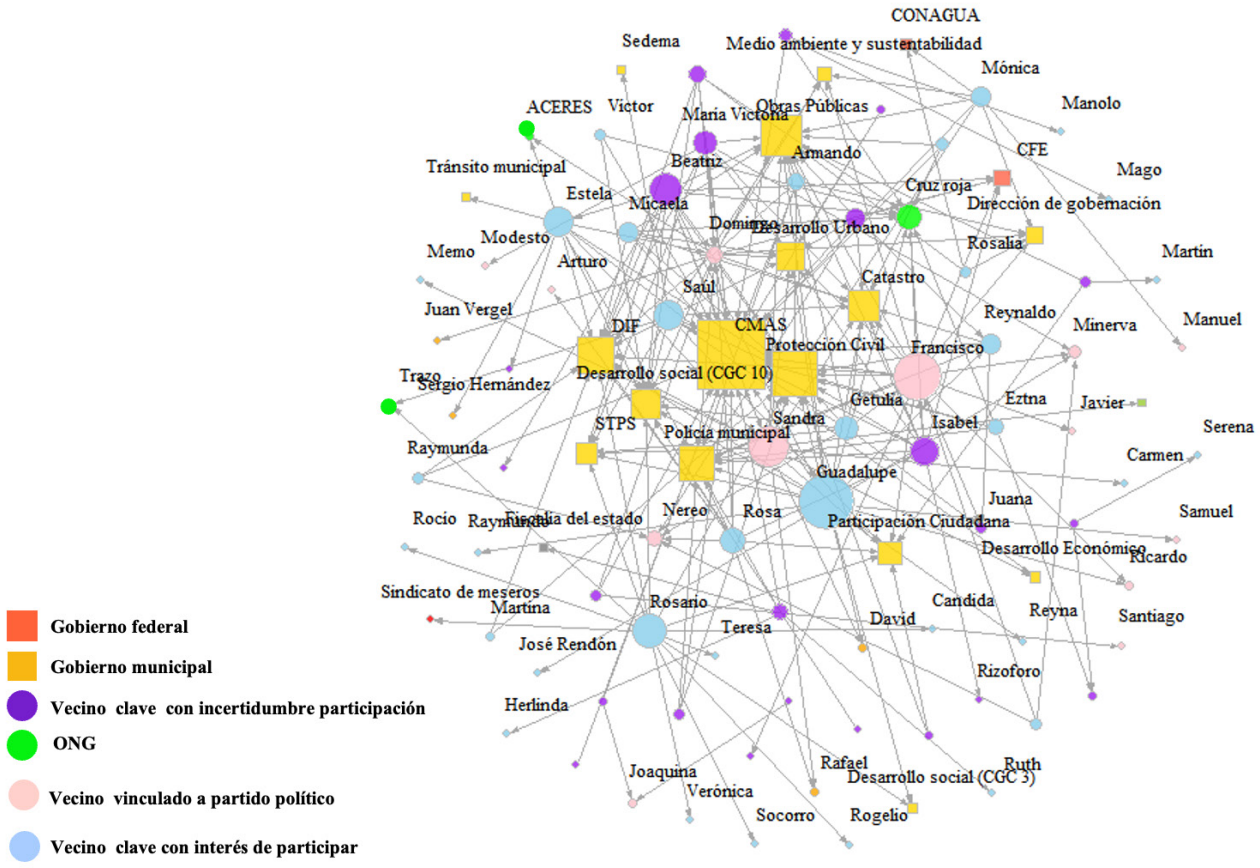


Figura 3. Ejemplo de mapeo de actores para proyecto de restauración ecológica en un ambiente ripario.

Fuente: elaboración propia.

2.1.2 SITIO DE INTERVENCIÓN

Incluso para **la caracterización biofísica** del sitio a restaurar, es crucial involucrar saberes locales, historia hablada, formal e informal, del sitio. Entrevistas con personas adultas y conocedores de la región, recorridos conjuntos con propietarios, así como ciencia ciudadana a través de la toma de datos y recolecta de información sobre los cultivos y la forma actual y antigua de producir alimentos. En ese momento es cuando empieza a unirse la RE y SAF.

La opinión y percepción locales son determinantes para conocer las amenazas reales y las causas subyacentes de la degradación. La percepción local aporta información clave para entender la historia de transformación y el uso actual de suelo, factores que influyen en la configuración actual del paisaje y por tanto en las formas para su restauración o inclusión en SAF. Un área que fue sometida a la agricultura, ganadería o minería tendrá distintas respuestas a los tratamientos de RE o SAF, y por lo tanto, conocer estos antecedentes ayudará a proponer acciones realistas, eficaces y eficientes.

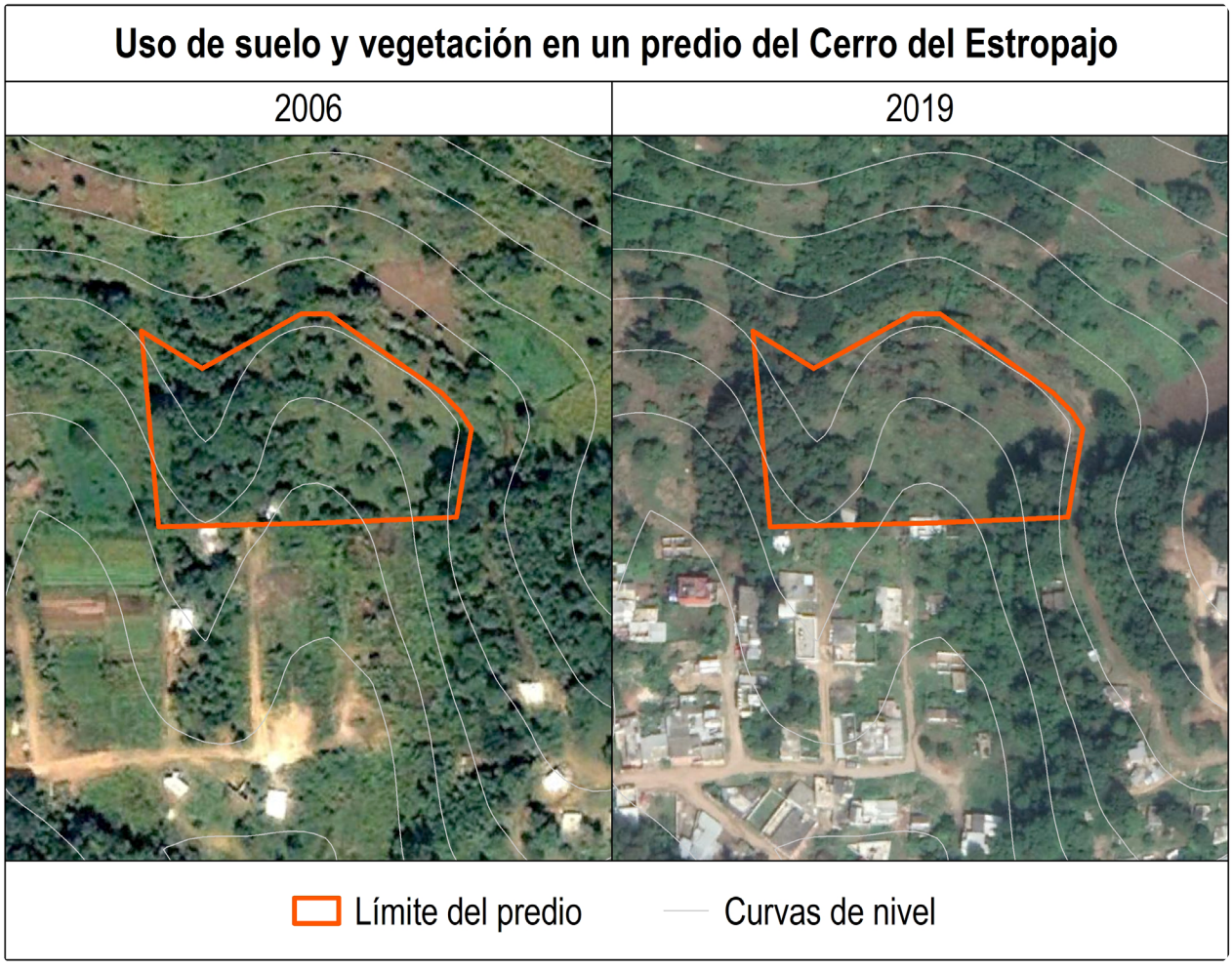


Figura 4. Mapa comparativo de cambio de uso de suelo en el Cerro del Estropajo, Tlalnelhuayocan, Veracruz, México. Fuente: elaboración propia.

El análisis de las **amenazas a la RE y conservación** inicia con la identificación de las actividades productivas adyacentes a los sitios de restauración. En esta fase se determinan los factores externos naturales o antrópicos que influyen en el proceso de degradación, su intensidad y persistencia. Ejemplos de ello son la modificación en la trayectoria de desecación en cuerpos de agua, la dinámica de inundaciones, desertificación de áreas agrícolas, incendios, compactación del suelo o salinización del mismo.

La delimitación de las **áreas de intervención** es otro paso esencial. La precisión de los límites del sitio son imprescindibles tanto por aspectos técnicos como sociales. Técnicamente ayuda a la ubicación de las cuencas, escurrimientos, radiación solar y orientación del terreno, y socialmente, para no transgredir límites de propiedad de vecinos que puedan poner en riesgo la simpatía local hacia el proyecto. Calcular la superficie es el primer paso para estimar los recursos a usar, tanto económicos como humanos y biológicos. Así mismo, la dimensión del terreno nos da una idea precisa de los tiempos, esfuerzo y movimiento logístico necesarios para cumplir en tiempo y forma con los objetivos.

El agua es el recurso natural de mayor importancia tanto para el desarrollo de los SAF, así como el objeto principal de recuperación para la RE. Entender la hidrología del terreno permite la correcta estimación de los riesgos en la estabilidad del suelo durante precipitaciones torrenciales. Una red **hidrológica** densa puede incrementar el riesgo de deslaves y erosión. Por lo tanto, es imperativo identificar las características hidrológicas del sitio. Sin la red hídrica y los flujos preferenciales, es extremadamente riesgoso un diseño de restauración o agroforestal. Un ejemplo de lo anterior es en la recuperación de manantiales; conociendo previamente la hidrología se pueden construir canaletas o trincheras que favorezcan la infiltración, la inclusión de árboles de sombra y el uso de las capas de materia orgánica que promuevan la recarga de agua. En el caso de deslaves en los bordes de río, es necesario sembrar especies con sistemas radiculares potentes y colocar barreras o estructuras para prevenir la pérdida de suelo. Para esto será necesario identificar el tipo de cuerpo de agua (río, arroyo, manantial, laguna, lago etc.), su longitud, profundidad, nivel mínimo y máximo de inundación, estacionalidad, dirección así como su posición dentro de la microcuenca (cabezada, captación transporte o emisión).

EN ESTE EJEMPLO VEMOS LA UBICACIÓN DE PARCELAS EN LA PARTE MEDIA DE UNA CUENCA.

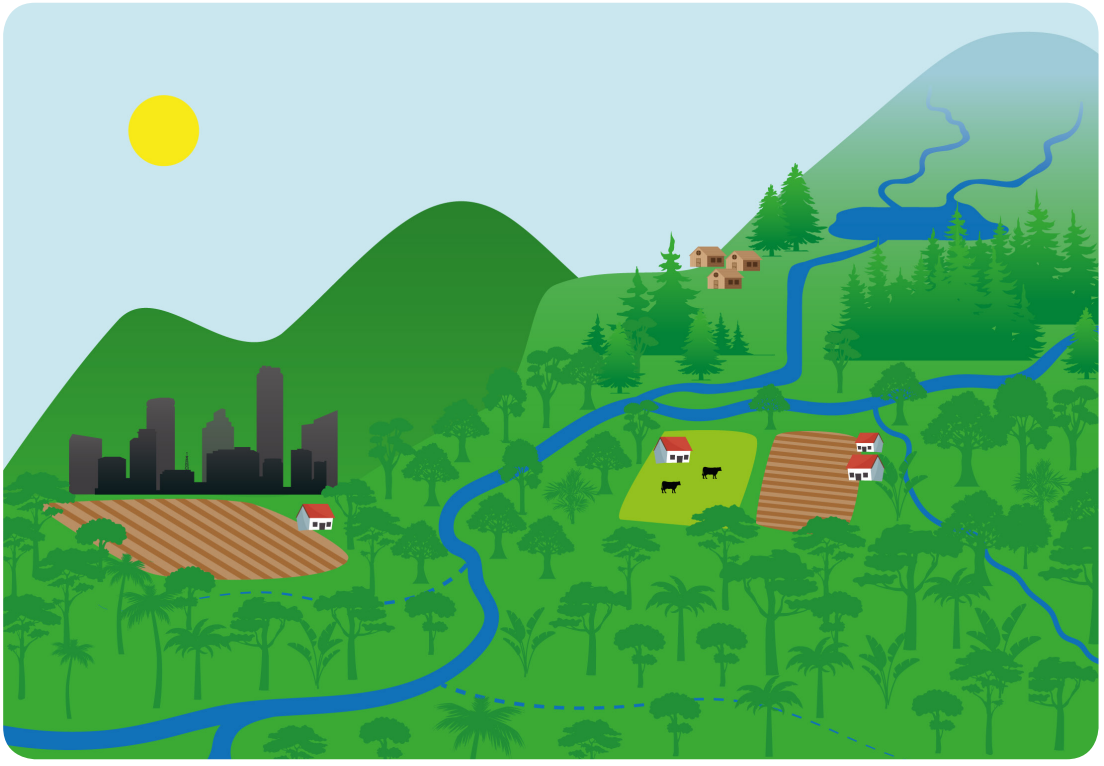


Figura 5. Ejemplo de red hidrológica en paisaje rural. Fuente: elaboración propia.

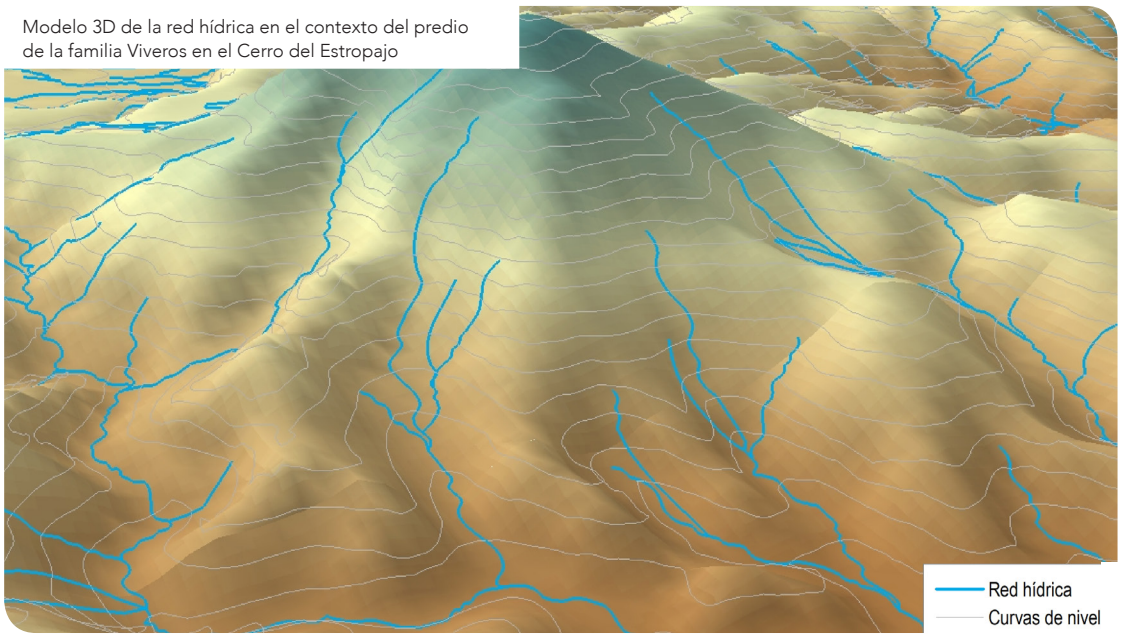


Figura 6. Modelo 3D de red hídrica del Cerro del Estropajo en Tlalnelhuayocan, Veracruz, México.

Fuente: elaboración propia.

Otro elemento crucial a conocer es la **salud del suelo.** Si la tierra está saludable será viable el establecimiento de un SAF o de RE. Determinar los niveles de fertilidad y estructura de suelo es un paso clave para predecir el desarrollo de las plantas, y por lo tanto, para la recuperación de la fauna mayor.

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO — **FOLIO: SU-158082**

Cliente:	Familia Viveros Alba	**Tipo de agricultura:**	Riego
Localización:	Cerro Del Estropajo, Tlalnelhuayocan, Veracruz	**Cultivo Anterior:**	Ninguno
Coordenadas:	19.558459, -96.960180	**Cultivo a Establecer:**	Limon
Predio / ID:	Parcela Viveros Alba / CE-Alba-01	**Manejo de Residuos:**	Incorporados
Emisión:	2021/09/01	**Prof. Muestra:**	0-30 cm

Propiedades Físicas del Suelo

Clase Textural	Franco		
Punto de Saturación	64.0	%	Muy Alto
Capacidad de Campo	34.3	%	Muy Alto
Punto March. Perm.	20.4	%	Muy Alto
Cond. Hidráulica	0.80	cm/hr	Muy Bajo
Dens. Aparente	0.95	g/cm3	

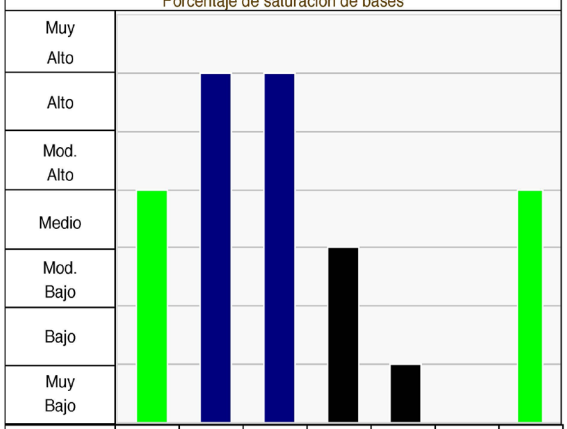
pH del Suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado

pH (1.2 agua)	6.45		Mod. Acido
pH Buffer	6.48		
Carbonatos Totales (%)	0.01	%	Libre
Salinidad (CE Extracto)	0.78	dS/m	Bajo
Requerimiento de Yeso	No Requiere		
Requerimiento de Cal	3.2		Ton/Ha

Fertilidad del Suelo

Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	7.94	%							
P-Bray	48.6	ppm							
K	470	ppm							
Ca	2119	ppm							
Mg	420	ppm							
Na *	78.3	ppm							
Fe	76.3	ppm							
Zn	3.79	ppm							
Mn	16.2	ppm							
Cu	0.84	ppm							
B	0.11	ppm							
Al *	3.22	ppm							
S	7.06	ppm							
N-NO3	58.0	ppm							

Cationes Intercambiables
Porcentaje de saturación de bases



% Sat	67.9	22.2	7.69	2.18	0.26	0	—
me/100g	10.6	3.46	1.20	0.34	0.04	0	15.6
Catión	Ca	Mg	K	Na*	Al*	H*	CIC

Relación entre cationes (Basadas en me/100g)

Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	8.83	2.88	11.7	3.06
Interpretación	Bajo	Mediano	Bajo	Mediano

* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido

PND = Pendiente por verificar NA = No analizado ND = Sin datos

Interpretación Resumida del Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo

Suelo con pH moderadamente acido. Suelo de textura media. Libre de carbonatos. Libre de sales. Muy alto nivel de materia organica. Alto suministro de fosforo disponible. Suministro considerable en nitratos.

En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes: Muy pobre en boro.

Fuente: Fertilab, 2021.

Para conocer las características del suelo se recurre a la elaboración de perfiles de suelo y análisis de laboratorio donde se analizan las características físico-químicas. Desde una perspectiva empírica, el productor observa el comportamiento de su tierra en función a los cultivos, el color o la historia de producción. Idealmente debemos considerar tanto el análisis como la perspectiva campesina.

El perfil de suelo se refiere a hacer un corte vertical (como en los cortes de caminos o zanjas) en que se ordenan las diferentes capas (llamados horizontes) que lo componen. Generalmente, los perfiles de suelo se componen de seis tipos de horizontes:

- **Horizontes O:** dominados por material orgánico.
- **Horizontes A:** formados en la superficie o bajo un horizonte O que exhiben acumulación de materia orgánica y gran actividad biológica.
- **Horizontes E:** caracterizados por la pérdida de arcillas, hierro o aluminio, con sólo partículas de limo y arena.
- **Horizontes B:** formados bajo un A, E u O, que poseen los materiales acarreados de los horizontes ubicados arriba de ellos.
- **Horizontes C:** afectados por pocos procesos de formación del suelo, se consideran como el material de origen del suelo.
- **Horizonte R:** es el lecho rocoso, duro.

Para elaborar un perfil de suelo se requiere de una barrena, pala o navaja. En suelos degradados se sugiere que el perfil sea de al menos 40 cm. Primero se registra el tipo de suelo, las características de la superficie y luego se realiza la descripción horizonte por horizonte, comenzando con el superior.

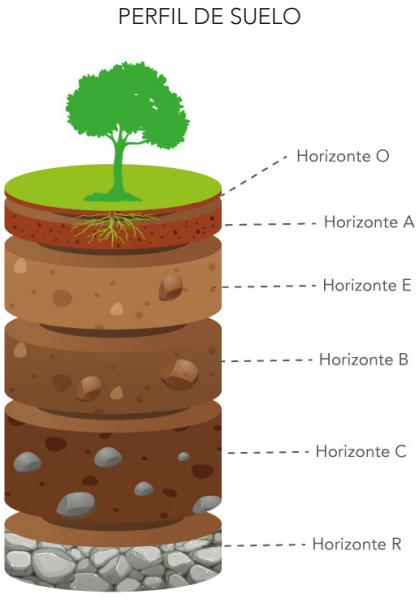


Figura 7. Horizontes de suelo. Fuente: Freepik.

2.1.3 TIPOS DE SUELO

Los suelos se pueden catalogar según criterios técnicos como en las clasificaciones internacionales, pero también con el conocimiento tradicional de las comunidades o una combinación de estos. Para fines prácticos mostraremos una clasificación de algunos suelos comunes en México que contempla los nombres tradicionales y técnicos así como sus propiedades físico-químicas.

Fluvisoles (aluviones). Corresponde a los suelos formados por sedimentos de ríos. Técnicamente se llaman Fluvisoles, que significa suelo de río. Se encuentran cerca de cuerpos de agua en áreas sujetas a inundaciones periódicas, a menos que estén protegidas o cuenten con drenaje artificial. La capa arable es buena (40 cm de espesor pero puede superar los 80 cm), varían los colores dependiendo del origen del suelo pero pueden ser pardos (suelos aireados) o grises (suelos bajo inundación estacional), su textura puede variar de arenosa a limosa con una diferenciación de horizontes en capas finas que corresponden a las avenidas. Generalmente tienen valores de pH cercanos a la neutralidad (7), la disponibilidad de nutrientes no se encuentra limitada, su fertilidad es alta.



Ejemplo de un suelo de tipo fluvisoles (aluviones) a orilla de un río. Debido a su alta fertilidad son apreciados para diferentes cultivos. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Suelo de tipo fluvisoles (aluviones) donde se aprecian diferentes capas en el perfil. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

Acrisoles, Andosoles y Cambisoles (barriales). Corresponde a suelos literalmente de barro. Son ricos en arcillas derivadas de óxido de Fierro y Magnesio. Aquí se encuentran suelos de tipo Acrisol y algunos de tipo Andosol y Cambisol. Este tipo de suelos se caracterizan por su color rojo-amarillo, incluso púrpura. Son arcillas que han sido disgregadas (meteorizadas) desde las rocas parentales o rocas madre que les dan origen. El pH ácido siempre es ácido, tienen concentraciones elevadas de hierro, aluminio o manganeso, lo cual en ocasiones les puede conferir toxicidad a ciertos cultivos. Se encuentra en regiones de topografía accidentada, en climas tropicales cálidos y húmedos. Son suelos con bajo potencial para la agricultura mecanizada pero con potencial para la agroforestería. Soportan cultivos tolerantes a la acidez como la piña o plantaciones forestales como el hule. Cuando se degrada su recuperación resulta muy lenta.



Barrial amarillo. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Barrial rojo. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

Cascajales. Suelos de cascajo o mezcla de arcilla con rocas de tamaños variables. Son suelos con una decoloración parduzca, debajo del horizonte superficial, alberga suelos de tipo Cambisol y Regosol. Debido a que se encuentran en una etapa de transición de suelo joven a maduro, generalmente presentan una diferenciación clara entre perfiles, su textura va de franca a arcillosa, de alta porosidad y retención de humedad, con pH neutro o ligeramente ácido, con una biota activa y buena fertilidad. Generalmente se encuentran en terrenos montañosos y son muy frágiles y susceptibles a los deslizamientos.



Suelo de cascajal donde se observan fragmentos de roca. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Fragmento de roca de un suelo de cascajal. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

Tierra negra. Se refiere a los suelos del tipo Chernozems y Rendzinas u otro tipo de suelos con alto contenido de materia orgánica. Son suelos con una capa superficial gruesa, negra y rica en materia orgánica, con estructura estable, granular o migajosa, bien drenados, de alta porosidad y retención de humedad, con pH neutro o cerca de la neutralidad, puede oscilar entre 6 y 8.5. La fauna del suelo es muy activa, especialmente las lombrices, el horizonte superficial suele ser mayor a 20 cm, suelen incluir altos contenidos de carbonato de calcio en la parte superficial. Se encuentran en todas las zonas climáticas y se les considera ideales para actividades agrícolas y agroforestales. Una vez degradados es complicada su regeneración.



Ejemplo de tierra negra, se trata de suelos ricos en materia orgánica
que dan la coloración oscura al suelo. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

Lodazales o Fango. Contempla suelos de tipo Gleysol, Histosol y Solonchack. Son suelos encharcados durante largos periodos o permanentemente, de baja aireación, con bajísima porosidad, los colores denotan el proceso de reducción (contrario a la oxidación) y puede ser blancuzco, grisáceo, azuloso o verdoso. El pH normalmente es ácido (3 o 3.5) pero ocasionalmente llega a niveles superiores a 8.5, pueden acumular grandes cantidades de sal si el proceso de inundación no tiene recambio hídrico. Generalmente se encuentran en manglares, espartales, turberas, pantanos o marismas, en una variedad amplia de zonas climáticas.



Suelo de tipo gleysol característico de los humedales. Son suelos sin oxígeno
lo que les da una coloración gris, verdoso o azul. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

Arenales. Corresponde al tipo de suelo Arenosol o Regosol. Su textura es arenosa y pocas veces llega a ser franca. Son altamente permeables, con buena aireación, baja retención de humedad y actividad biológica, no tienen plasticidad ni adhesividad en húmedo y se sueltan en seco. Pueden tener cubiertas delgadas de hierro en su espesor o contener pequeñas acumulaciones de materia orgánica en los horizontes más profundos producto de la infiltración de agua con nutrientes. Los niveles de materia orgánica son extremadamente bajos. Se presenta desde climas cálidos secos hasta climas fríos. Generalmente se usan como pastizales.



Suelo de tipo arenoso con una capa superficial de suelo arcilloso.
Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

Laja o roca. Corresponde al tipo de suelo Litosol o Leptosol. Son suelos muy delgados de bajísima fertilidad natural. Se desarrollan sobre rocas o material altamente calcáreo, pero también suelos más profundos que son extremadamente gravosos o pedregosos, generalmente de drenaje libre y baja retención de humedad. Son comunes en áreas de montaña, aunque se encuentran en todas las formas del relieve, particularmente en áreas fuertemente erosionadas. Son suelos con bajo potencial agro productivo donde la mejor forma de incrementar su fertilidad es con la introducción de árboles o pastizales de acumulación de biomasa.





Suelo de tipo laja o roca donde se observan diferentes capas.

Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

2.1.4 SUELO Y RELIEVE COMO ELEMENTOS CLAVE DE LA RE Y SAF

Inclinación y orientación. La orientación se refiere a la dirección en que está dispuesta una pendiente (norte, sur, este, oeste). La inclinación se refiere al ángulo (en porcentaje) de inclinación del terreno. Ambos aspectos influyen tanto en el ingreso de radiación solar (fuente principal de energía en SAF y RE) así como en la distribución de la humedad proveniente de las lluvias. Por tanto las mejores porciones de los terrenos para SAF serán las orientaciones soleadas y los sitios menos inclinados. Mientras tanto, los sitios de oportunidad para RE se encontrarán en laderas más sombrías y con mayores inclinaciones.

Afloramientos rocosos. La exposición de la roca madre y la presencia de rocas o grava se describe en términos de porcentaje de cobertura en la superficie. Adicionalmente se considera el tamaño, espaciamiento y dureza de los afloramientos. Estos indicadores deben ser contemplados en la selección de técnicas de restauración. Mientras más afloramientos rocosos existan será más complicado y tardado (decenas de años) el proceso de formación de suelo y por tanto la generación de una fauna edáfica capaz de soportar cultivos perennes.

Erosión. Se debe identificar la presencia de características erosivas y sus principales causas. Por ejemplo, erosión acelerada causada por el hombre, erosión hídrica manifestada en cárcavas o surcos, erosión eólica por deposición o movimientos de arena, erosión en masa provocada por deslizamientos o derrumbes. Se necesita distinguir el grado erosivo para diseñar las medidas remediales. Por ejemplo, un grado es ligero cuando existen evidencias de desgaste en los horizontes superficiales del suelo pero se puede demostrar la presencia de fauna edáfica funcional sobre todo lombrices y escarabajos; es nivel moderado cuando es evidente la remoción de los horizontes orgánicos y la biota del suelo se restringe a hormigas (primeras colonizadoras); es nivel severo cuando los horizontes superficiales fueron completamente removidos, los horizontes subsuperficiales están expuestos y no se aprecia ningún tipo de fauna edáfica; y es nivel extremo cuando no hay horizontes superficiales, los horizontes subsuperficiales están carcomidos y la roca madre es expuesta, así como la inexistencia de biota.

Presencia de sales. Las sales afectan a las propiedades fisicoquímicas del suelo, produciendo un

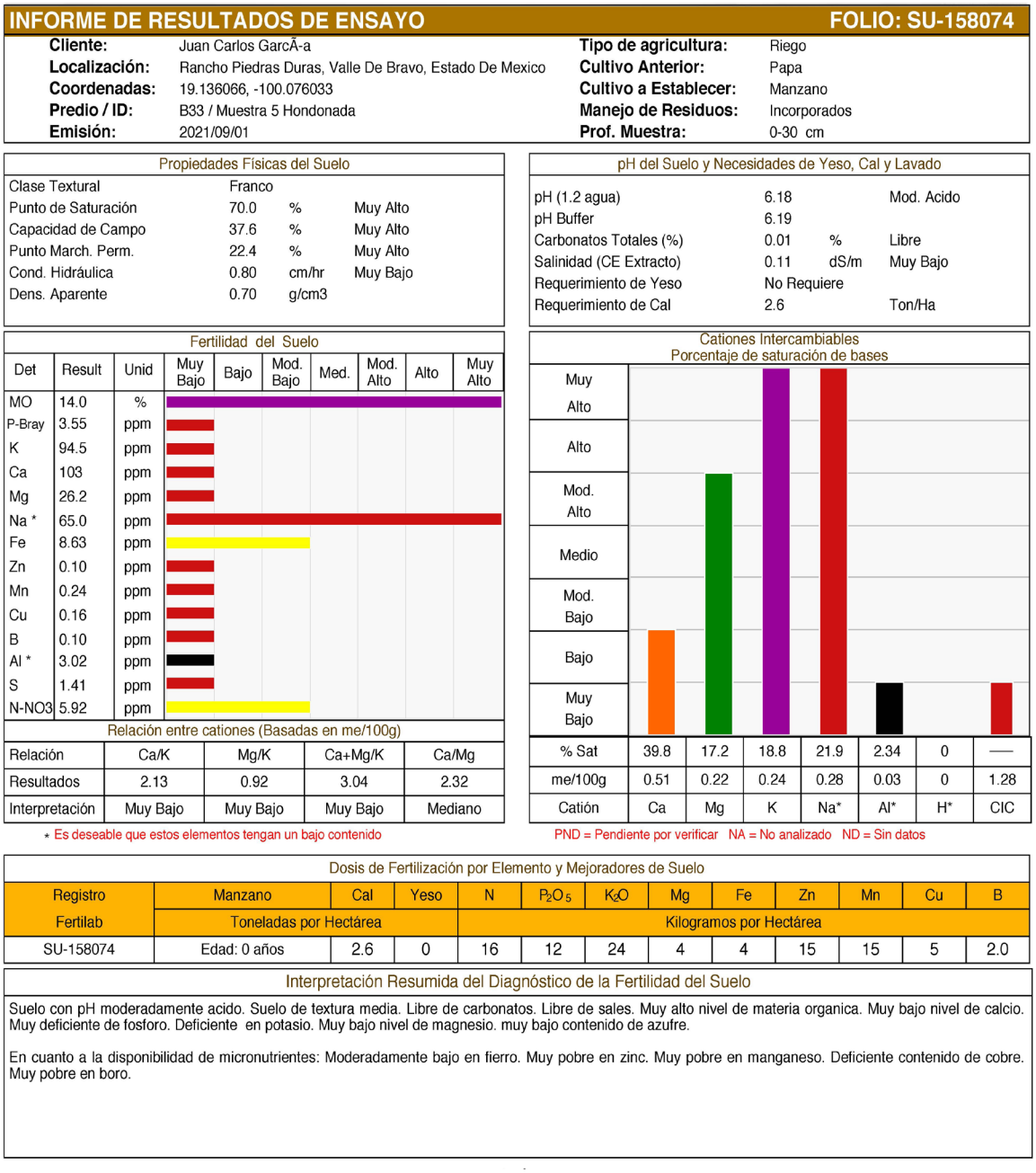
efecto importante sobre las actividades que puede soportar, especialmente en el desarrollo de las plantas. Por lo anterior, es importante registrar si existen superficies cubiertas por sales. Los niveles de salinidad pueden impedir totalmente el proceso de regeneración asi como bloquear por completo la agro-productividad de un suelo. En niveles bajos las sales pueden corregirse con la adición de materia orgánica con técnicas de restauración ecológica, pero en niveles críticos es necesario el uso de plantas halófitas para remediar tales niveles de toxicidad.



Ejemplo de un suelo salino en el Lago de Texcoco, México. Se aprecia el desarrollo de especies que toleran la sal. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Muestra de un suelo salino donde se observa una roca cubierta de sales. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO — **FOLIO: SU-158074**

Cliente:	Juan Carlos GarcÃ-a	**Tipo de agricultura:**	Riego
Localización:	Rancho Piedras Duras, Valle De Bravo, Estado De Mexico	**Cultivo Anterior:**	Papa
Coordenadas:	19.136066, -100.076033	**Cultivo a Establecer:**	Manzano
Predio / ID:	B33 / Muestra 5 Hondonada	**Manejo de Residuos:**	Incorporados
Emisión:	2021/09/01	**Prof. Muestra:**	0-30 cm

Propiedades Físicas del Suelo

Clase Textural	Franco		
Punto de Saturación	70.0	%	Muy Alto
Capacidad de Campo	37.6	%	Muy Alto
Punto March. Perm.	22.4	%	Muy Alto
Cond. Hidráulica	0.80	cm/hr	Muy Bajo
Dens. Aparente	0.70	g/cm3	

pH del Suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado

pH (1.2 agua)	6.18		Mod. Acido
pH Buffer	6.19		
Carbonatos Totales (%)	0.01	%	Libre
Salinidad (CE Extracto)	0.11	dS/m	Muy Bajo
Requerimiento de Yeso	No Requiere		
Requerimiento de Cal	2.6		Ton/Ha

Fertilidad del Suelo

Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	14.0	%							■
P-Bray	3.55	ppm		■					
K	94.5	ppm		■					
Ca	103	ppm		■					
Mg	26.2	ppm		■					
Na *	65.0	ppm							■
Fe	8.63	ppm				■			
Zn	0.10	ppm		■					
Mn	0.24	ppm		■					
Cu	0.16	ppm		■					
B	0.10	ppm		■					
Al *	3.02	ppm		■					
S	1.41	ppm		■					
N-NO3	5.92	ppm			■				

Relación entre cationes (Basadas en me/100g)

Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	2.13	0.92	3.04	2.32
Interpretación	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Mediano

* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido

Cationes Intercambiables
Porcentaje de saturación de bases

% Sat	39.8	17.2	18.8	21.9	2.34	0	—
me/100g	0.51	0.22	0.24	0.28	0.03	0	1.28
Catión	Ca	Mg	K	Na*	Al*	H*	CIC

PND = Pendiente por verificar NA = No analizado ND = Sin datos

Dosis de Fertilización por Elemento y Mejoradores de Suelo

Registro	Manzano	Cal	Yeso	N	P_2O_5	K_2O	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
Fertilab	Toneladas por Hectárea			Kilogramos por Hectárea								
SU-158074	Edad: 0 años	2.6	0	16	12	24	4	4	15	15	5	2.0

Interpretación Resumida del Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo

Suelo con pH moderadamente acido. Suelo de textura media. Libre de carbonatos. Libre de sales. Muy alto nivel de materia organica. Muy bajo nivel de calcio. Muy deficiente de fosforo. Deficiente en potasio. Muy bajo nivel de magnesio. muy bajo contenido de azufre.

En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes: Moderadamente bajo en fierro. Muy pobre en zinc. Muy pobre en manganeso. Deficiente contenido de cobre. Muy pobre en boro.

Análisis de suelos de B33 en suelos hipersalinos. Fuente: Fertilab, 2021.

Horizontes. Los horizontes de suelo proveen información sobre los procesos formadores del suelo y en algunos casos, muestran los impactos de ser humano. Los horizontes pueden ser descritos con los siguientes atributos:

Profundidad: se refiere a los límites superiores e inferiores de cada horizonte, se reporta

en centímetros y se mide desde la superficie del suelo hacia abajo. La mayoría de los suelos no muestran una diferenciación clara entre horizontes, para identificarlos se puede observar el color en su estado natural y humedeciendo el perfil; se puede explorar la textura manualmente tomando pequeñas muestras húmedas y secas entre los dedos para detectar cambios de consistencia, también se pueden identificar cambios de dureza al picar con una navaja diferentes partes del perfil.

Textura: se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla, componentes inorgánicos que se asocian para formar agregados de suelo. La textura influye en la fertilidad, capacidad de retención de agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. Se expresa en porcentajes y se puede estimar sintiendo los constituyentes del suelo en húmedo. Para esto es necesario remover las gravas y otros constituyentes mayores a 2mm. Los constituyentes se pueden clasificar en:

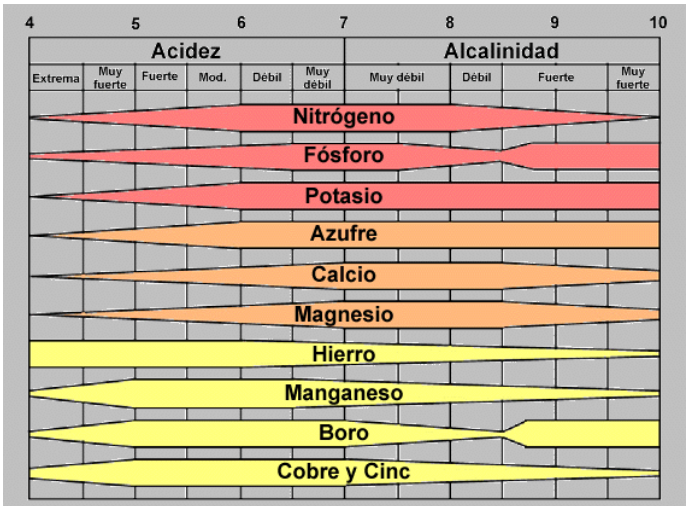
Arcilla: se adhiere a los dedos, es pegajosa, moldeable, tiene una alta plasticidad y tiene una superficie brillosa luego de apretarla entre los dedos.

Limo: se adhiere a los dedos pero no es pegajoso, es débilmente moldeable, tiene una superficie áspera y rasposa luego de apretarlo entre los dedos y una sensación harinosa.

Arena: no se adhiere a los dedos, no se puede moldear y se siente muy granuloso.

Color: refleja las condiciones de óxido-reducción del suelo. El color está determinado generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de fierro (amarillo, pardo, naranja y rojo), óxidos de manganeso (negro o púrpura), o puede ser debido al color de la roca parental. El color de cada horizonte (rojo, amarillo, verde, azul o violeta) se debe registrar en condiciones húmedas y secas con el fin de hacer comparaciones en la tabla Munsell para poder clasificarlo.

pH: determina el grado de acidez o alcalinidad del suelo y con ello la capacidad de absorción de nutrientes. El pH es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, un valor que oscila entre 3.5 (muy ácido) es prácticamente imposible para la mayoría de plantas así como los valores mayores a 9 (muy alcalino). Puede ser medido con un medidor electrónico o con papeles marcadores.



Disponibilidad de nutrientes para las plantas con base en el pH del suelo.

Fuente:https://www.researchgate.net/figure/Figura-31-Esquema-de-los-principales-nutrientes-para-las-plantas-y-el-efecto-de-pH-del_fig6_318135605

2.1.5 TRAYECTORIA DE LA RECUPERACIÓN DEL ECOSISTEMA O ZONA DEGRADADA

Cuando un ecosistema es alterado es importante identificar la trayectoria que está siguiendo la vegetación, ya que es un criterio para seleccionar las técnicas de restauración y las especies que se pueden utilizar. Las trayectorias posibles de un ambiente degradado son amplias, pero se pueden visualizar en cuatro fases principales:

Fase 1 o fase fiera I: aparece después del evento de perturbación, se caracteriza por un crecimiento dinámico de especies pioneras como líquenes, musgos, pastos, enredaderas, que debido a su capacidad para colonizar suelos pobres y condiciones adversas compiten para establecerse. En este momento no hay estructura compleja solo una expansión horizontal de crecimiento vegetativo.

Fase 2 u homeostasis I: es posible identificarla porque las especies pioneras han logrado establecerse y se extienden tanto horizontal como verticalmente, además han creado micro condiciones que pueden promover el establecimiento de especies intermedias, incluso tardías.

Fase 3 o fase fiera II: se caracteriza por la competencia dinámica en el espacio vertical, donde deberán enfrentarse a la regulación de luz y humedad. Se observa una dominancia de árboles de hoja ancha y rápido crecimiento. Las nuevas condiciones micro climáticas suprimirán el desarrollo de algunas especies y promoverán la aparición de otras.

Fase 4 u homeostasis II: es la fase de establecimiento de especies intermedias y tardías, aquí culmina la estratificación vertical, el sitio es resiliente, mantiene un flujo constante de energía en el ecosistema, pero la composición de especies aún no es equiparable a un bosque de referencia.



Figura 8. Fases y trayectoria de la sucesión ecológica. Fuente: elaboración propia.

Vale la pena resaltar que las trayectorias de la vegetación no corresponden a un proceso lineal y que las fases se pueden repetir, es decir, puede aparecer otra fase fiera que dará paso a una nueva fase homeostática, también puede ocurrir el estancamiento, omisión y ocurrencia simultánea entre fases.

2.1.6 ANÁLISIS DEL PAISAJE

El análisis de información satelital como las imágenes aéreas también es una actividad valiosa en la etapa de diagnóstico, este tipo de información es posible encontrarla de manera gratuita

y puede ser fácilmente visualizada desde un teléfono celular o una computadora. Las imágenes aéreas ayudarán a percibir la composición de los elementos en el paisaje, la ubicación de las áreas degradadas, zonas de cultivo, bosques, fuentes de agua, etc.

Es recomendable que todo lo observado en campo sea plasmado sobre un mapa de la propiedad con ayuda de los colaboradores, familia e interesados. Esta actividad estimula la percepción espacial sobre la propiedad, el uso de la tierra y las conexiones entre el uso de suelo y la comunidad. Si existe el recurso y capacidad suficiente se deben elaborar mapas para conocer áreas, curvas de nivel, exposición solar, orientación de laderas y ángulo de inclinación de la pendiente para utilizar al momento de planear, diseñar y elaborar las estrategias de restauración.

Al concluir el diagnóstico debe quedar claro quién hace la RE, quién está interesado en colaborar, qué disturbios degradaron el sitio, cúal es el tensor que impide su recuperación, qué tipo de intervención permite el contexto físico del sitio, cuales son las amenazas sociales y ecológicas hacia las actividades de restauración y procurar tener claridad de los posibles impactos asociados a la variabilidad y los eventos climáticos que pudieran presentarse en un futuro cercano.



Intercambio de información entre equipo técnico y propietarios de una parcela antes de la restaración e implementación de un SAS. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

2.2 SELECCIÓN DEL SITIO DE REFERENCIA

La RE requiere identificar al ecosistema nativo de referencia con la estructura y función que se pretende alcanzar con las intervenciones de restauración. El ecosistema de referencia ayudará a encaminar los objetivos del proyecto y servirá para evaluar el progreso y trayectoria de las intervenciones. La elección del sitio de referencia debe contemplar un ecosistema natural libre de amenazas hacia su estabilidad, con las condiciones físicas y químicas de suelo y agua adecuadas para la subsistencia de la biodiversidad así como una composición de especies características de la zona y una diversidad adecuada de componentes estructurales para su correcta funcionalidad ecosistémica.

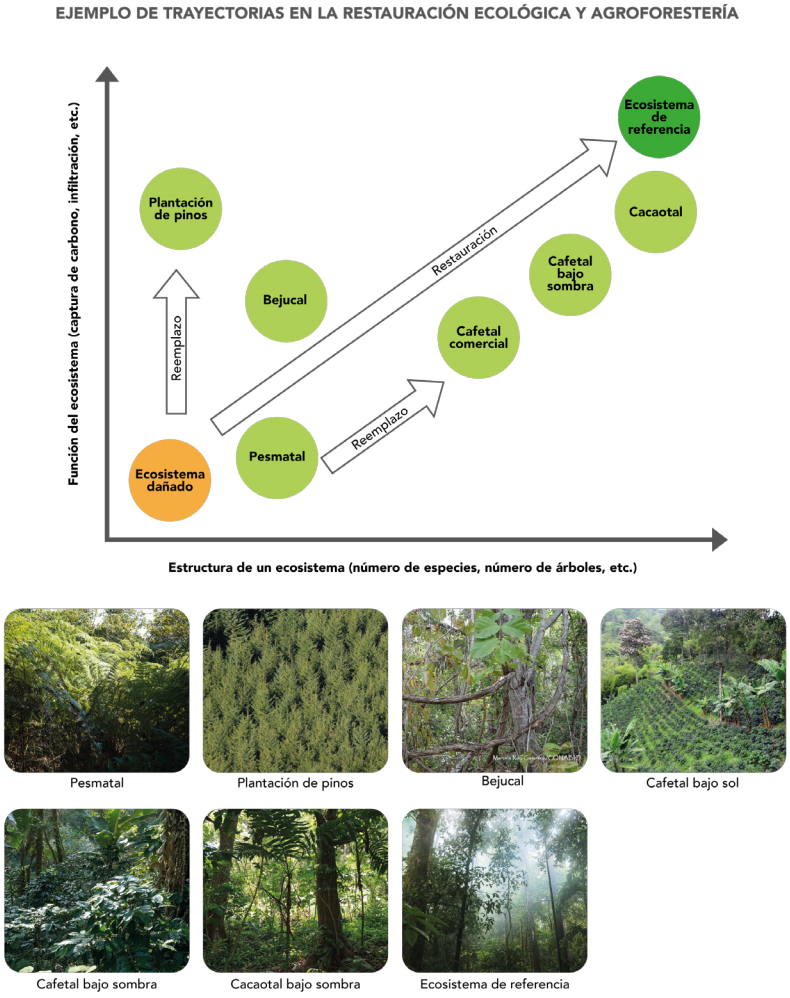


Figura 9. Ejemplos de trayectorias en la restauración ecológica y agroforestería.

Fuente: elaboración propia.

2.3 SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA (RE)

Las técnicas de restauración deben ajustarse al tipo de disturbio y a las condiciones actuales del sitio. El primer paso en las intervenciones de RE es suprimir o remover los tensores que impiden la recuperación del sitio, además de restablecer las condiciones edáficas, hidrológicas y microclimáticas.

En este documento proponemos las técnicas de restauración como un método que contempla elementos biológicos y abióticos con la capacidad de propiciar las condiciones requeridas para la creación de nuevos espacios de oportunidad para la diversidad local.

Las técnicas de restauración conciben la formación de núcleos y dejan una parte significativa de áreas expuestas para eventualidades locales (proceso de regeneración y sucesión secundaria). Para acelerar el proceso sucesional en áreas degradadas se sugiere utilizar las siguientes técnicas:

- Transposición de suelo
- Lluvia de semillas
- Madrigueras
- Perchas
- Plantación en alta densidad
- Barreras de retención de suelo

2.4 SELECCIÓN DE ESPECIES PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA (RE)

Las técnicas de restauración que contemplan la siembra de plantas deben utilizar especies que atiendan el problema que se desea resolver; por ejemplo, si se busca recuperar manantiales se necesita de plantas que favorezcan la infiltración y retengan humedad, para prevenir deslaves

se necesita tanto de especies que desarrollen raíces laterales como de especies que desarrollen raíces verticales para dar estabilidad al suelo, para proporcionar sombra y nuevas condiciones microclimáticas se requiere de plantas de hoja ancha y rápido crecimiento. Se recomienda que las especies seleccionadas sean parte del ecosistema de referencia o den paso a su formación.

Es importante identificar si se tiene el tiempo y la capacidad para montar un vivero o si las plantas serán adquiridas, puesto que en la RE las plantas usadas deben gozar de un buen sistema radicular, lignificación, vigor y una altura proporcional a su contenedor de producción. Además, previo a la siembra las plantas deben acondicionarse y prepararse para el traslado y las condiciones del campo.



Ejemplo de un árbol de haya o álamo (Platanus mexicana) con un fuerte sistema de raíces que se puede usar para estabilizar orillas de ríos y taludes. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Ejemplo de un arbusto de hoja ancha (Wigandia urens) para dar sombra a los sistemas agroforestales.

Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

2.5 DECÁLOGO PARA EL MANEJO DE SEMILLAS

Los proyectos que requieren de plantas o semillas en las intervenciones de restauración deben contemplar los siguientes puntos:

1. Examinar que el estado del árbol sea seguro para recolectar.
2. Verificar la madurez de las semillas antes de recolectarlas.

3. Revisar que no tenga plagas el árbol, frutos y semillas.

4. Recolectar los frutos de al menos 5 árboles diferentes de la misma especie.

5. Recolectar sólo el 10 % de frutos en cada árbol.

6. Realizar la recolecta directamente del árbol, no recolectar del suelo.

7. Llenar una ficha de recolecta con datos del árbol madre y las condiciones del sitio (Mandar a figura con la ficha de recolecta). Estos datos permiten dar trazabilidad a semillas y plantas.

8. Almacenar los frutos en bolsas de manta, papel o costales de yute para favorecer la respiración.

9. Beneficiar las semillas lo más pronto posible.

10. No exponer las semillas al sol o lluvia y evitar mantenerlas en un vehículo cerrado.

11. Seleccionar las semillas de primera calidad.

12. Realizar una prueba de viabilidad o capacidad germinativa, por ejemplo una prueba de flotación o tinción con tetrazolio.

13. Realizar el tratamiento pre-germinativo a la semilla antes de sembrarla.

14. Almacenar las semillas en recipientes de vidrio en un lugar seco o en refrigeración, sólo las ortodoxas, las recalcitrantes se deben sembrar de inmediato.



Recolecta de semillas con lona y garrocha. Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Llenado de formato de recolecta.

Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



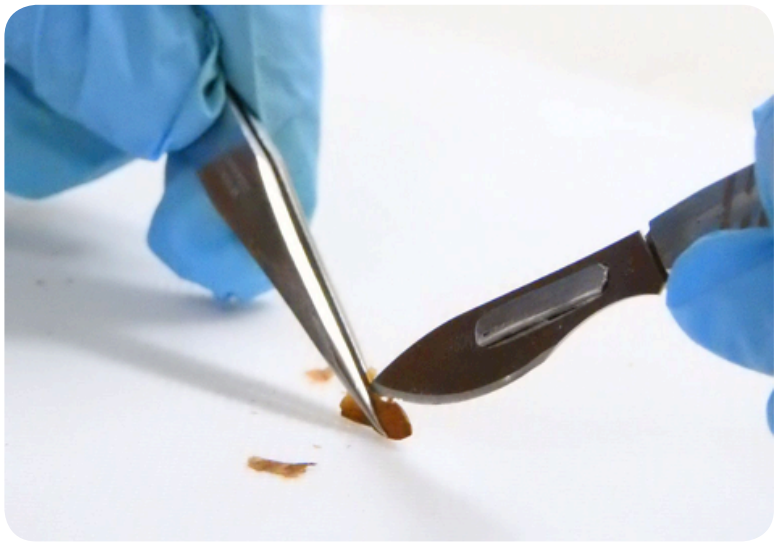
Beneficiado del fruto.

Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Selección de semillas de calidad.

Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Prueba de viabilidad por corte.

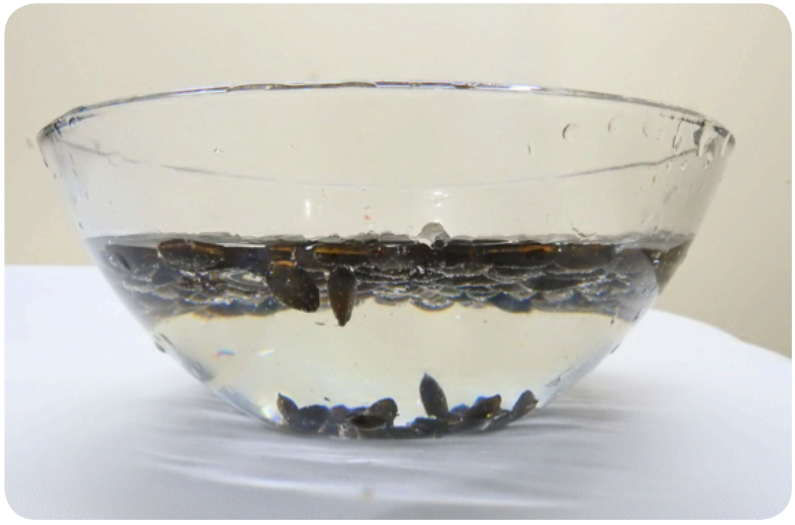
Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.





Prueba de viabilidad por tinción con tetrazolio.

Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Prueba de viabilidad por flotación.

Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.



Tratamiento pregerminativo hirviendo las semillas.

Fotografía: Red de Viveros de Biodiversidad A.C.

3. Ejecución

3.1 DISEÑO MI PROYECTO PARA LA ACCIÓN

Al momento de diseñar se debe tener claro cuáles serán los insumos y materiales a utilizar para preparar los movimientos logísticos como el transporte de herramientas y descarga de insumos, considerando siempre los puntos de acceso.

El diseño de las intervenciones debe adecuarse a las condiciones físicas del terreno como la accesibilidad, inclinación de la pendiente y fase sucesional en que se encuentra. Además se debe considerar la duración del proyecto, recursos económicos y la capacidad técnica.

En la RE utilizando técnicas de restauración se sugiere combinar sus variantes en un mismo sitio para potencializar el proceso regenerativo. De acuerdo a la trayectoria de la vegetación que se desea intervenir se sugiere utilizar la siguiente densidad y combinación de técnicas.

TABLA 2. INTENSIDAD DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN EN RELACIÓN A LA FASE SUCESIONAL EN LA QUE SE ENCUENTRA EL SITIO.

Técnica	no/Ha	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Transposición de suelo (núcleos)	100 a 200	x	x		
Lluvia de semillas (Núcleos)	100 a 200	x	x		
Perchas	16	x			
Madrigueras	9	x	x	x	x
Grupos Anderson	200 a 400	x	x		

Fuente: elaboración propia.

Ejemplos de diseños agroforestales

Diseño a microescala

Este tipo de diseño corresponde a una representación pequeña del paisaje, pero con información detallada y específica de lo que se muestra. El diseño a microescala suele ser inferior a una escala menor a 1:150 y mostrar detalles a nivel de centímetros y metros. Generalmente se utiliza en temas de reforestación urbana, paisajismo y jardinería. A continuación, se muestra un diseño de reforestación urbana a alta densidad con el método Miyawaki. El mapa muestra una jardinera pequeña en donde se colocan plantas, con diferentes especies, con diferente función, en cuadrantes de 1 m^2 y 7 plantas en cada uno.

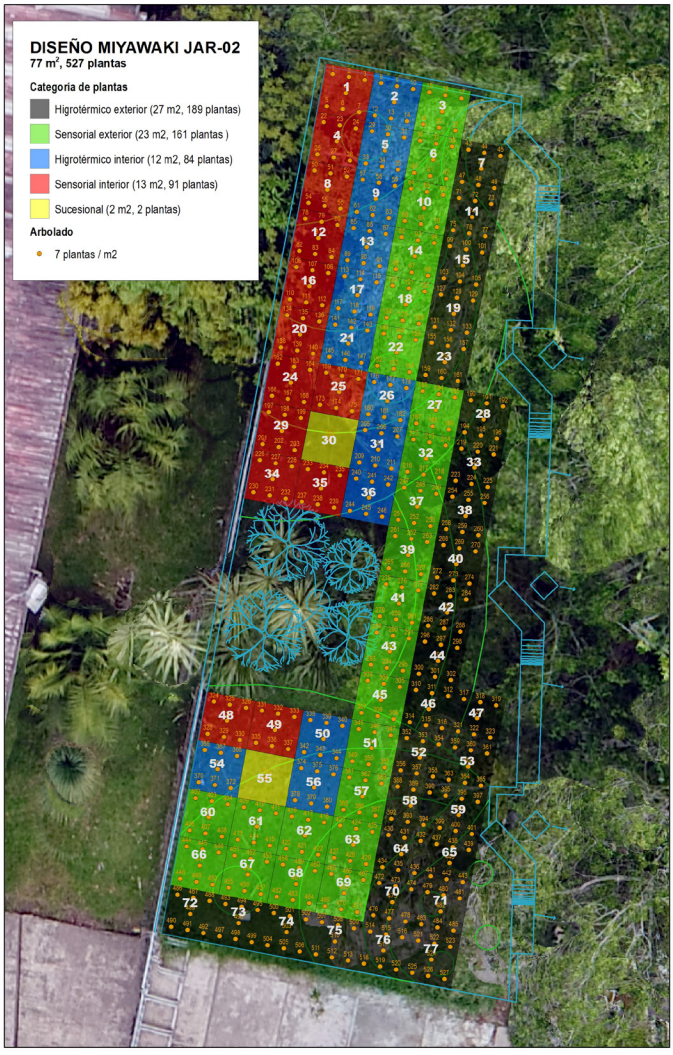


Figura 10. Diseño Miyawaki. Fuente: elaboración propia.

Diseño a mesoescala

Los diseños de este tipo muestran más detalles del medio físico y pueden contar con información similar a los diseños de microescala. La escala utilizada suele ser superior a 1:500 y mostrar detalles a nivel de metros. Son diseños ideales para proyectos agroforestales. El siguiente diseño muestra en sistema agroforestal a curvas de nivel en el que siembran plantas de diferentes especies, con diferente funcionalidad, en dos sitios diferentes.

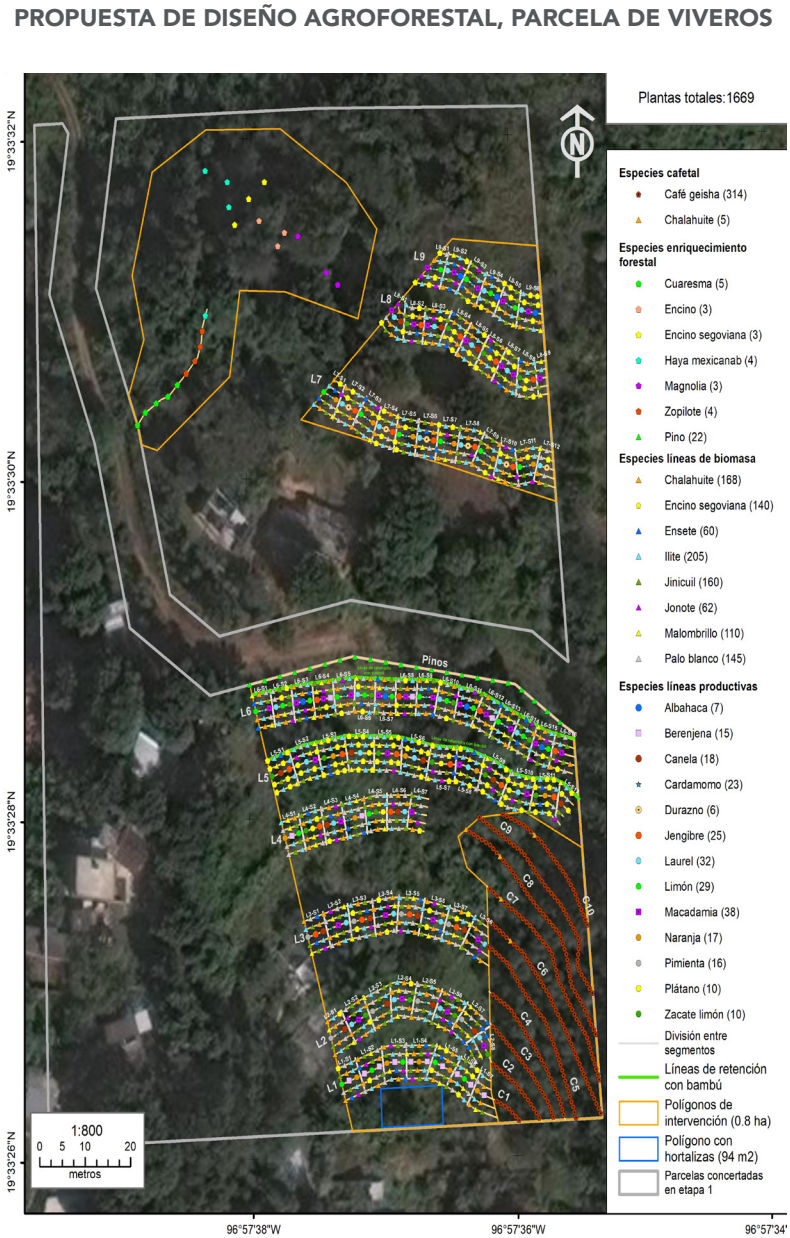


Figura 11. Diseño agroforestal sucesional. Fuente: elaboración propia.

Diseño a macroescala

Estos diseños muestran una porción significativa del paisaje, pero muestran detalles más generales. Se utilizan en la planeación y la clasificación del paisaje con base en temas de interés, por ejemplo; usos de suelo, vegetación, utilidad, etc. Suelen ser superiores a escala 1:5000 y mostrar detalles de kilómetros, sin embargo, pueden variar según la superficie en cuestión. Enseguida se muestra un diseño en el que se clasifica un predio según su integridad ecológica y otro con una zonificación con base en el uso de suelo y las actividades que se pretende realizar.

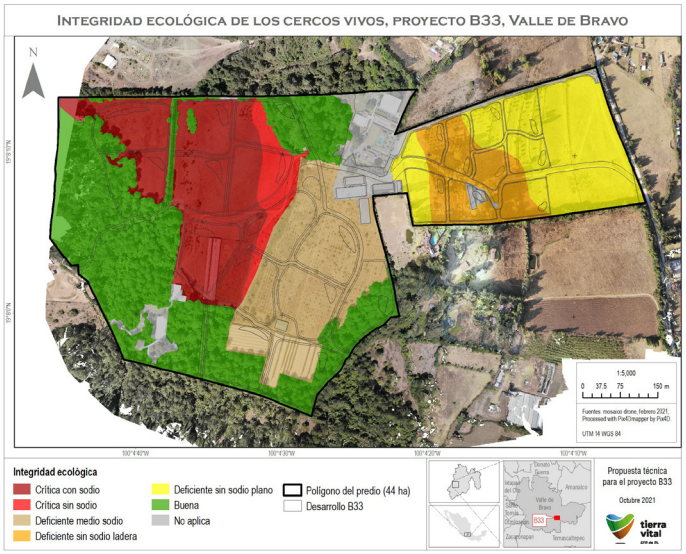


Figura 12. Ejemplo de zonificación de predio, Valle de Bravo. Fuente: Tierra Vital, 2021.

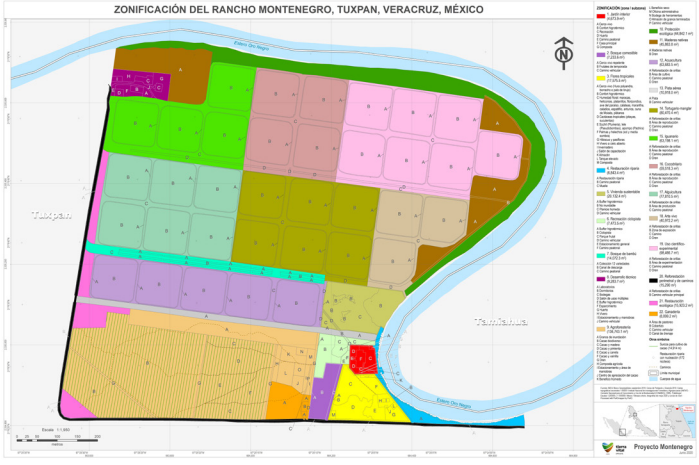


Figura 13. Ejemplo de zonificación de predio, Montenegro. Fuente: Tierra Vital, 2021.

4. COMPENDIO DE FICHAS TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

4.1 ¿CÓMO USAR ESTAS FICHAS?

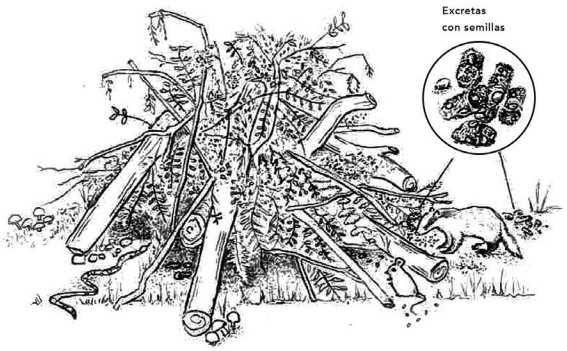
Título del compendio de fichas

Organizaciones responsables de la elaboración de estas fichas

Técnicas de restauración

Nombre de la técnica

Madrigueras artificiales



Esquema general de la técnica

Las madrigueras ofrecen refugio y alimento para los animales y ellos llevan semillas.

Descripción

Descripción general de la técnica

En sitios altamente deteriorados o bosques sin fauna, se puede usar cualquier fuente de materia orgánica como troncos de árboles, ramas u otros materiales para formar madrigueras que ofrecen refugio para muchos animales como roedores, serpientes o aves. También se ofrece alimento para los insectos que se alimentan de la madera en descomposición y animales como armadillos llegan a alimentarse de estos insectos, iniciando una interacción ecológica. Estos animales llevan semillas en su pelaje, las dejan con sus excretas y muchos roedores guardan sus semillas en las madrigueras, que luego olvidan y germinan iniciando un proceso de regeneración natural. Por otro lado, la madera en descomposición produce hongos y materia orgánica que se incorpora al suelo para enriquecerlo.

www.cityadapt.com / www.revivemx.org

80

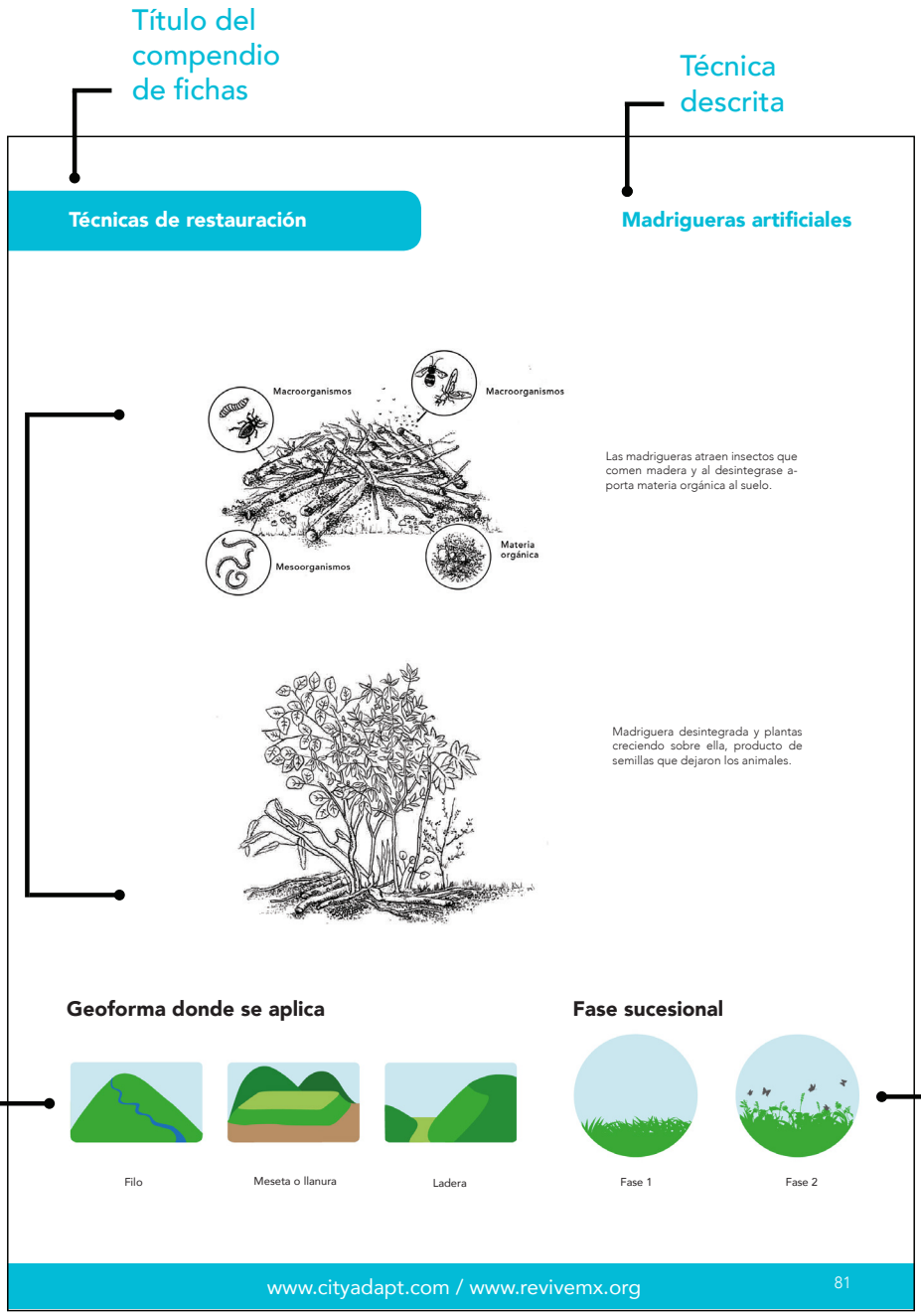
Sitios web de organizaciones responsables de la elaboración de estas fichas

Número de página

¿CÓMO USAR ESTAS FICHAS?

Título del compendio de fichas

Técnica descrita



Esquemas para identificar algunos procesos en la elaboración de la técnica

Principales geoformas en donde puede aplicarse la técnica

Fases sucesionales donde se aplica la técnica

Sitios web de organizaciones responsables de la elaboración de estas fichas

Número de página

¿CÓMO USAR ESTAS FICHAS?

Título del compendio de fichas

Técnica descrita

Técnicas de restauración

Madrigueras artificiales

Materiales sugeridos para elaborar la técnica

Materiales

Troncos de madera de diferentes grosores y tamaños, ramas y piedras.



Acomodo de troncos apoyando unos sobre otros.

Referencia de costos para elaboración de la técnica

Costos

1 madriguera construida 10 USD (Costo en 2021).



Colocación de ramas delgadas y material vegetal.

Pasos para elaborar la técnica

Método

1. Colocar troncos gruesos de madera de forma inclinada, recargando unos con otros para formar un hueco al centro. 2. Asegurar que los troncos de madera queden fijos y no se caigan. 3. Colocar encima más troncos y ramas delgadas. 4. Finalmente se puede agregar material vegetal como residuos de hierbas.



Vista de una madriguera terminada.

Imágenes para identificar algunos procesos en la elaboración de la técnica

www.cityadapt.com / www.revivemx.org

82

Sitios web de organizaciones responsables de la elaboración de estas fichas

Número de página

¿CÓMO USAR ESTAS FICHAS?

Título del compendio de fichas

Técnica descrita

Técnicas de restauración

Madrigueras artificiales



Mamíferos visitando una madriguera.



Madriguera desintegrada en un sitio restaurado.

Imágenes para identificar algunos procesos en la elaboración de la técnica

Recomendaciones

Se pueden usar piedras y cualquier madera, el diseño de madriguera también puede variar. Se recomienda instalar 9 madrigueras por hectárea, una a cada 25 metros.

Recomendaciones útiles para realizar la técnica

Referencias

1. Reis A et al. 2003. Técnicas para restauración a través de nucleación. 2. Reis A et al. 2003b. Restauración de áreas degradadas: La nucleación como base para incrementar los procesos sucesionales.

Fuentes consultadas

Amenazas climáticas que puede ayudar a mitigar

Amenazas

Erosión de suelo

Servicios ecosistémicos que pueden proporcionar o conservar

Provisión de alimentos

Restauración de la conectividad

Mejora en la biodiversidad

Iconografía de amenazas que la técnica puede ayudar a mitigar.

Iconografía de servicios ambientales que la técnica puede ayudar a proporcionar o conservar.

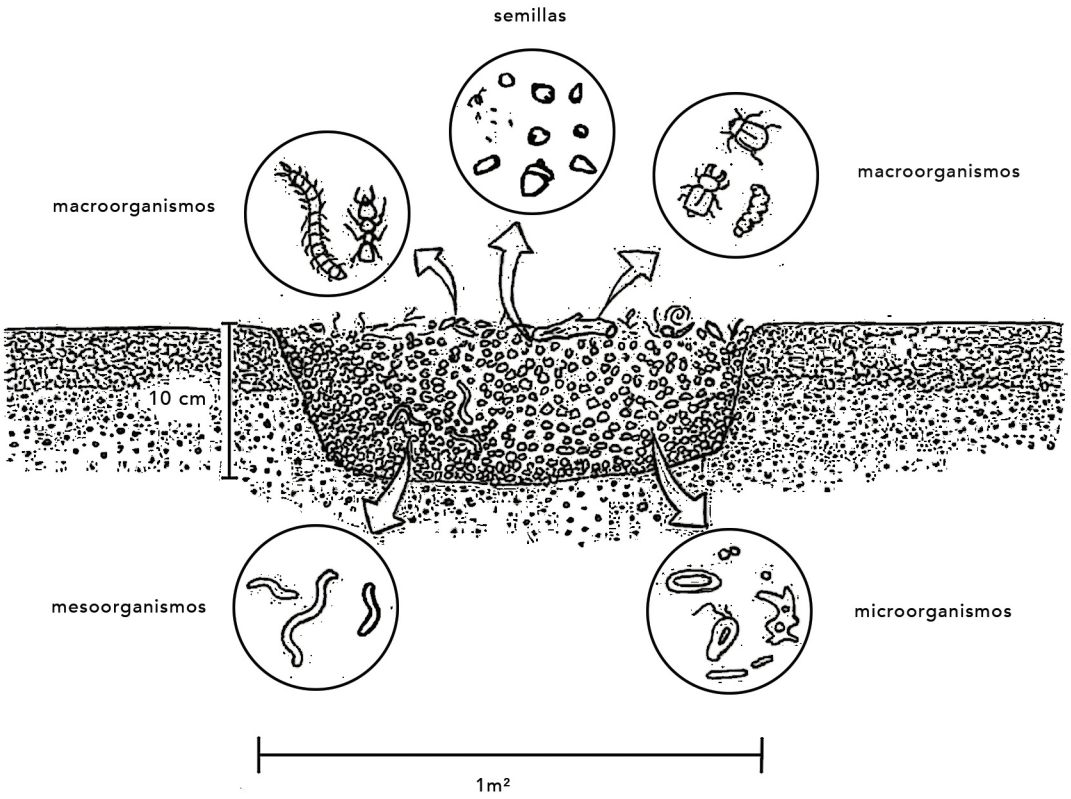
Cómo citar

Ramírez-Soto, A.F., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I.M., Gutiérrez-Sosa, G.H., Gómez-Sánchez, I., Contreras-Huerta, I., Angón-Rodríguez, S.A., García-Coll, I. 2022. Madrigueas Artificiales. En: Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña. La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería. CityAdapt, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México. 80-83 pp.

Sitios web de organizaciones responsables de la elaboración de estas fichas

Número de página

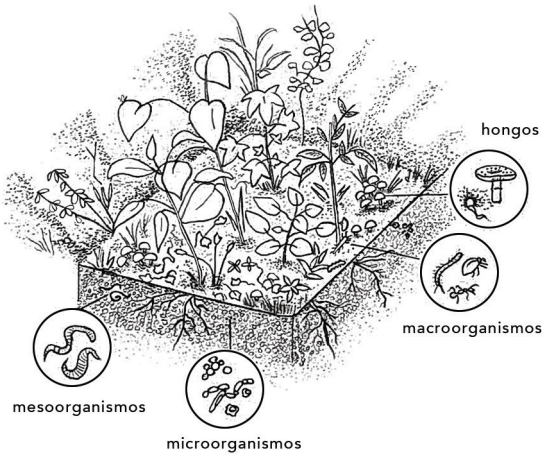
Transposición de suelo



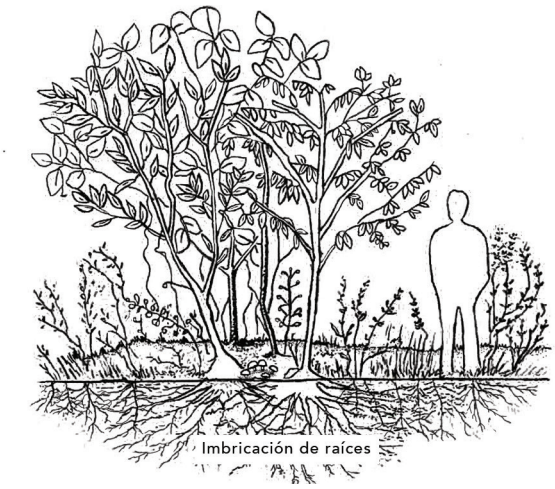
Técnica de trasposición de suelo que muestra la riqueza biológica de un suelo saludable.

Descripción

El suelo es la base más importante para el crecimiento de las plantas, les da soporte, anclaje, nutrientes, agua y aire. Además es el hábitat de microorganismos que ayudan a descomponer la materia orgánica, permiten a las plantas absorber los nutrientes y agua con mayor facilidad y dan estructura al suelo. La técnica de transposición de suelo ayuda a recuperar el suelo en ecosistemas destruidos o deteriorados, reiniciando el proceso de sucesión ecológica. Consiste en extraer núcleos de suelo de 1 metro cuadrado por 10 cm de profundidad, de bosques saludables para llevarlos a sembrar a un sitio degradado. Este suelo lleva microorganismos del bosque, hongos y bacterias que ayudarán a dar fertilidad y estructura al suelo, ayudando al desarrollo de plantas que germinan en los núcleos de suelo, porque también van semillas de muchas especies del bosque que están latentes, esperando condiciones de luz y humedad adecuadas para poder germinar e iniciar el proceso de regeneración natural.



Germinación y desarrollo de diferentes especies de plantas y hongos en el núcleo de suelo sembrado.

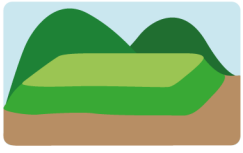


Desarrollo de una gran diversidad de plantas e imbricación de raíces en el suelo después de unos años.

Geoforma donde se aplica



Filo



Meseta o llanura



Ladera

Fase sucesional



Fase 1



Fase 2

Materiales

GPS, flexómetro, rastrillo o escoba metálica, pala, costales, hilo para amarre.

Costos

Núcleo de 1 m² de suelo recolectado y sembrado: 10 USD (costo en el año 2021).

Método

1. Identificar previamente el bosque de donde se va a extraer el suelo, debe estar cerca del sitio de restauración. 2. Identificar un punto, medir un metro cuadrado, limpiar si tiene hierbas, hojas y ramas. 3. Recoger el suelo de los primeros 10 cm con ayuda de un rastrillo o una pala. 4. Poner el suelo dentro de un costal, amarrar y etiquetar con coordenadas y fecha de colecta. 5. Cubrir la superficie de donde se extrajo el suelo con ramas y hojas. 6. Llevar el suelo colectado a germinar a un sitio controlado, puede ser en macetas, regar y observar los resultados de germinación después de 30 días. 7. Si los resultados fueron buenos proceder a una recolecta mayor y llevar al sitio donde se va a sembrar, medir un metro cuadrado y excavar 10 cm de profundidad. 8. Colocar el suelo en el sitio, distribuirlo homogeneamente y regar en caso de estar demasiado seco. 9. Agregar semillas previamente humedecidas de especies de arbustos y árboles de rápido crecimiento para un mayor éxito. 10. Colocar señalización para su posterior identificación, puede ser una estaca o cinta de color. 11. Tomar las coordenadas con el GPS.



Cuatro meses después de su implementación.



El suelo se recoge con un rastrillo o una pala.



Poner el suelo en un costal para transportarlo.



Siembra de suelo colectado en el sitio a restaurar.



Se agregan semillas de árboles de rápido crecimiento.

Recomendaciones

Para un mayor éxito se recomienda sincronizar la aplicación de la técnica con la temporada de lluvias para que las plantas que germinen tengan las condiciones para un buen crecimiento. Se recomienda recolectar un núcleo de suelo a cada 5 metros y se pueden sembrar 100 a 200 núcleos de suelo por hectárea.

Referencias

1. Reis A et al. 2003. Técnicas para restauración a través de nucleación. 2. Reis A et al. 2003b. Restauración de áreas degradadas: La nucleación como base para incrementar los procesos sucesionales. 3. Tres D, et al. 2007. Poleiros Artificiais e Transposição de Solo para a restauração nucleadora em Áreas Ciliares.

Amenazas climáticas que puede ayudar a mitigar

Amenazas

Erosión de suelo

Servicios ecosistemicos que pueden proporcionar o conservar

Provisión de alimentos

Conservación de suelos

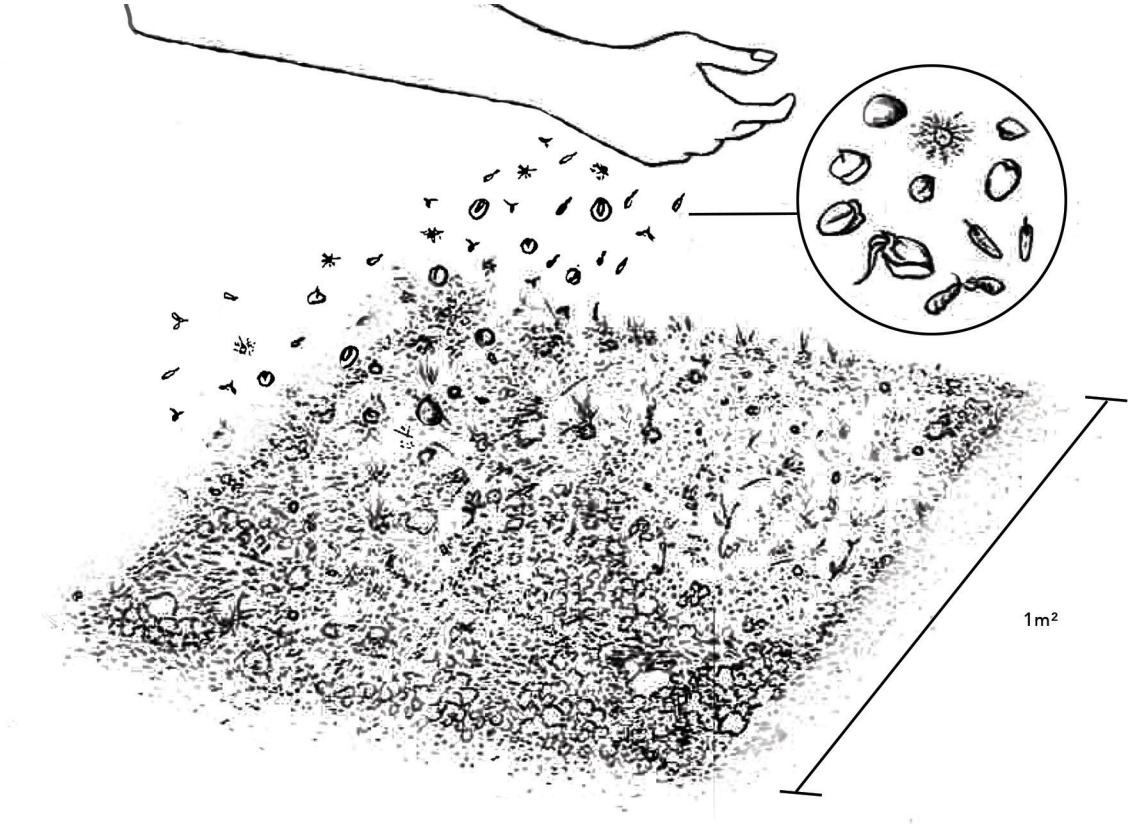
Disponibilidad de agua

Restauración de la conectividad

Cómo citar

Ramírez-Soto, A.F., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I.M., Gutiérrez-Sosa, G.H., Gómez-Sánchez, I., Contreras-Huerta, I., Angón-Rodríguez, S.A., García-Coll, I. 2022. Transposición de suelo. En: Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña. La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería. CityAdapt, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México. 68-71 pp.

Lluvia de semillas

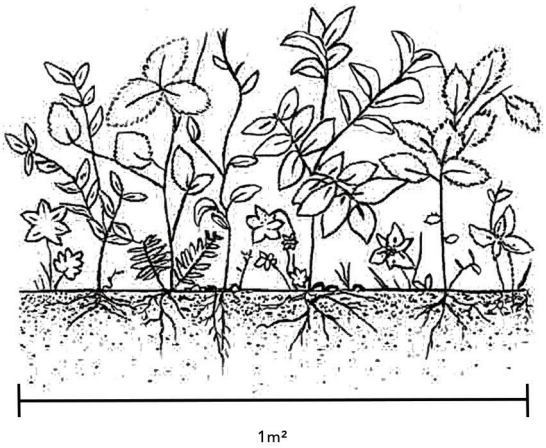


Dispersión manual de semillas de especies pioneras para promover la regeneración natural.

Descripción

En la naturaleza existen diferentes medios de dispersión de semillas (síndromes de dispersión), muchas se dispersan por el viento, otras por el agua y muchas otras por animales que las transportan en su pelaje o las comen y dispersan con sus heces, ayudando a regenerar los bosques. La técnica de lluvia de semillas trata de imitar estos procesos y consiste en el lanzamiento manual de semillas de especies pioneras, directamente en el suelo, o también se pueden sembrar semillas en los sitios a restaurar para un mayor éxito. Después de un corto tiempo estas semillas germinan ayudando a la regeneración natural de sitios degradados. Se usa en lugares dónde no existe dispersión natural de semillas y por lo tanto no hay banco de semillas en el suelo. Previamente se debe colectar o adquirir semillas viables de especies pioneras de rápido crecimiento para promover una pronta cobertura del suelo.

Lluvia de semillas



Germinación y desarrollo de diferentes especies de plantas producto de la dispersión de semillas.

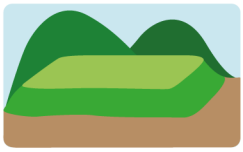


Desarrollo de diferentes especies de plantas e imbricación de raíces que ayudan a fijar el suelo.

Geoforma donde se aplica



Filo



Meseta o llanura



Ladera

Fase sucesional



Fase 1



Fase 2

Materiales

Semillas de diferentes especies, recipientes para su almacenamiento y transporte, pala jardinera, estacas para marcar el sitio de siembra.

Costos

1 m² de lluvia de semillas: 10 USD (costo en el año 2021)

Método

1. Contar con semillas viables de diferentes especies; para ello hay dos opciones: Identificar la época de dispersión de semillas y árboles semilleros; recolectar las semillas, beneficiarlas y guardarlas en frascos de vidrio hasta el momento que se van a ocupar. La otra opción es adquirirlas con algún distribuidor. 2. Antes de llevarlas a sembrar al sitio de interés deben recibir un tratamiento pregerminativo como remojo en agua por 12 horas. 3. Después del tratamiento, mezclarlas y ponerlas en recipientes para transportarlas. 4. Ya en el sitio las semillas fotoblásticas positivas (necesitan luz para germinar) se pueden dispersar al voleo. Las que no necesitan luz se entierran (50 semillas de diferentes especies / núcleo de 1 m²) y se cubren con suelo. 5. Marcar los sitios de voleo o siembra con una estaca para dar seguimiento y monitoreo. 6. A los 30 días se podrán observar las primeras plántulas que han germinado.



Vista de la técnica después de 3 meses.



Semillas de diferentes especies.



Tratamiento pregerminativo con remojo en agua.



Mezcla de semillas de diferentes especies.



Dispersión de semillas.

Recomendaciones

Usar semillas de especies pioneras, de rápido crecimiento, fijadoras de nitrógeno, con raíces profundas que permitan la percolación del agua, atractoras de fauna, que aporten materia orgánica. Sincronizar la aplicación de la técnica con la temporada de lluvias para mayor éxito. Se recomienda aplicar la técnica combinada con la transposición de suelo. Sembrar 100 a 200 núcleos de semilla por hectárea.

Referencias

1. Reis A et al. 2003. Técnicas para restauración a través de nucleación. 2. Reis A et al. 2003b. Restauración de áreas degradadas: La nucleación como base para incrementar los procesos sucesionales. 3. Tres D et al. 2007. Banco e Chuva de Sementes como Indicadores para a restauração ecológica de Matas Ciliares.

Amenazas climáticas que puede ayudar a mitigar



Amenazas



Derrumbes



Daño en cultivos



Erosión

Servicios ecosistémicos que pueden proporcionar o conservar



Conservación de suelos

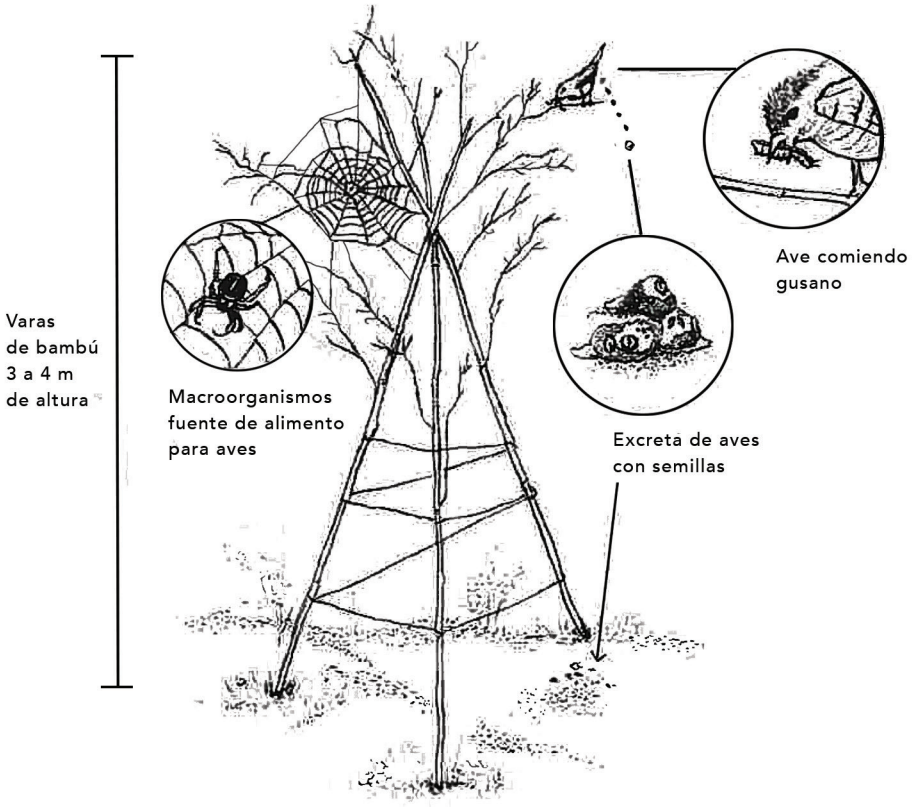


Restauración de la conectividad

Cómo citar

Ramírez-Soto, A.F., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I.M., Gutiérrez-Sosa, G.H., Gómez-Sánchez, I., Contreras-Huerta, I., Angón-Rodríguez, S.A., García-Coll, I. 2022. Lluvia de semillas. En: Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña. La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería. CityAdapt, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México. 72-75 pp.

Perchas artificiales

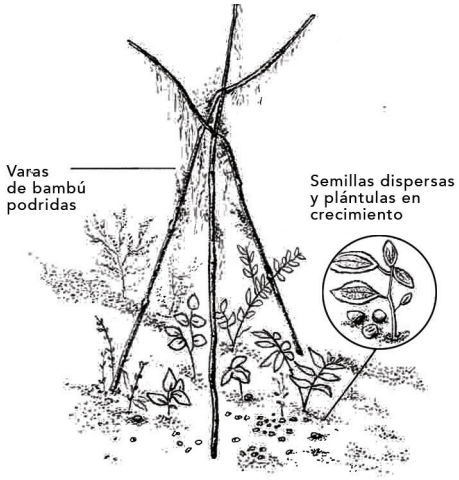


Las perchas atraen dispersores de semillas que ayudan a la regeneración del bosque.

Descripción

La regeneración de un sitio degradado depende de la llegada de semillas y las aves y murciélagos son los dispersores más efectivos a través de sus heces y caída de frutos durante su transporte. Estos animales utilizan árboles aislados, secos u alguna otra percha para descansar, alimentarse, como residencia o como letrinas, por lo que naturalmente se forman núcleos de regeneración de alta diversidad alrededor de estos árboles aislados ayudando a la sucesión ecológica. La técnica de perchas artificiales consiste precisamente en la colocación de estructuras que funcionan como posaderos para aves y murciélagos en campos abiertos, donde no hay sitios para posarse. Los árboles muertos en pie son perchas excelentes para las interacciones ecológicas ya que al descomponerse llegan insectos a alimentarse de la madera, las aves llegan a alimentarse de los insectos y los pájaros carpinteros y otros guardan bellotas en estos árboles, muchas caen, otras las olvidan y pueden empezar a germinar alrededor del árbol seco.

Perchas artificiales



Plántulas germinando y creciendo bajo la percha, producto de la dispersión de semillas por aves.

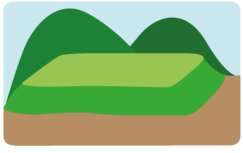


Núcleo de plantas desarrolladas de diferentes especies y percha desintegrada.

Geoforma donde se aplica



Filo



Meseta o llanura



Ladera

Fase sucesional



Fase 1

Materiales

Varas de bambú de 3 a 4 metros con ramas, hilo o alambre para amarrar.

Costos

1 percha de 3 varas de bambú instalada 5 USD (Costo en 2021).

Método

1. Tomar tres varas de bambú con ramas y atarlas juntas cerca de la punta. 2. Por el extremo inferior, separar las tres varas formando un triángulo y enterrarlas en el suelo tratando de que queden bien fijas. 3. separar las ramas para ofrecer espacios para que las aves puedan posarse. 4. Otro tipo de percha consiste en quitar la corteza a algunos árboles en plantaciones monoespecíficas (de una sola especie) o de especies invasoras para que mueran y queden de pie, atrayendo insectos, aves y murciélagos quienes ayudarán a incrementar la diversidad de plantas a través de la dispersión de semillas.



Perchas de bambú instaladas.



Colocación de la percha formando un triángulo.



Descortezado de árboles para que funcionen como perchas.



Árbol seco descortezado que funciona como percha.



Sitio restaurado donde aún se observa la percha.

Recomendaciones

Usar varas de bambú o de árboles con abundantes ramas. Se recomienda instalar 16 perchas de bambú por hectárea, una a cada 20 metros y para el caso de perchas de árboles se recomienda matar 10 árboles por hectárea, uno a cada 30 metros.

Referencias

1. Reis A et al. 2003. Técnicas para restauración a través de nucleación. 2. Reis A et al. 2003b. Restauración de áreas degradadas: La nucleación como base para incrementar los procesos sucesionales. 3. Tres D, et al. 2007. Poleiros Artificiais e Transposição de Solo para a restauração nucleadora em Áreas Ciliares.

Amenazas climáticas que puede ayudar a mitigar

Amenazas

Erosión de suelo

Servicios ecosistémicos que pueden proporcionar o conservar

Provisión de alimentos

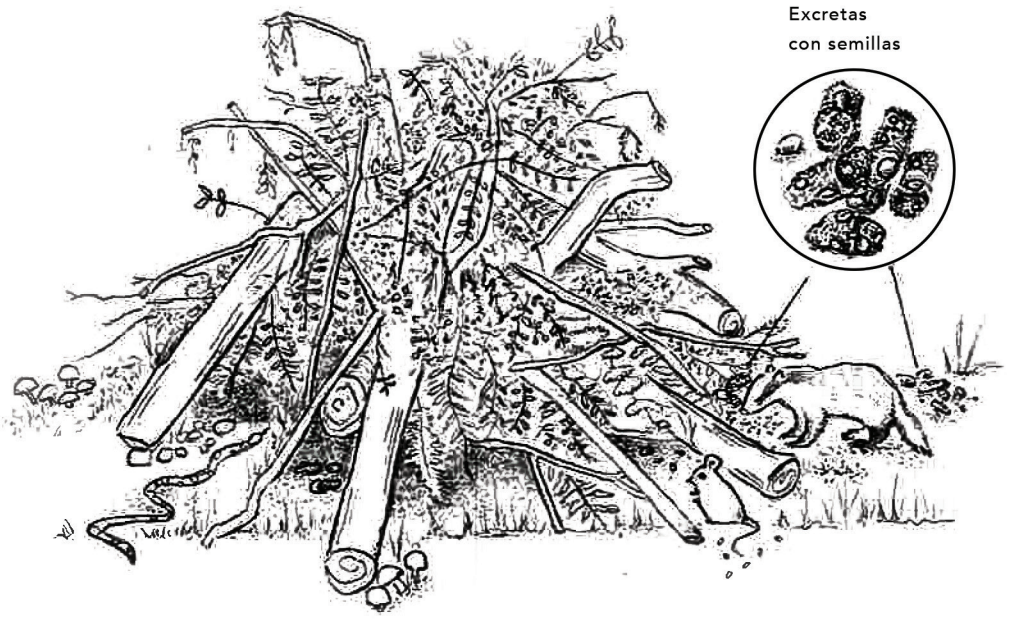
Restauración de la conectividad

Mejora en la biodiversidad

Cómo citar

Ramírez-Soto, A.F., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I.M., Gutiérrez-Sosa, G.H., Gómez-Sánchez, I., Contreras-Huerta, I., Angón-Rodríguez, S.A., García-Coll, I. 2022. Perchas artificiales. En: Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña. La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería. CityAdapt, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México. 76-79 pp.

Madrigueras artificiales

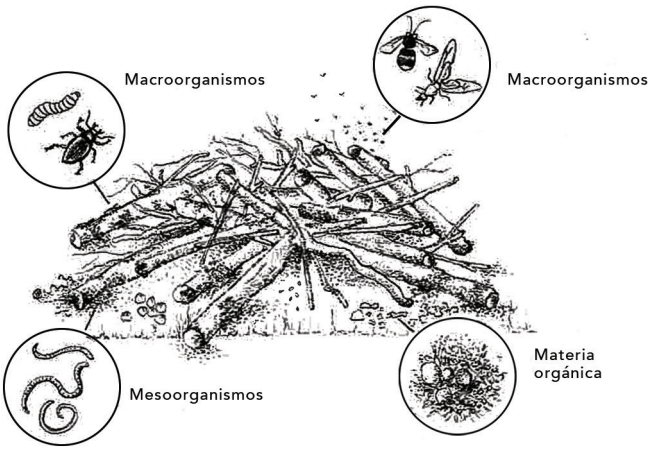


Las madrigueras ofrecen refugio y alimento para los animales y ellos llevan semillas.

Descripción

En sitios altamente deteriorados o bosques sin fauna, se puede usar cualquier fuente de materia orgánica como troncos de árboles, ramas u otros materiales para formar madrigueras que ofrecen refugio para muchos animales como roedores, serpientes o aves. También se ofrece alimento para los insectos que se alimentan de la madera en descomposición y animales como armadillos llegan a alimentarse de estos insectos, iniciando una interacción ecológica. Estos animales llevan semillas en su pelaje, las dejan con sus excretas y muchos roedores guardan sus semillas en las madrigueras, que luego olvidan y germinan iniciando un proceso de regeneración natural. Por otro lado, la madera en descomposición produce hongos y materia orgánica que se incorpora al suelo para enriquecerlo.

Madrigueras artificiales



Las madrigueras atraen insectos que comen madera y al desintegrase aporta materia orgánica al suelo.

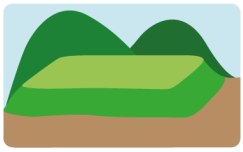


Madriguera desintegrada y plantas creciendo sobre ella, producto de semillas que dejaron los animales.

Geoforma donde se aplica



Filo



Meseta o llanura



Ladera

Fase sucesional



Fase 1



Fase 2

Materiales

Troncos de madera de diferentes grosores y tamaños, ramas y piedras.

Costos

1 madriguera construida 10 USD (Costo en 2021).

Método

1. Colocar troncos gruesos de madera de forma inclinada, recargando unos con otros para formar un hueco al centro. 2. Asegurar que los troncos de madera queden fijos y no se caigan. 3. Colocar encima más troncos y ramas delgadas. 4. Finalmente se puede agregar material vegetal como residuos de hierbas.



Acomodo de troncos apoyando unos sobre otros.



Colocación de ramas delgadas y material vegetal.



Vista de una madriguera terminada.



Mamíferos visitando una madriguera.



Madriguera desintegrada en un sitio restaurado.

Recomendaciones

Se pueden usar piedras y cualquier madera, el diseño de madriguera también puede variar. Se recomienda instalar 9 madrigueras por hectárea, una a cada 25 metros.

Referencias

1. Reis A et al. 2003. Técnicas para restauración a través de nucleación. 2. Reis A et al. 2003b. Restauración de áreas degradadas: La nucleación como base para incrementar los procesos sucesionales.

Amenazas climáticas que puede ayudar a mitigar

Amenazas

Erosión de suelo

Servicios ecosistémicos que pueden proporcionar o conservar

Provisión de alimentos

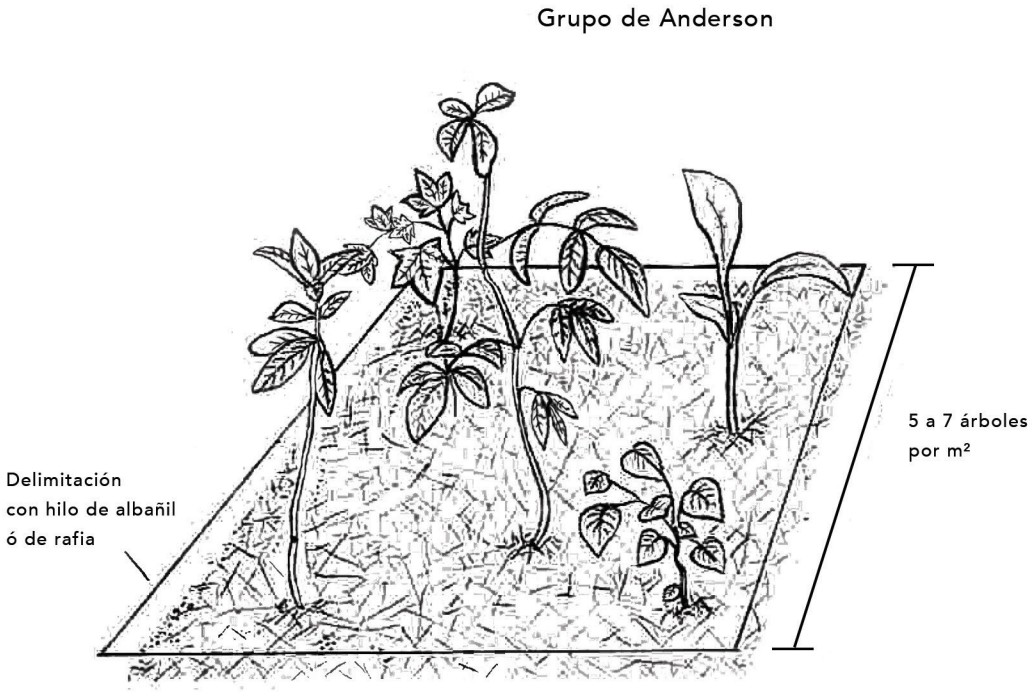
Restauración de la conectividad

Mejora en la biodiversidad

Cómo citar

Ramírez-Soto, A.F., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I.M., Gutiérrez-Sosa, G.H., Gómez-Sánchez, I., Contreras-Huerta, I., Angón-Rodríguez, S.A., García-Coll, I. 2022. Madrigueras artificiales. En: Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña. La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería. CityAdapt, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México. 80-83 pp.

Plantación en grupos de alta densidad (grupos Anderson-Miyawaki)

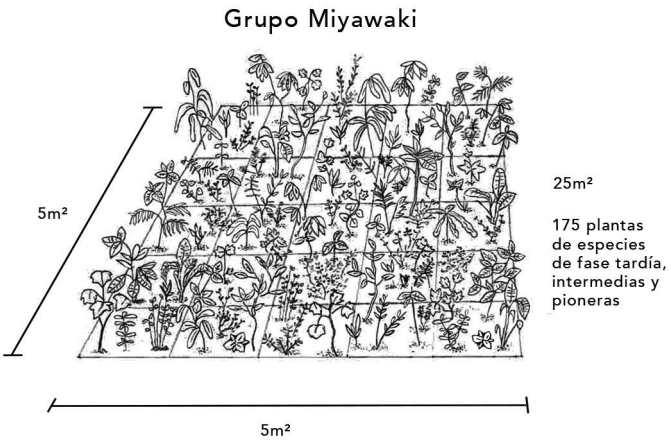


5 plantas de diferentes especies en un metro cuadrado, al centro una de lento crecimiento.

Descripción

A través de técnicas de reforestación en núcleos de alta densidad, con plantas de vivero, se busca una rápida recuperación del bosque y sus elementos. Una alta diversidad de plantas atrae también una mayor diversidad de animales para áreas degradadas, por lo que es necesario el uso de muchas especies de plantas. El uso de especies que florecen y fructifican rápidamente atraen polinizadores, dispersores, depredadores y descomponedores a estos núcleos para iniciar el proceso de recuperación. La siembra a alta densidad emplea de 5 a 7 árboles por metro cuadrado, de diferentes especies y etapas sucesionales, pioneras, intermedias y tardías; hierbas, arbustos y árboles, de preferencia de especies nativas. Los núcleos o cuadrantes de siembra se pueden establecer a cada 5 o 10 metros entre uno y otro y las dimensiones de cada núcleo pueden variar, ya sea de 1 metro cuadrado, 2 metros cuadrados o 5 metros cuadrados. Con esta densidad de siembra podemos recuperar un bosque diez veces más rápido que de forma tradicional.

Plantación en grupos de alta densidad (grupos Anderson- Miyawaki)



Método Miyawaki con 175 plantas de diferentes especies y fases sucesionales en 5 metros cuadrados.

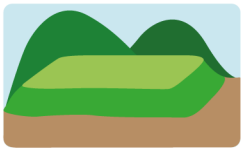


Empleando esta técnica podemos recuperar un bosque diez veces más rápido que de forma tradicional.

Geoforma donde se aplica



Filo



Meseta o llanura



Ladera

Fase sucesional



Fase 1



Fase 2

Plantación en grupos de alta densidad (grupos Anderson- Miyawaki)

Materiales

Plantas de vivero de diferentes especies, estratos y fases sucesionales. Flexómetro, cinta o hilo para marcar los cuadrantes, azadón, rastrillo, pala, agua, material para acolchado.

Costos

1 núcleo de 1 m² con 7 plantas 20 USD (Costo en 2021).

Método

1. Medir el cuadrante con un flexómetro o cinta métrica, colocar estacas en cada esquina y delimitar con hilo de albañil o de rafia. 2. Realizar la limpieza completa del cuadrante, dejando el suelo libre de raíces de malezas. 3. Colocar estacas en el lugar de siembra de cada planta. 4. Elaborar las cepas u hoyos. Si es posible llenarlos con agua y volver a colocar el suelo extraído, colocando la estaca al centro de la cepa nuevamente. 5. Realizar la siembra de plantas de diferentes especies. 6. Tomar datos de las plantas sembradas: especie, altura, diámetro. 7. Regar nuevamente. 8. Colocar algún material de acolchado de 5 cm de espesor para mantener la humedad en el suelo y controlar la emergencia de malezas, puede ser cartón, corteza triturada, paja, ramas delgadas con hojas, hojas y tallos de plátano, etc.



Vista de la técnica después de 3 meses.



Limpieza del cuadrante.



Estacas que indican la siembra de cada planta.

Plantación en grupos de alta densidad (grupos Anderson- Miyawaki)



Siembra de plantas de diferentes especies.



Acolchado con materiales locales para mantener la humedad.

Recomendaciones

Sincronizar la aplicación de la técnica con la temporada de lluvias para mayor éxito. Emplear plantas nativas de muchas especies. Emplear el acolchado más fácil de obtener en su zona. Se recomiendan de 200 a 400 cuadrantes por hectárea.

Referencias

1. Reis A et al. 2003. Técnicas para restauración a través de nucleación. 2. Miyawaki A. 2014. The Japanese and Chinju-no-mori Tsunami-protecting forest after the Great East Japan Earthquake 2011. 3.

Amenazas climáticas que puede ayudar a mitigar



Amenazas



Erosión de suelo



Inundación



Derrumbes

Servicios ecosistémicos que pueden proporcionar o conservar



Disponibilidad de agua



Restauración de la conectividad



Mejora en la biodiversidad

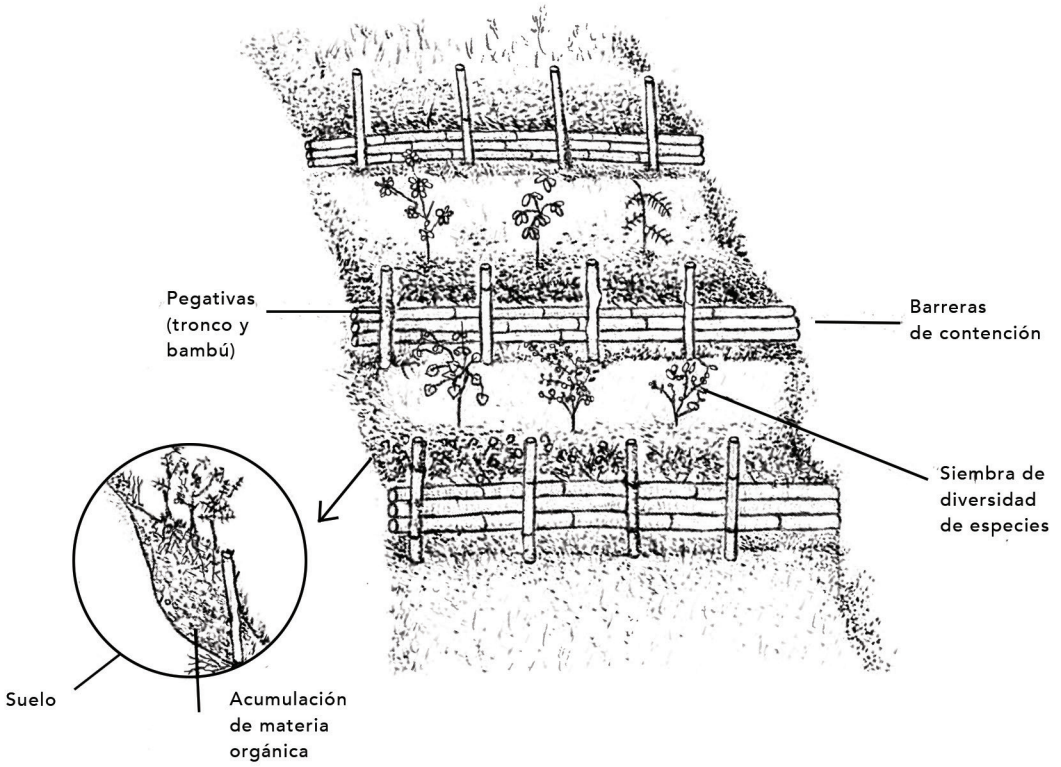


Conservación de suelos

Cómo citar

Ramírez-Soto, A.F., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I.M., Gutiérrez-Sosa, G.H., Gómez-Sánchez, I., Contreras-Huerta, I., Angón-Rodríguez, S.A., García-Coll, I. 2022. Plantación en grupos de alta densidad (grupos Anderson-Miyawaki). En: Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña. La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería. CityAdapt, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México. 84-87 pp.

Barrera de retención de suelo, técnica complementaria de restauración ecológica

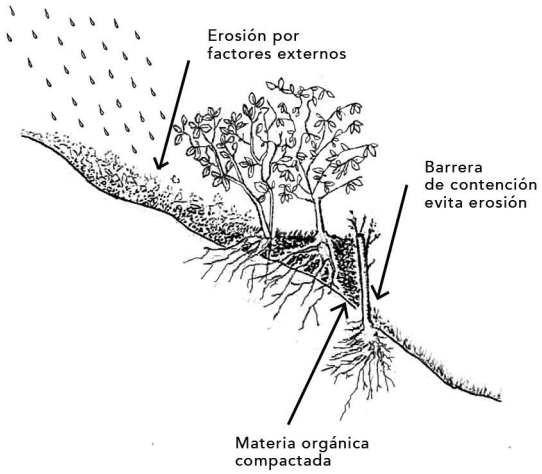


Barreas de bambú con siembra de árboles de raíces profundas para evitar erosión de suelo.

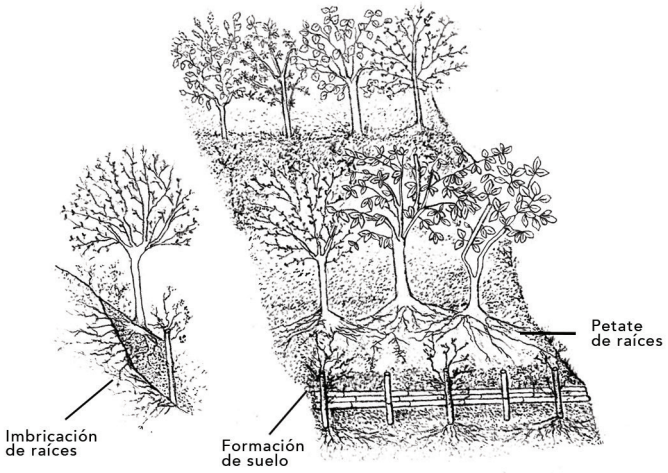
Descripción

El suelo es un recurso muy valioso para las actividades productivas y por tanto debemos cuidarlo. En sitios de laderas donde el suelo se erosiona con facilidad o se pueden presentar deslaves, las técnicas de restauración se complementan con barreras de retención de suelo que se construyen con troncos de madera que rebrotan o bambú y a la par se siembran árboles de raíces profundas que mantendrán la estabilidad del suelo cuando la barrera se degrade. Las raíces de las plantas ayudarán a estabilizar el suelo, infiltrar el agua de lluvia y la vegetación en general ayudará a disminuir el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, evitando erosión. Las barreras de bambú se instalan transversalmente a la pendiente, en curvas de nivel; la altura de la barrera va a depender del grado de la pendiente y la fragilidad del suelo, generalmente puede ser de 50 cm de alto.

Barrera de retención de suelo, técnica complementaria de restauración ecológica



La vegetación disminuye el impacto de las gotas de lluvia y en conjunto con la barrera evitan la erosión.



Las raíces de los árboles dan estabilidad al suelo, permiten la infiltración de agua evitando erosión.

Geoforma donde se aplica



Filo



Ladera

Fase sucesional



Fase 1



Fase 2

Barrera de retención de suelo, técnica complementaria de restauración ecológica

Materiales

Aparato A, flexómetro, estacas de 50 cm, varas de bambú o trozos de madera de 3 m y 4-5 pulgadas, estacas de 1 m, cavahoyos, alambre recocido, pinzas, pala, plantas de raíces profundas.

Costos

1 tramo de barrera de 3 metros lineales, 20 USD (costo en 2021)

Método

1. Trazar las curvas de nivel con ayuda del aparato A, transversalmente a la pendiente, iniciando de la parte más alta y colocar las estacas pequeñas para marcar la curva. 2. Para colocar las barreras se debe iniciar de la parte más baja de la pendiente. Con ayuda del cavahoyos realizar hoyos de 50 cm de profundidad a cada metro de distancia siguiendo la curva de nivel. 3. Enterrar las estacas de 1 m y fijarlas fuertemente, pueden ser de bambú o de árboles que rebrotan. 4. Colocar la primera línea horizontal de bambú, madera o ramas de árboles que rebrotan de 3 m de largo sobre el suelo, debe recargar sobre las estacas enterradas de 1 m y se deben sujetar con alambre recocido o cuerdas. 5. Si el suelo es muy irregular se debe acondicionar con una pala, de modo que no queden huecos por debajo del bambú. 6. Colocar las otras varas de bambú o madera sobre la primera línea, tratando de que queden bien unidas. Pueden ser 3 líneas o más, una encima de la otra. 7. Por la parte superior de la barrera construida, se rellena con ramas o piedras y se siembra una línea de árboles con raíces profundas, uno a cada metro y medio. 8. La distancia entre una barrera y otra se recomienda a una distancia de 2-3 metros.



Vista de la técnica después de 6 años.



Trazado de curvas de nivel.



Colocación de estacas gruesas.

Barrera de retención de suelo, técnica complementaria de restauración ecológica



Instalación de primera línea horizontal de bambú.



Instalación de las siguientes líneas de bambú.

Recomendaciones

Si se usa bambú, se debe cortar en luna nueva, cuando la savia está en la parte baja de las plantas para evitar que el bambú se deshidrate y no funcione. Para las estacas de 1 metro que van enterradas y las de 3 metros que van en la primera línea horizontal, se pueden usar ramas de árboles que rebrotan.

Referencias

1. Downs SM y Zilbert L. 2010. Manual de Bioingeniería, reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático. 2. Ramírez-Soto AF et al. 2021. Guía de técnicas para la restauración riparia.

Amenazas climáticas que puede ayudar a mitigar

Amenazas

Erosión de suelo

Derrumbes

Servicios ecosistémicos que pueden proporcionar o conservar

Disponibilidad de agua

Conservación de suelos

Cómo citar

Ramírez-Soto, A.F., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I.M., Gutiérrez-Sosa, G.H., Gómez-Sánchez, I., Contreras-Huerta, I., Angón-Rodríguez, S.A., García-Coll, I. 2022. Barrera de retención de suelo, técnica complementaria de restauración ecológica. En: Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña. La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería. CityAdapt, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México. 88-91 pp.

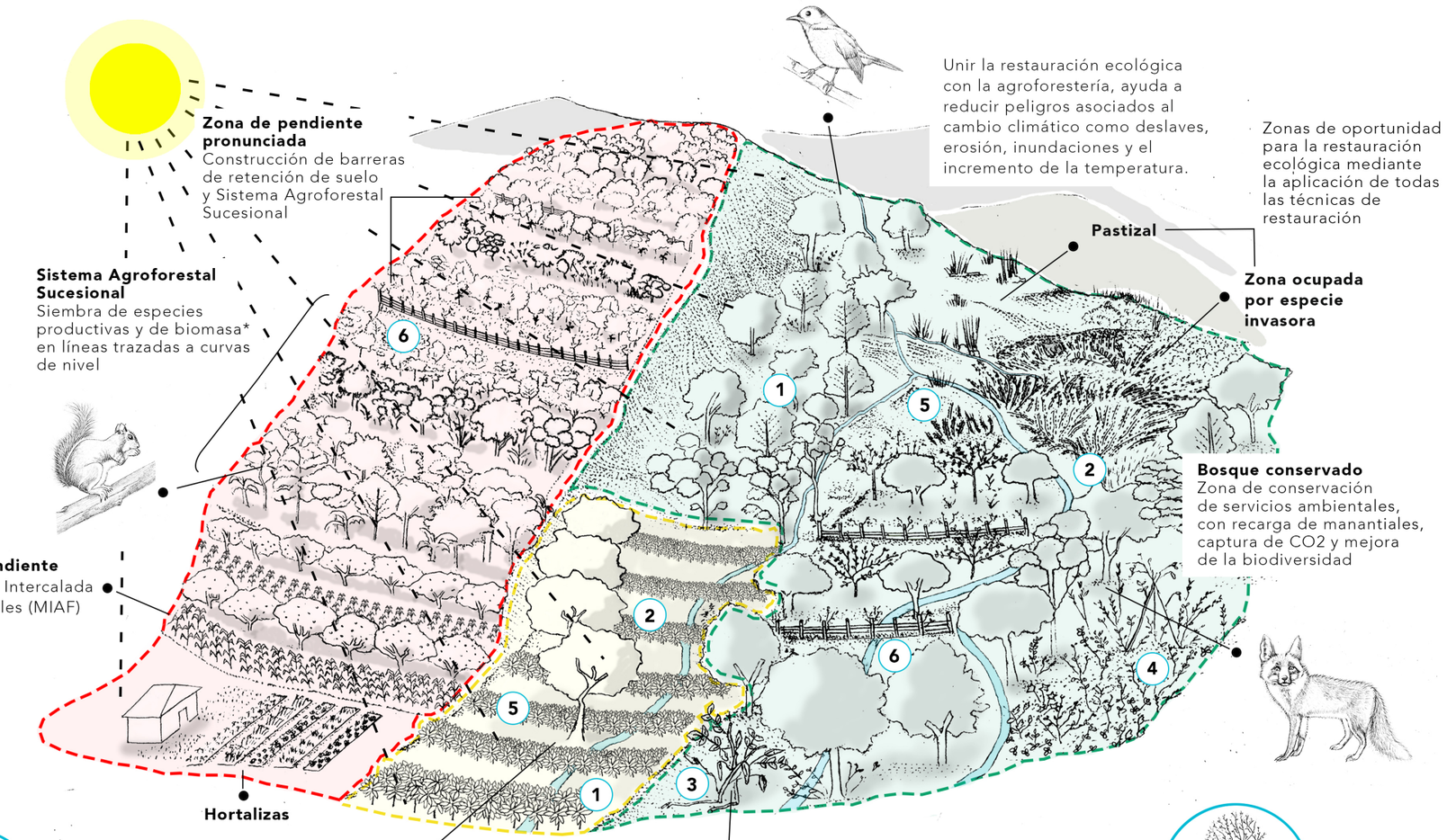
SOLUCIONES BASADAS EN NATURALEZA (SBN) PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ZONAS DE MONTAÑA

De acuerdo a las características del terreno, como su orientación, pendiente e hidrología, existen diferentes oportunidades para la agroforestería y restauración ecológica.

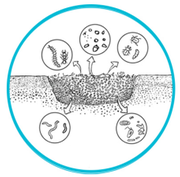
Zona de alta radiación solar
Apta para cultivos anuales y especies con altos requerimientos lumínicos.

Zona de media radiación solar
Apta para cultivos que requieran una sombra densa, como el café.

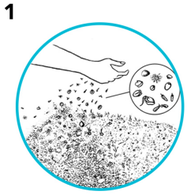
Zona de baja radiación solar
Apta para restauración ecológica y conservación de servicios ambientales.



Técnicas de restauración



Transposición de suelo
1



Lluvia de semillas
2



Madrigueras
3



Perchas artificiales
4



Grupos de alta densidad (grupos Anderson-Miyawaki)
5



Barrera de retención de suelo
6

*Las especies de biomasa son plantas nativas que mediante podas proveen a las plantas productivas de materia orgánica que creará suelo y les dará nutrientes.

Visita:www.revivemx.org
https://cityadapt.com

Figura 14. Ejemplo de paisaje con Sistemas Agroforestales Sucesionales y aplicación de técnicas de Restauración Ecológica. Fuente: elaboración propia.

5. Glosario

Ecosistema de referencia: es un ecosistema en aparente estado de conservación, sin indicios de perturbaciones o alteraciones, con buena estructura y representatividad de especies nativas. En palabras simples, se refiere a un bosque natural sin muestras de degradación que se utiliza como modelo para fijar las metas de restauración.

Especies autóctonas: también llamadas especies nativas, se trata de organismos vivos como plantas o animales que crecen y se distribuyen dentro de un área o localidad de donde son originarias.

Especie exótica invasora: son organismos vivos que se establecen, reproducen y dispersan sin control, causando daños al ecosistema, a las especies nativas, a la salud o a la economía. Generalmente proviene de otros países a través de acciones humanas.

Especie intermedia: generalmente se refiere a especies leñosas de rápido crecimiento, arbóreas o arbustivas, con ciclos de vida de 10 a 30 años, toleran condiciones adversas para su crecimiento y forman condiciones de humedad, temperatura y fertilidad para la aparición de especies indicadoras de un ecosistema conservado o de referencia.

Especies pioneras: son especies resistentes, generalmente de vida corta (menor a 10 años), herbáceas o arbustivas, y con capacidad de prosperar y colonizar ambientes pobres o degradados. Se les puede identificar porque son los primeros grupos o comunidades que llegan a un sitio recién perturbado y con ello comienza una modificación de condiciones físicas, químicas y biológicas que pueden o no dar paso a la recuperación de un área degradada.

Especies tardías: son especies que requieren de la formación de un microhábitat específico para su aparición. Este tipo de especies sustituyen gradualmente a las especies pioneras y se les puede identificar porque caracterizan a un ecosistema conservado o de referencia.

Fases sucesionales: son periodos o etapas que caracterizan el grado de recuperación de

los ecosistemas en vías de restauración. Las fases pueden distinguirse por cambios marcados en la estructura de la vegetación y la dominancia de especies.

Grupos Anderson: también se les conoce como como núcleos Anderson y se refieren a una técnica de restauración ecológica que consiste en la siembra de plantas a una alta densidad por unidad de superficie, generalmente de 5 a 9 plantas de diferentes especies por metro cuadrado. Cada núcleo debe tener la capacidad generar microcondiciones para desencadenar el proceso de restauración ecológica.

Infraestructura verde: es un conjunto de espacios naturales (ej. bosques o reservas ecológicas) o seminaturales (ej. Parques o jardines) diseñados y gestionados para suministrar bienes ecológicos, sociales y ambientales a una localidad.

Lignificación: es un proceso de desarrollo en el que muchas plantas adquieren una consistencia de madera.

Método Miyawaki: es un método para la creación de bosques urbanos en espacios reducidos (bosques de bolsillo). Este tiene la finalidad de acelerar el crecimiento de las plantas y los beneficios que conllevan a través de la siembra a alta densidad, de 2 a 9 plantas de diferentes especies por metro cuadrado.

Red hidrológica: conjunto de flujos o cuerpos de agua, intermitentes o permanentes, situados en una zona determinada.

Resiliencia: se refiere a la capacidad de un ecosistema o sistema natural para resistir y regenerarse de manera oportuna ante las perturbaciones.

Semillas ortodoxas: se trata de semillas que pueden secarse a un contenido de humedad bajo (cercano al 5% de su peso húmedo) sin perder su capacidad de germinar. Almacenadas en recipientes herméticos y temperaturas bajas o inferiores a 0°C pueden mantenerse con vida por periodos superiores a 10 años.

Semillas recalcitrantes: son semillas de vida corta, pierden su capacidad germinativa rápidamente (días-semanas) después de ser colectadas y extraídas del fruto, no toleran la desecación y por tanto no pueden ser almacenadas por periodos prolongados.

Tabla de Munsell: es una tabla científica que utilizada como método para la clasificación de suelo con base en sus variaciones de color.

Tensor: se refiere a agentes, actividades o acciones que impiden la recuperación de un sistema biológico, en este caso un imposibilitan bosque la recuperación de un bosque.

Tinción con tetrazolio: es una prueba o método para conocer el potencial germinativo de un lote de semillas. El tetrazolio es un reactivo químico que tiñe de color rojo el interior de la semilla cuando hay actividad respiratoria (capacidad de germinar).

Trazabilidad: Se refiere a la capacidad de rastrear e identificar el origen y las diferentes etapas de un proceso de producción y distribución de un bien o producto, como es el caso de las plantas y semillas.

6. Referencias y recursos

Cabrera D, Díaz E, Berny J, Lozano M. 2011. Establecimiento de sistemas agroforestales. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México. 48 p.

Ceccon E. 2013. Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ediciones Díaz de Santos. México. 288 p.

Chazdon RL y Guariguata MR. 2018. Herramientas de apoyo a decisiones para la restauración del paisaje forestal: estado actual y futuro. Documentos Ocasionales 189. Bogor, Indo nesia: CIFOR. 64 p.

De Bach P y Rosen D. 1991. Biological Control by Natural Enemies. 2a. ed., Cambridge. Cambridge University Press.

FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agicultura y Alimentación. Roma. 99 p.

FAO. 2016. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015, sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelo 106. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 205 p.

Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariuata MR, Liu J, Hua F, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Decleer K, Dixon KW. 2019. Principios y estándares internacionales para la práctica de la restauración ecológica. Segunda edición. Restoration Ecology, 27(S1): S1–S46.

Geissert D, Mólgora-Tapia A, Negrete-Yankelevich S, Manson RH. 2017. Effect of vegetation cover

management on water erosion in shade coffee plantations. Agrociencia, 51: 119-133.

Gutiérrez Ulloa F. 2015. Manual para el Establecimiento y Manejo de Sistemas Agroforestales para las comunidades de la parroquia Hatun Sumaku, Archidona, Napo, Ecuador. Rain Forest Alliance, USAID. 20 p.

Hallé F, Oldeman RAA, Tomlinson PB. 1978. Tropical trees and forest, An architectural analysis. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York. 441 p.

Hanson C, Buckingham K, Dewitt S, Laestadius L. 2015. The Restoration Diagnostic: A Method for Developing Forest Landscape Restoration Strategies by Rapidly Assessing the Status of Key Success Factors. World Resources Institute (WRI). Washington DC. 90 p.

IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2008. Base referencial mundial del recurso suelo, un marco conceptual para la clasificación, correlación y comunicación internacional. Informes sobre recursos mundiales de suelo 103. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 117 p.

Kómetter Mogrovejo R y Gálmez Márquez V. 2017. La restauración de bosques andinos y sus vínculos con el agua. Orientaciones para una comunidad campesina de Apurímac. Bosques Andinos, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), HELVETAS Swiss Intercooperation - CONDESAN. 41 p.

Manuel C. 2020. The Miyawaki method – Data & concepts. Urban Forests Company. 33 p.

Méndez-Toribio M, Martínez-Garza C, Ceccon E, Guariguata MR. 2018. La restauración de ecosistemas terrestres en México: Estado actual, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales 185. Bogor, Indonesia: CIFOR. 99 p.

Miccolis A, Peneireiro FM, Rodrigues Marques H, Mascia Vieira DL, Francia Arco-Verde M, Hoffmann MR, Rehder T, Barbosa Pereira AV. 2016. Guia Técnico. Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agorflorestal – ICRAF. 266 p.

Miyawaki A. 1998. Restoration of urban green environments based on the theories of vegetation

ecology. Ecological Engineering, 11: 157–165.

Mokondoko SP, Manson RH, Pérez-Maqueo O. 2016. Assessing the service of water quality regulation by quantifying the effects of land use on water quality and public health in central Veracruz, Mexico. Ecosystem Services, 22: 161-173.

Munsell. 1994. Standard soil color charts. Macbeth Division of Kollmorgen Instrument Corporation. 28 p.

Muñoz-Villers L, Holwerda F, Alvarado-Barrientos M, Geissert D, Marín-Castro B, Gómez-Tagle A, McDonnell J, Asbjornsen H, Dawson T, Bruijnzeel L. 2015. Efectos hidrológicos de la conversión del bosque de niebla en el centro de Veracruz, México. Bosque, 36(3): 395-407.

Núñez MÁ. 2000. Manual de técnicas agroecológicas, México, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. 96 p.

Palafox C, Rivero E, Blanco LT. 2012. Manual de agroforestería. Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL). México. 15 p.

Pizarro R, Benitez A, Farias C, Jordan C, Santibañez F, Sangüesa C, Flores J, Martínez E, Roman L. 2005. Influencia de las masas boscosas en el régimen hídrico de una cuenca semiárida, Chile. Bosque, 26(1): 77-91.

Raes L, Nello T, Nájera M, Chacón O, Meza Prado K, Sanchún A. 2017. Análisis económico de acciones para la restauración de paisajes productivos en El Salvador. Gland, Suiza: UICN. 72 p.

Ramírez-Soto AF, García-Valencia A, Trujillo-Santos O, Sheseña-Hernández IM, Gutiérrez-Sosa G, Contreras-Huerta I, Macias-Ruiz K, Aguilar-Bernal AS, Hernández-Soto M. 2021. Guía técnica para la restauración riparia. Red de Viveros de Biodiversidad, City Adapt y Fondo Golfo de México. 124 p.

Reis A, Bechara F, Tres D. 2010. Nucleation in tropical ecological restoration. Scientia Agricola - SCI AGRIC. 67.

Reis A, Bechara F, Tres D, Trentin B. 2014. Nucleation: Biocentric conception for the ecological restoration. Ciencia Florestal, 24. 509-518.

Sanchún A, Botero R, Morera Beita A, Obando G, Russo RO, Scholz C, Spinola M. 2016. Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas. UICN, San José, Costa Rica. XIV + 436p.

Schoeneberger PJ, Wysocki DA, Benham SEC y Broderson WD. 2002. Field book for describing and sampling soils, Version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Lincoln. NE. 251 p.

Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.

Tierra Negra. Manual básico de sistemas agroforestales. Tierra Negra Consultora de Proyectos Ecológicos Integrales. 18 p.

Tres Deisy, Reis A, Bechara F. 2006. A Nucleação como Novo Paradigma na Restauração Ecológica: "Espaço para o Imprevisível". 16 p.

Tres DR y Reis A. 2009. Técnicas nucleadoras na restauração de floresta ribeirinha em área de Floresta Ombrófila Mista, Sul do Brasil. Biotemas, 22: 59-71.

Vargas Ríos O. 2011. Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. Acta Biológica Colombiana, 16: 221-246.

Williams-Linera G, López-Barrera F, Bonilla-Moheno M. 2015. Estableciendo la línea de base para la restauración del bosque de niebla en un paisaje periurbano. Madera y bosques, 21: 89-101.

Wilson SJ, Alexandre NK, Holl KD, Reid JL, Zahawi R, Celentano D, Sprenkle-Hyppolite S, Werden L. 2021. Applied nucleation restoration guide for tropical forest. Conservation International, USA. 71 p.

Recursos

https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/

https://www.un.org/es/un75/climate-crisis-race-we-can-win

https://www.fao.org/3/ah647s/ah647s04.htm

https://www.madrimasd.org/ Un Universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos y la vida

http://edafologia.ugr.es/programas_suelos/practclas/abcsol/comun/munsells.htm

https://www.fao.org/3/ad232s/ad232s08.htm#:~:text=Recalcitrantes.,el%20almacenamiento%20durante%20largos%20per%C3%ADodos.

https://www.fao.org/3/ad232s/ad232s00.htm#TOC

https://www.southsuburbanairport.com/Environmental/pdf2/Part%204%20-%20References/Reference%2016%20Munsell%20Color%20Charts/MunsellColorChart.pdf

https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/distribesp

https://airelibre.cl/que-es-agroforesteria-agrosilvicultura-sistema-agroforestal-definicion-concepto/

City Adapt

RECONECTANDO CIUDADES CON LA NATURALEZA

LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

RED DE VIVEROS DE BIODIVERSIDAD

gef