

**Establecimiento de tres módulos
de restauración de ecosistemas forestales,
utilizando para
reforestación únicamente especies nativas**

MÓDULO TEMPLADO FRÍO

Noviembre 2018

Ing. Salvador Martínez García



CONABIO
COMISIÓN NACIONAL PARA EL
CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD



*Al servicio
de las personas
y las naciones*



“Las opiniones, análisis y recomendaciones de política incluidas en este informe no reflejan necesariamente el punto de vista del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, como tampoco de su junta ejecutiva ni de sus miembros”.

Título: Establecimiento de tres módulos de restauración de ecosistemas forestales, utilizando para la reforestación únicamente especies nativas.

Objetivo: Validar el “Manual de mejores prácticas para restauración de ecosistemas degradados, utilizando para la reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias”, a través de su implementación en campo para llevar a cabo el proceso de la restauración de tres áreas piloto en el país.

Autor: Ing. Salvador Martínez García.

Modo de citar el informe: PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2018. Establecimiento de tres módulos de restauración de ecosistemas forestales, utilizando para la reforestación únicamente especies nativas – Módulo templado frío (Edo. México). Proyecto 089333 “Aumentar las Capacidades Nacionales para el manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional EEI. Martínez, S. Zapopan, Jalisco, México. 78 pp. + 2 Anexo.

Vínculo con la Estrategia Nacional sobre las Especies Invasoras: Los objetivos que se consideran son: prevenir, detectar y reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies invasoras, establecer programas de control y erradicación de poblaciones de especies invasoras que minimicen o eliminen sus impactos negativos y favorezcan la restauración y conservación de los ecosistemas. Estos corresponden a las siguientes acciones estratégicas: desarrollo de capacidades, coordinación, divulgación, comunicación y conocimiento e información (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras, 2010).

Resumen: El actual proyecto busca poner a prueba el Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias; con la finalidad de obtener una herramienta que proporcione los elementos necesarios para la restauración de ecosistemas en México.

Es por ello por lo que se consideran tres ecosistemas (templado frío, semiárido y tropical) representativos de México; en el actual informe se analizarán la eficiencia de las actividades para rehabilitación, restauración y mejoramiento del suelo de la parcela establecida en el clima templado frío, se presentarán los resultados obtenidos del análisis de diferentes índices tales como lo son: índice de Simpson, índice de prioridad de restauración, grado de fragmentación, estructura vegetal vertical y horizontal, etc.

Así pues, se plasmará la metodología que se utilizó para la elaboración de la propuesta de reforestación ecológica y el análisis de los datos que indicará si se cumple de manera satisfactoria su objetivo. De igual forma se podrá apreciar un cuadro de costos de operación, en cual muestra el precio de las diferentes actividades realizadas que a su vez servirá como referencia para el cálculo del valor económico que se requerirá si se pretende recuperar un área degradada, dependiendo del grado de afectación, en proyectos futuros.

Contenido

1	Introducción	10
2	Descripción de la microcuenca como punto integral en la restauración del ecosistema.....	10
2.1	Cuenca hidrográfica	10
2.2	Manejo integral de la cuenca.....	11
2.3	Restauración a nivel cuencas y análisis del paisaje	12
3	Localización.....	13
4	Descripción de la microcuenca y el área (geográfica, social y ecológicamente)	15
4.1	Características fisiográficas.....	15
4.1.1	Relieve	16
4.1.2	Exposición y pendiente.....	17
4.1.3	Hidrología	19
4.1.4	Descripción geomorfológica	20
4.2	Descripción de las características, propiedades y condiciones del suelo	21
4.2.1	Tipo de suelo	21
4.2.2	Horizontes y texturas encontradas	22
4.3	Clima	24
4.3.1	Tipo de clima.....	24
4.3.2	Cálculo del clima	26
4.4	Vegetación	33
4.5	Aspectos sociales	37
5	Origen o causas de la degradación del ecosistema de la localidad	38
6	Índices que definen el área a restaurar.....	41

6.1	Degradación del suelo	41
6.2	Índice de prioridad de restauración	43
6.2.1	Evaluación de la ubicación del predio en la cuenca	44
6.2.2	Evaluación de la estructura, composición y diversidad de área del proyecto.....	45
6.2.3	Evaluación de la compactación del suelo	49
6.2.4	Sanidad forestal	50
6.2.5	Susceptibilidad de la superficie destinada a la reforestación por actividades antropogénicas.....	51
7	Metodología de restauración del sitio	53
7.1	Obras para la rehabilitación, restauración y mejoramiento de suelos	53
7.1.1	Roturación	54
7.1.2	Zanja bordo.....	55
7.1.3	Cabeceo de cárcavas	60
7.2	Obras de protección.....	63
7.2.1	Cercado	63
7.2.2	Brechas cortafuego.....	66
8	Listado de especies a utilizar en las actividades de reforestación de acuerdo con el ecosistema	68
8.1	<i>Pinus pseudostrobus</i> (pino blanco, pinos ortiguillo, pino real)	70
8.2	<i>Pinus teocote</i> (pino rosillo, pino real).	71
9	Metodología de reproducción de las especies nativas que se emplearan	72
9.1	Producción de especies nativas en vivero	72
9.2	Características generales de la planta	75
10	Aspectos importantes.....	76

10.1	Fauna silvestre.....	76
11	Recomendaciones.....	77
12	Conclusiones.....	78
13	Literatura	79
14	ANEXOS.....	84
14.1	Anexo 1. Factor de corrección “L” por latitud (latitud norte).....	84
14.2	Anexo 2. Costos de preparación del terreno y reforestación (Módulo templado frío).....	88

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1.	Fases del manejo integral de cuencas.	12
Ilustración 2.	Macro y micro localización del módulo región templado-frío.	14
Ilustración 3.	Mapa de relieve del polígono a restaurar en Texcoco de Mora, Estado de México.	15
Ilustración 4.	Mapa de altitud de la parcela a restaurar en el módulo templado frío.....	16
Ilustración 5.	Mapa con la exposición topográfica de la parcela a restaurar en el módulo templado frío.	18
Ilustración 6.	Mapa de pendiente de la parcela a restaurar.	19
Ilustración 7.	Corrientes existentes en el módulo de restauración templado frío.	20
Ilustración 8.	Mapa geológico de la parcela a restaurar en el módulo templado-frío.	21
Ilustración 9.	Mapa edafológico del módulo de restauración de la zona templado-frío. ...	22
Ilustración 10.	Mapa de unidades climáticas del módulo de restauración para la zona templado-frío.....	24
Ilustración 11.	Mapa de precipitación media anual en el módulo templado frío.	25
Ilustración 12.	Temperatura media anual en el módulo templado frío.....	26
Ilustración 13.	Mapa de los tipos de vegetación presentes en el módulo templado-frío. ..	34

Ilustración 14. Mapa de aptitud de la parcela demostrativa.	37
Ilustración 15. Mapa de erosión dentro del módulo templado frío.	42
Ilustración 16. Grado de fragmentación en el módulo templado frío.	43
Ilustración 18. Distribución de obras de conservación de suelo en el módulo templado-frío.....	63
Ilustración 19. Proceso de colocación del cercado en el módulo templado-frío.....	65
Ilustración 20. Croquis de la ubicación del vivero al lugar donde se encuentra el módulo región templado-frío.	73

Índice de imágenes

Imagen 1. Vista panorámica del polígono a trabajar en Texcoco, Estado de México.	13
Imagen 2. Relieve del terreno en el módulo templado frío.	17
Imagen 3. Perfil de suelo en módulo templado frío.....	23
Imagen 4. Condición actual del módulo de restauración de la zona templado-frío.....	23
Imagen 5. Vegetación presente en la zona de influencia del módulo templado-frío.....	35
Imagen 6. Plantación destinada para árboles de navidad en la cercanía de la parcela.....	36
Imagen 7. Factores que han contribuido a la degradación de ecosistemas.	39
Imagen 8. Cambio de uso de suelo en Coatlinchán.	40
Imagen 9. Afectación de la vegetación a causa del incendio.	40
Imagen 10. Roturación de suelo en el módulo de la región templado-frío.	54
Imagen 11. Estado actual de la parcela con subsoleo.....	55
Imagen 12. Resultado de la actividad de subsoleo en el módulo templado frío.	55
Imagen 13. Trazado de líneas a curvas de nivel para elaboración de zanjas bordo.	56
Imagen 14. Realización de zanjas bordo en el módulo región templada-fría, de forma manual.....	57
Imagen 15. Combinación de zanjas bordo con roturación de suelo.....	57

Imagen 16. Intercepción de escurrimiento mediante el sistema de zanja bordo.	59
Imagen 17. Estado actual de la zanja bordo.....	59
Imagen 18. Ruptura en el tabique divisor de las zanjas y presencia de herbáceas en el bordo.	59
Imagen 19. Colecta de piedra y recubrimiento de cárcava.....	60
Imagen 20. Primera cárcava y su proceso de recubrimiento con piedras.	61
Imagen 21. Segunda cárcava y su proceso de recubrimiento con piedras.	61
Imagen 22. Comparativa del antes (izquierda) y después (derecha) de la ejecución del cabeceo de cárcavas.	62
Imagen 23. Antes (izquierda) y después (derecha)del cabeceo de cárcavas.	62
Imagen 24. Colocación de postes para dar soporte y mayor tensión en el cercado.	66
Imagen 25. Apertura de brecha cortafuego en el módulo región templado-frío.....	67
Imagen 26. Estado actual de la brecha cortafuego en el módulo templado frío.....	68
Imagen 27. Condiciones actuales (octubre de 2018) de las obras de protección en el módulo templado frío.	68
Imagen 28. <i>Pinus pseudostrobus</i> (DIAAPROY-JFN97)-Árbol completo.	71
Imagen 29. <i>Pinus teocote</i> (DIAAPROY-IMM44)- Árbol completo.....	72
Imagen 30. Producción de <i>Pinus pseudostrobus</i> en etapa de cerillo.....	75
Imagen 31. Producción de planta en el vivero Silvícola Cutzamala.	76
Imagen 32. Fauna presente en la parcela del módulo templado frío. A: <i>Barisia ciliaris</i> (falso escorpión); B y C: <i>Crotalus ravus</i> (cascabel pigmea mexicana); <i>Sceloporus</i> <i>torquatus</i> (lagartija espinosa de collar).	77

Índice de tablas

Tabla 1. Vértices del módulo templado-frío, coordenadas UTM.	13
Tabla 2. Valores de evapotranspiración diaria sin ajustar para temperaturas superiores a los 26.5 °C.	27

Tabla 3. Valores promedio mensuales de las estaciones meteorológicas 15167 y 15170, Texcoco, Estado de México.	28
Tabla 4. Valores promedio mensuales de precipitación, evapotranspiración, exceso y deficiencia del municipio de Texcoco, Estado de México.	29
Tabla 5. Tipos de climas de acuerdo con índice hídrico o grado de humedad.	30
Tabla 6. Índice de variación estacional de la humedad.....	31
Tabla 7. Eficiencia térmica.....	32
Tabla 8. Concentración de eficiencia térmica en verano.	32
Tabla 9. Comparabilidad de información sociodemográfica del Estado de México	37
Tabla 10. Resumen de las características de la parcela templado frío	41
Tabla 11. Puntuación para calificar la prioridad del predio de ser reforestado en función de su ubicación dentro de la cuenca.....	45
Tabla 12. Puntaje sugerido para evaluar la estructura vertical de las áreas sujetas a acciones de conservación.....	45
Tabla 13. Evaluación del estrato horizontal a nivel predial.	47
Tabla 14. Ponderación del valor del índice de diversidad de Simpson para determinar la prioridad de reforestación a nivel predial.....	49
Tabla 15. Puntuación asignada al índice de Pieri para su incorporación en el índice de prioridad de restauración.....	49
Tabla 16. Valores para la evaluación de la sanidad en el predio donde se efectuará la reforestación.	50
Tabla 17. Ponderación propuesta para valorar la susceptibilidad de la reforestación a presiones antropogénicas.	51
Tabla 18. Valoración del índice de susceptibilidad de la superficie destinada a la reforestación ante actividades antropogénicas.....	52
Tabla 19. Obras de conservación y restauración de suelo.....	53
Tabla 20. Requerimiento por especie.	69
Tabla 21. Factor de corrección "L" por latitud (Latitud norte).....	84

Tabla 22. Costos de preparación del terreno y transporte de la planta.	88
Tabla 23. Costos de transporte de planta.	89

1 Introducción

Las principales problemáticas que enfrentan los ecosistemas terrestres mexicanos son la deforestación y la degradación, ambos fenómenos implican una reducción de la cubierta vegetal, lo que ocasiona problemas como modificaciones en los ciclos hídricos y cambios regionales de los regímenes de temperatura y precipitación, favoreciendo con ello el calentamiento global, la disminución de la captura de bióxido de carbono, y la pérdida de hábitats o la fragmentación de ecosistemas (CONAFOR, 2009).

Por lo anterior Vanegas (2016) elaboró el “Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para la reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias”, donde considera que para la restauración de un ecosistema forestal es necesario tomar en cuenta aspectos tales como: clima, fisiografía, tipo de suelo, calidad y producción de plata, enfocándose a las especies nativas.

La elaboración del presente proyecto: “Establecimiento de tres módulos de restauración de ecosistemas forestales, utilizando para la reforestación únicamente especies nativas”, tiene como objetivo implementar el manual de Vanegas, de tal forma que se pueda probar en la medida de lo mayor posible, las diferentes actividades y consideraciones que propone, en diferentes tipos de climas y fisiografía.

Esto ayudará posteriormente en la solidificación de una estrategia de recuperación de ecosistemas, para la implementación del manual en México, tomando en cuenta los ecosistemas representativos existentes.

2 Descripción de la microcuenca como punto integral en la restauración del ecosistema

2.1 Cuenca hidrográfica

La parcela demostrativa se encuentra ubicada en la región hidrológica Panuco (RH-26), dentro de la cuenca Río Moctezuma (D), la cual comprende el 35.45% de la superficie estatal (INEGI, 2001). El drenaje es de tipo dendrítico subparalelo, es decir, que se conforma por corrientes perennes y subcolectores intermitentes de segundo y tercer orden. Dicha cuenca cuenta con diversas corrientes principales, entre ellas el Lago de Texcoco, este se ubica dentro de la Subcuenca Lago de Texcoco-Zumpango (p).

INEGI (2001) reporta precipitaciones anuales que varían de 500 a 1,500 mm, con una temperatura media anual que va de los 2° y 18 °C. También menciona que la situación de la cuenca del Río Moctezuma es crítica, pues las grandes industrias consumen anualmente

una gran cantidad de agua, aunado a que las aguas residuales son vertidas en el río, siendo que solo un 15.8% de ellas son tratadas, por otro lado, esta cuenca abastece de agua a la zona conurbada de la Ciudad de México y las actividades agrícolas en los alrededores. Las razones anteriores han convertido los ríos en aguas negras por el origen doméstico, industrial y agropecuario.

2.2 Manejo integral de la cuenca

Cruz *et al.* (2015) señala que dentro del manejo de los recursos naturales debe existir una unidad espacial bien definida para una planeación y manejo de los recursos naturales. Es decir, se establece a la cuenca hidrográfica como una unidad enfocada al manejo de agua y su relación con el medio natural se define como la unidad de planeación para el uso de los recursos naturales, en una extensión territorial delimitada por las partes más altas de las topoformas.

Ante la importancia de la cuenca (mencionada en el subtema anterior), la subcuenca del Lago de Texcoco-Zumpango fue sometida a manejo integral por la Comisión del Lago de Texcoco con la finalidad de restaurar cerca de 400 ha de terrenos que habían sido severamente erosionados, acompañada de prácticas de conservación de suelo como presas de control de azolves y reforestaciones con especies de la región (Adame & Martínez, 1999).

Pérez & Shinomi s.f. mencionan que los procesos productivos, además de generar bienes y servicios, provocan efectos negativos de alto impacto que desencadenan una serie de problemas difíciles de solucionar por los altos costos que implica; algunos de los problemas son los siguientes:

- Erosión de suelo (erosión hídrica).
- Formación de cárcavas.
- Reducción de la fertilidad por la pérdida de nutrientes y materia orgánica.
- Deforestación.
- Inundaciones por aumento del escurrimiento superficial.
- Reducción de acuíferos.
- Cambio en los cauces de los ríos.
- Baja calidad de agua y por ende mayores costos de purificación y tratamientos.
- Menor actividad biológica y biodiversidad.
- Daño en caminos, infraestructura y obras de arte vial.

Por esta situación es importante considerar el manejo de la cuenca de manera integral para conservar los recursos naturales, tomando en cuenta la participación ciudadana para lograrlo (Ilustración 1).



Ilustración 1. Fases del manejo integral de cuencas.

Fuente: SEMARNAT (2013)

2.3 Restauración a nivel cuencas y análisis del paisaje

Laestadius *et al.* (2011) menciona que la restauración del paisaje forestal es un marco integrador que puede ser aplicado en un campo mayor sobre el uso de la tierra, con la finalidad de asegurar el mantenimiento, la intensificación de las funciones ecosistémicas y de las exigencias sociales esenciales. Dicho de otra manera, el paisaje forestal es definido como un proceso para recuperar la funcionalidad y productividad de las tierras y/o bosques que han sido degradados.

De acuerdo con Vanegas (2016), la restauración forestal a nivel paisaje busca reestablecer las funciones y procesos de los ecosistemas en la totalidad del paisaje (Imagen 1), evitando dejar pequeñas áreas abandonadas. Dicho autor resalta la posibilidad que mediante esta forma se puedan trabajar las áreas agrícolas, boscosas y distintos tipos de suelo, de tal forma que exista una combinación entre la protección, el manejo y la restauración del ecosistema, siendo capaz de proporcionar los beneficios económicos, ecológicos y sociales.

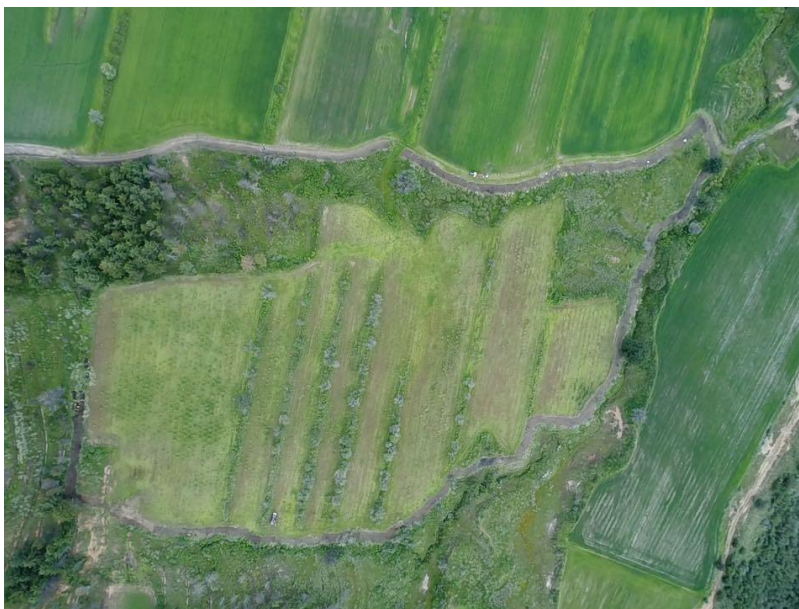


Imagen 1. Vista panorámica del polígono a trabajar en Texcoco, Estado de México.

Fuente: toma propia SMG, 2018

Antes de comenzar las actividades de restauración de la cuenca es necesario considerar las características del sitio que se pretende restaurar, con la finalidad de tomar en cuenta la temporada de lluvias, tipo de suelo, clima, especies nativas, condiciones actuales del sitio, entre otros.

3 Localización

El polígono destinado al módulo región templado-frío está delimitado por los vértices de la tabla 1, cuenta con una superficie de tres hectáreas (Ilustración 2) y se encuentra ubicado en terrenos del ejido de Coatlinchán, municipio de Texcoco, Estado de México.

Tabla 1. Vértices del módulo templado-frío, coordenadas UTM.

Fuente: datos obtenidos en campo.

Vértice	X	Y	Vértice	X	Y
1	518712	2147838	17	518847	2148005
2	518722	2147872	18	518865	2147994
3	518718	2147909	19	518878	2147981
4	518729	2147923	20	518890	2147965
5	518744	2147949	21	518903	2147948
6	518740	2147982	22	518908	2147919
7	518737	2148019	23	518898	2147907
8	518734	2148048	24	518806	2147938
9	518720	2148067	25	518798	2147911

Vértice	X	Y	Vértice	X	Y
10	518727	2148074	26	518929	2147863
11	518743	2148076	27	518920	2147836
12	518758	2148064	28	518908	2147808
13	518773	2148054	29	518877	2147822
14	518778	2148040	30	518809	2147844
15	518801	2148025	31	518775	2147855
16	518825	2148013	32	518775	2147833

San Miguel Coatlinchán limita con las localidades: al Norte con San Luis Huexotla, al Noreste con Tequexquínahuac, al Suroeste con Santiago Cuautlalpan, al Oeste con Montecillo y al Noroeste con San Bernardino.

Respecto al municipio, Texcoco de Mora limita al norte con Atenco, Chiconcuac, Chiautla, Papalotla y Tepetlaoxtoc; al sur con Chimalhuacán, San Vicente Chicoloapan, Ixtapaluca y Nezahualcóyotl; al este con el estado de Puebla y Tlaxcala y al Oeste con Ciudad Nezahualcóyotl.

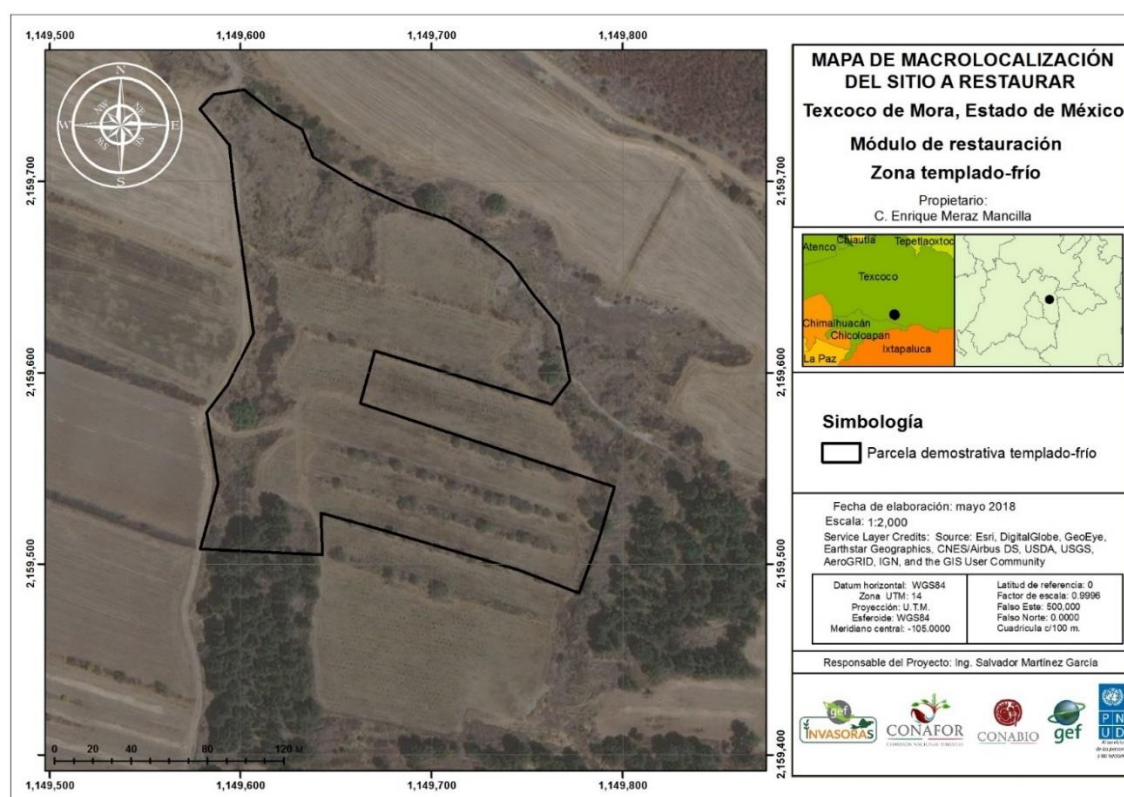


Ilustración 2. Macro y micro localización del módulo región templado-frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018

4 Descripción de la microcuenca y el área (geográfica, social y ecológicamente)

4.1 Características fisiográficas

El Estado de México es parte de dos provincias fisiográficas: el Eje Neovolcánico, localizado al Centro - Norte abarcando una proporción del 75.11 % de la entidad, y la Sierra Madre del Sur con 24.43 % ubicada en su extremo Suroeste, el 0.46 % restante la integran diversos cuerpos de agua (SEMARNAT, 2015). A su vez, existen cinco subprovincias fisiográficas: Depresión del Balsas, Sierras y Valles Guerrerenses, Mil Cumbres, Llanos y Sierras de Querétaro e Hidalgo, Lagos y Volcanes de Anáhuac (SEDAGRO, 2010). Esta última abarca la mayor extensión en el Estado cubriendo el 60.3 % de la superficie total y a la cual pertenece el polígono de interés, que como se indicó previamente, se sitúa en el municipio Texcoco de Mora (Ilustración 3).

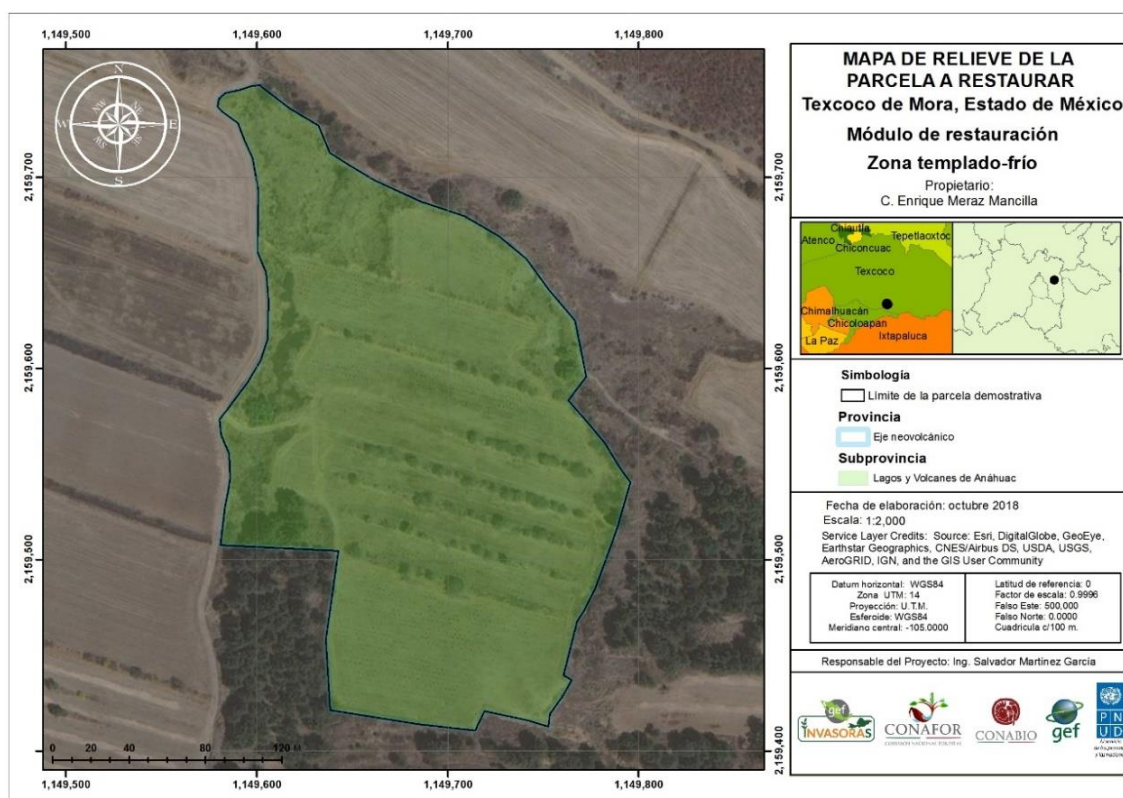


Ilustración 3. Mapa de relieve del polígono a restaurar en Texcoco de Mora, Estado de México.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.1.1 Relieve

El módulo de la región templado frío, se ubica al inicio de la porción oeste del Monte Tláloc, volcán integral del Eje Neovolcánico Transversal. El gradiente altitudinal es de 2,565 a 2,600 m.s.n.m. (Ilustración 4).

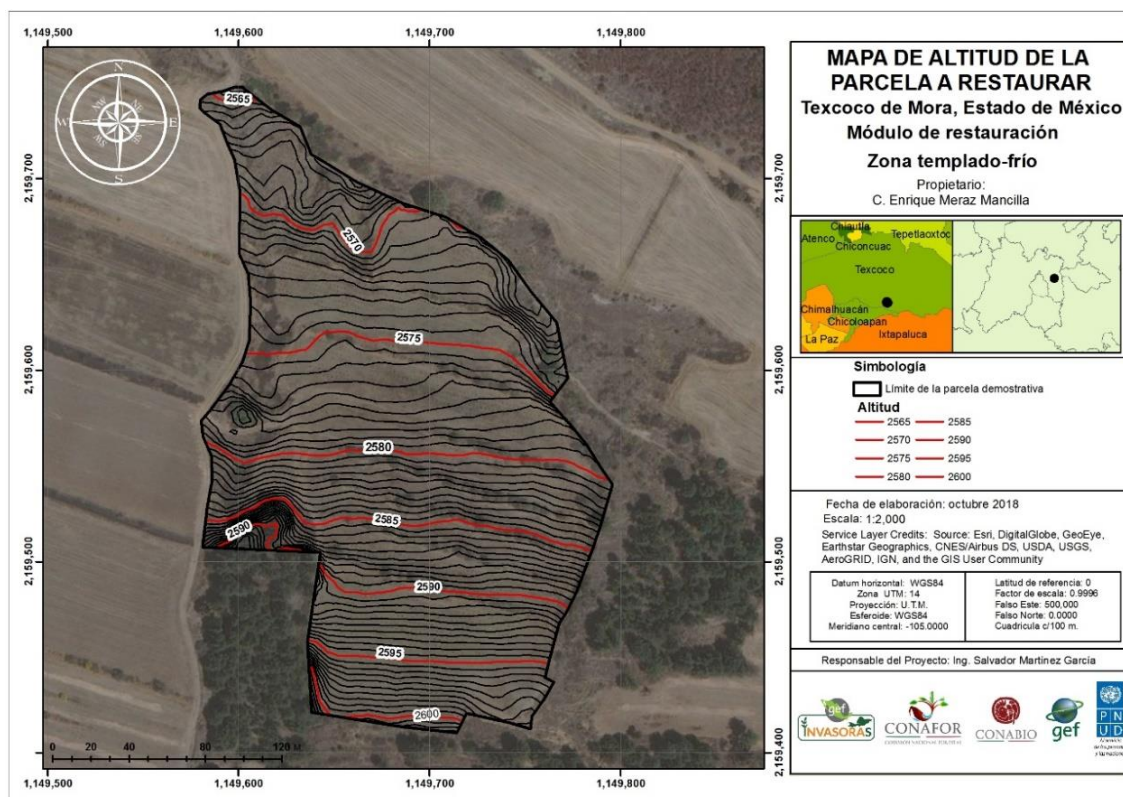


Ilustración 4. Mapa de altitud de la parcela a restaurar en el módulo templado frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Las estructuras que destacan en la superficie del polígono son, al oeste de la porción central una depresión con forma de “U” invertida de más de 5 m de altura; al norte de ésta, las curvas a nivel forman círculos que indican la cima de un pequeño montículo (Ilustración 4).



Imagen 2. Relieve del terreno en el módulo templado frío.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

4.1.2 Exposición y pendiente

La mayor parte del terreno tiene una exposición Norte, como se puede apreciar en la Ilustración 5. Por su posición geográfica, la vertiente puede recibir mayor cantidad de radiación solar que de sombra en distintas épocas del año, aunque con distinta duración. Esta información fue determinante para la selección de especies a emplear en la restauración de la parcela.

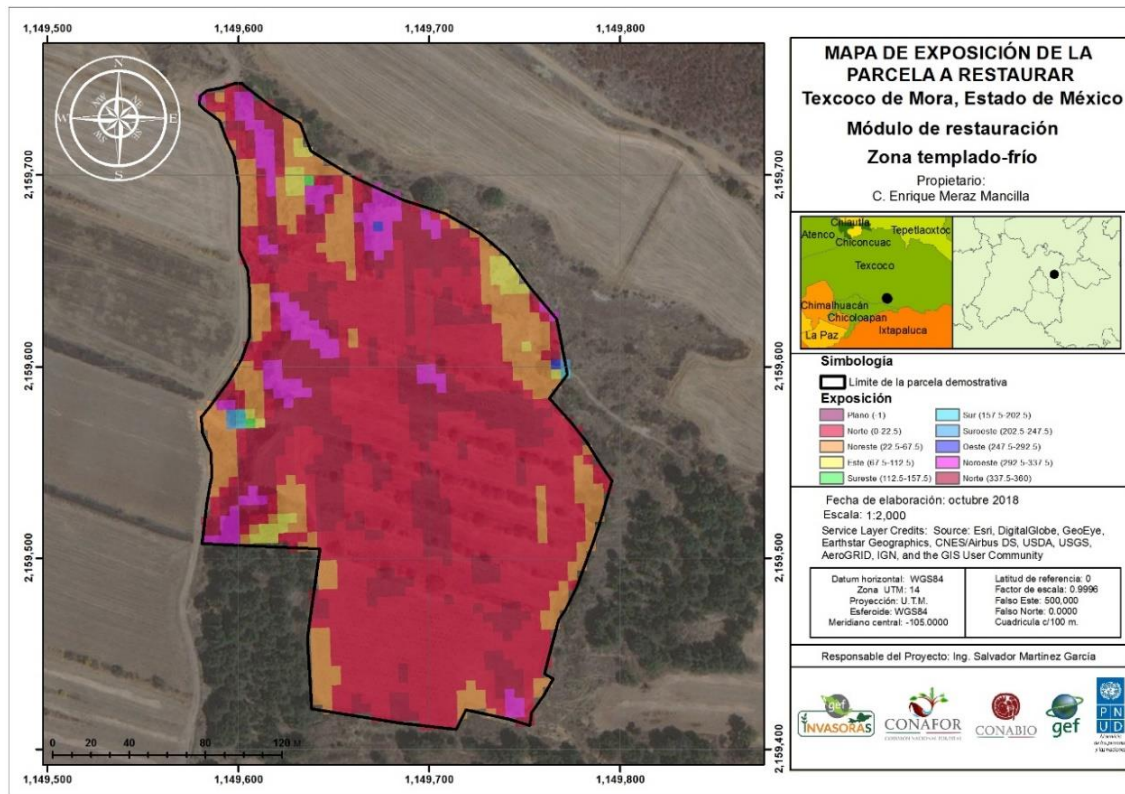


Ilustración 5. Mapa con la exposición topográfica de la parcela a restaurar en el módulo templado frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Por otra parte, la pendiente del terreno se obtuvo a través del uso de un clinómetro electrónico; el dato promedio calculado fue de 10 %, lo que se confirma con el mapa de la Ilustración 6, sin embargo, es importante mencionar que el terreno presenta pendientes mayores al 29%, por lo que se realizó el cabeceo de cárcavas, en donde la pendiente es más pronunciada, para evitar el arrastre de sedimentos.

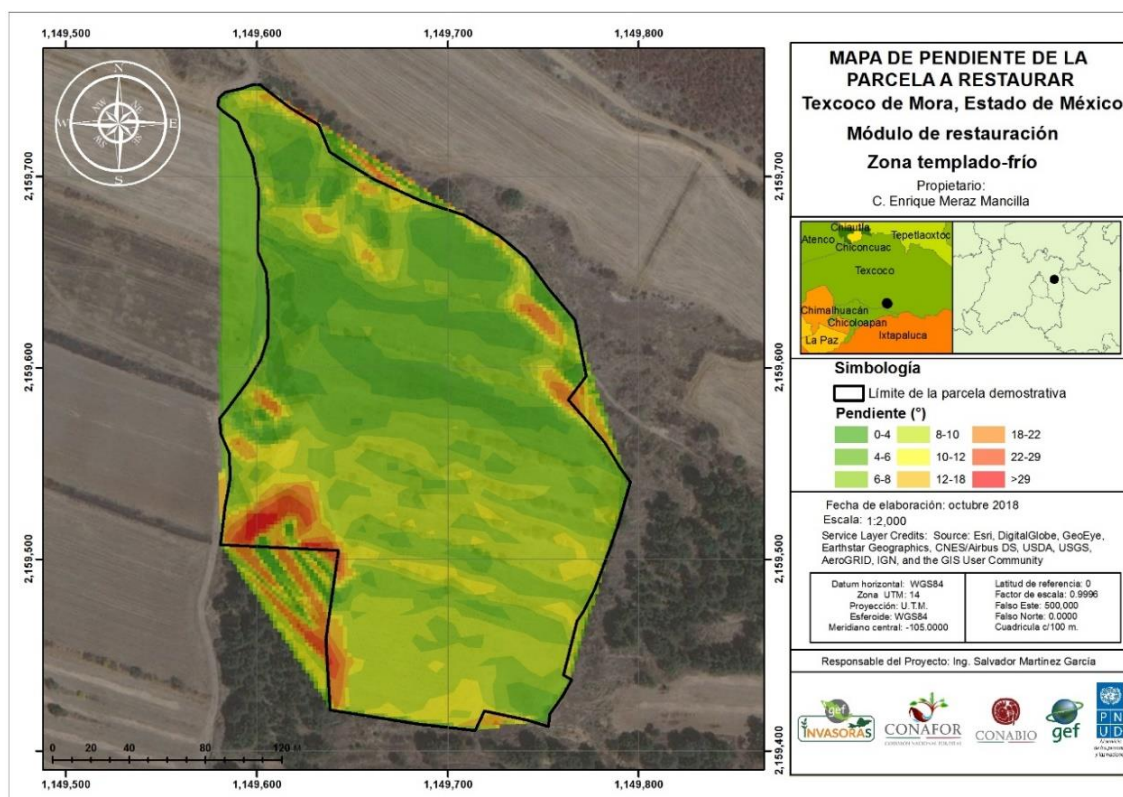


Ilustración 6. Mapa de pendiente de la parcela a restaurar.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

El análisis de estas características permitió la determinación del tipo de obras a realizar en el polígono de estudio, estas fueron: zanja bordo, subsileo y cabeceo de cárcavas.

4.1.3 Hidrología

El área de trabajo se encuentra en la región hidrológica RH-26 denominada Río Pánuco, en la cuenca del Río Moctezuma (D) y a su vez en la subcuenca Lago de Texcoco-Zumpango (p) (INEGI, 2013).

Cabe mencionar que en la zona existe una cantidad considerable de escurrimientos superficiales de tipo intermitente, mismos que transportan agua durante la temporada de lluvias. Existe un arroyo de tipo intermitente cercano al polígono (Ilustración 7), que provee de humedad al sitio de influencia, y que en su momento puede favorecer las actividades de reforestación.

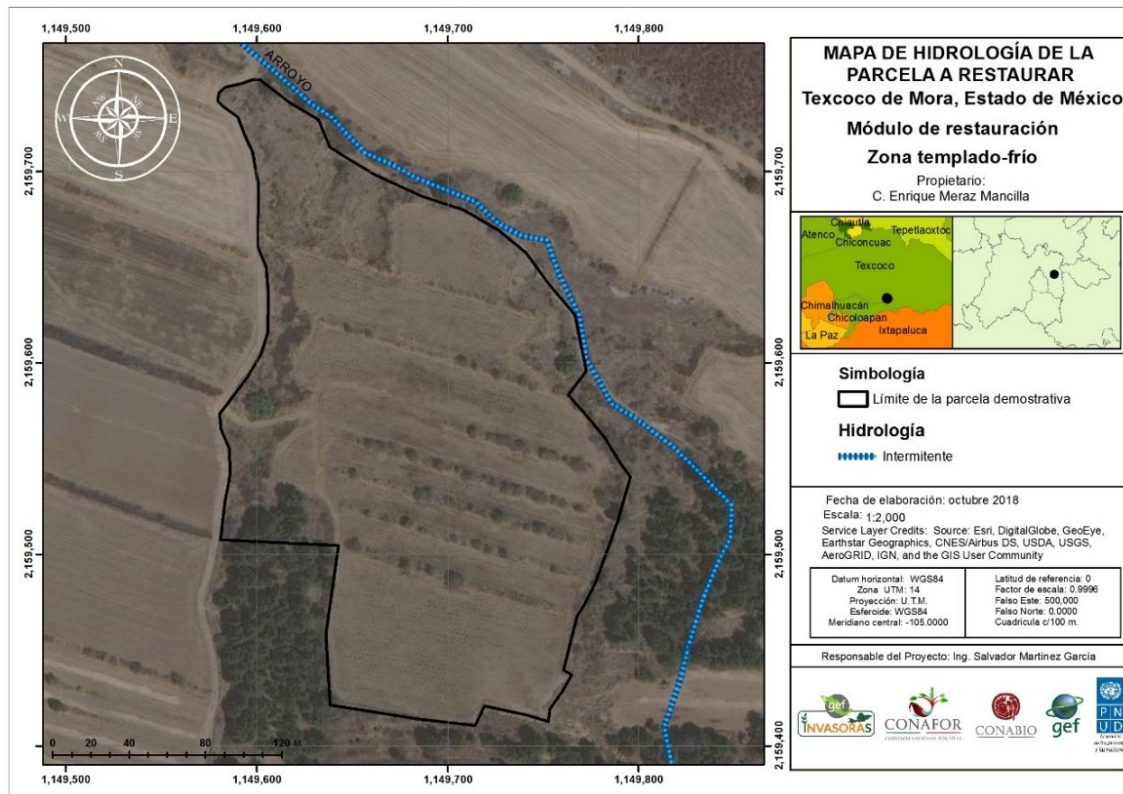


Ilustración 7. Corrientes existentes en el módulo de restauración templado frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.1.4 Descripción geomorfológica

El Estado de México está comprendido dentro de dos provincias geológicas: la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico, que cubre la mayor parte del estado en la porción Norte, esta última caracterizada geológicamente por el predominio de rocas volcánicas cenozoicas que datan del Terciario y del Cuaternario (INEGI, 1981).

La litología de Texcoco está constituida por afloramientos de rocas de origen ígneo, siendo las rocas ígneas extrusivas las que ocupan gran parte de la extensión territorial, de composición basáltica, tobas y andesitas (INEGI, 2001). De acuerdo con el Conjunto de datos vectoriales geológicos del Continuo Nacional, escala 1:1 000 000 (INEGI, 2002); en el área de influencia del proyecto se encuentran: rocas ígneas extrusivas volcanoclásticas y en su mayoría ígneas extrusivas básicas (Ilustración 8).

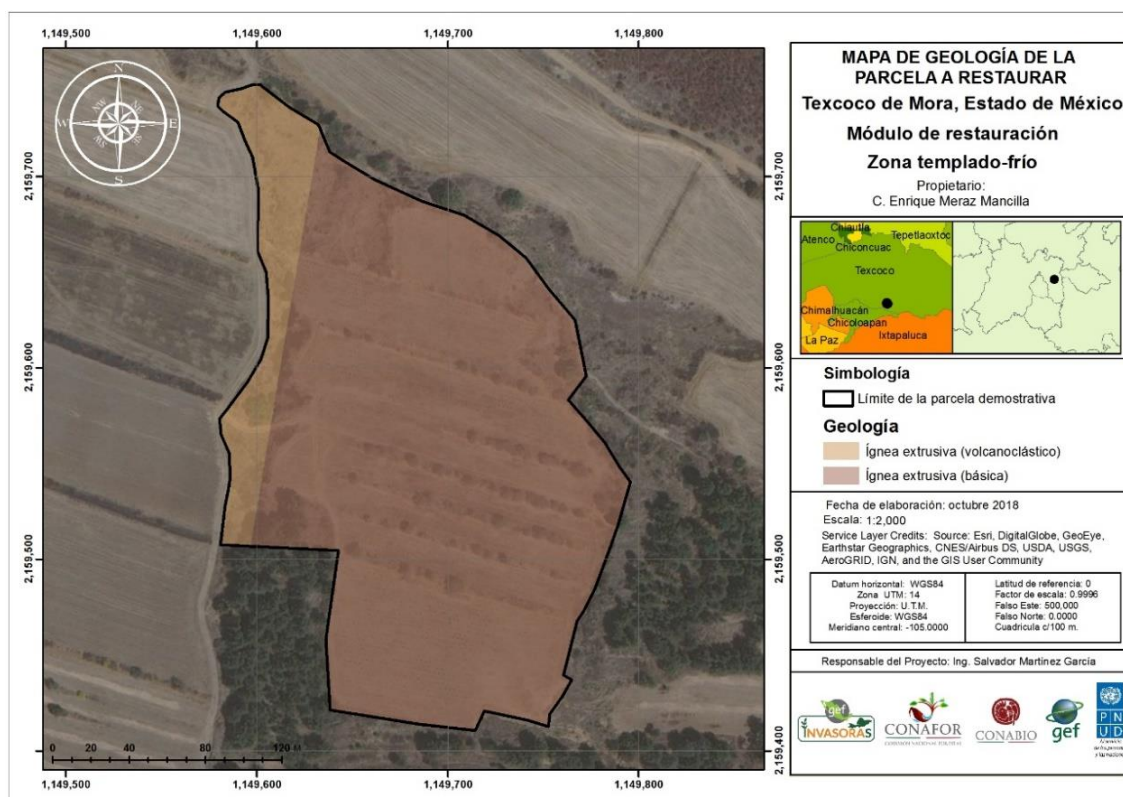


Ilustración 8. Mapa geológico de la parcela a restaurar en el módulo templado-frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Por otro lado, la principal estructura geológica adyacente es el Monte Tláloc, ubicado al Sureste del sitio en cuestión; cerca hay otros aparatos volcánicos, algunos de los cuales se cuentan entre los más notables del país: el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl.

4.2 Descripción de las características, propiedades y condiciones del suelo

4.2.1 Tipo de suelo

Se consultó la plataforma de INEGI para el Conjunto de datos vectoriales edafológicos escala 1:250 000, donde señala que el tipo de suelo en el módulo templado-frío es feozem en su totalidad (Ilustración 9).

Feozem, del griego phaeo: pardo y del ruso zemljá: tierra. Literalmente tierra parda. Es un suelo de color superficial pardo a negro que se puede presentar en cualquier tipo de relieve y clima, generalmente en plano o ligeramente ondulado, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas.

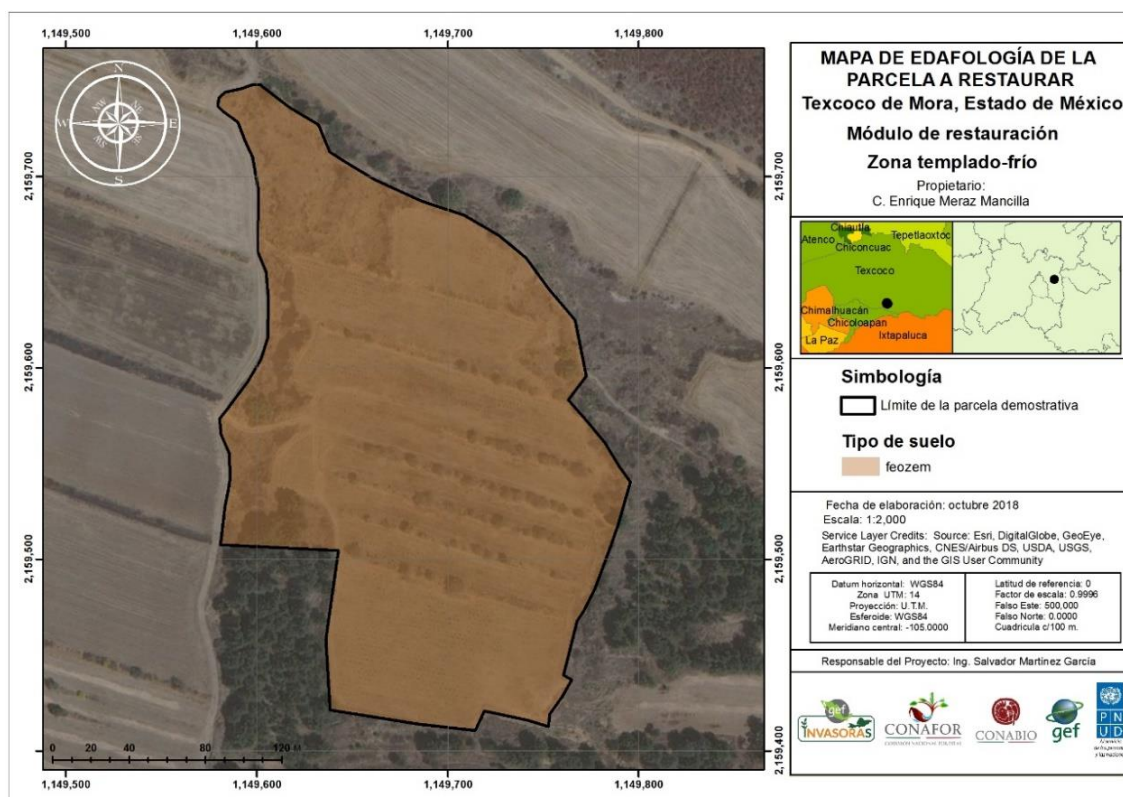


Ilustración 9. Mapa edafológico del módulo de restauración de la zona templado-frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.2.2 Horizontes y texturas encontradas

Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes (Imagen 3). Son suelos de profundidad variable; cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal; los Feozems menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos bajos y se erosionan con facilidad (INEGI, 2004).

Es un suelo con alta saturación de bases en el metro superior, poroso, fértil en magnesio, potasio y sin carbonatos en el subsuelo, son excelentes tierras agrícolas. La profundidad promedio encontrada no es mayor de 0.45 m con dos horizontes bien definidos y con una textura que va de media a fina (francos, franco - arcillosas), también presenta una pequeña capa de materia orgánica (Imagen 3-4).



Imagen 3. Perfil de suelo en módulo templado frío.

Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 4. Condición actual del módulo de restauración de la zona templado-frío.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

4.3 Clima

4.3.1 Tipo de clima

De acuerdo con el conjunto de datos vectoriales del continuo nacional (INEGI, 2000) a escala 1: 250,000 en conjunto con la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García (1987), el clima del área del proyecto es Templado subhúmedo C(w1), con lluvias en verano y estación seca en invierno (Ilustración 10). Presenta una temperatura media anual entre 12°C y 18°C. La temperatura del mes más frío oscila entre -3°C y 18°C y la temperatura del mes más caliente no supera los 22°C. La precipitación anual es de 500 a 600 mm (Ilustración 11) y la del mes más seco es de 0 a 40 mm. Lluvias de verano con índice P/T mayor de 55, y porcentaje de lluvia invernal del 5.0 al 10.2% del total anual.

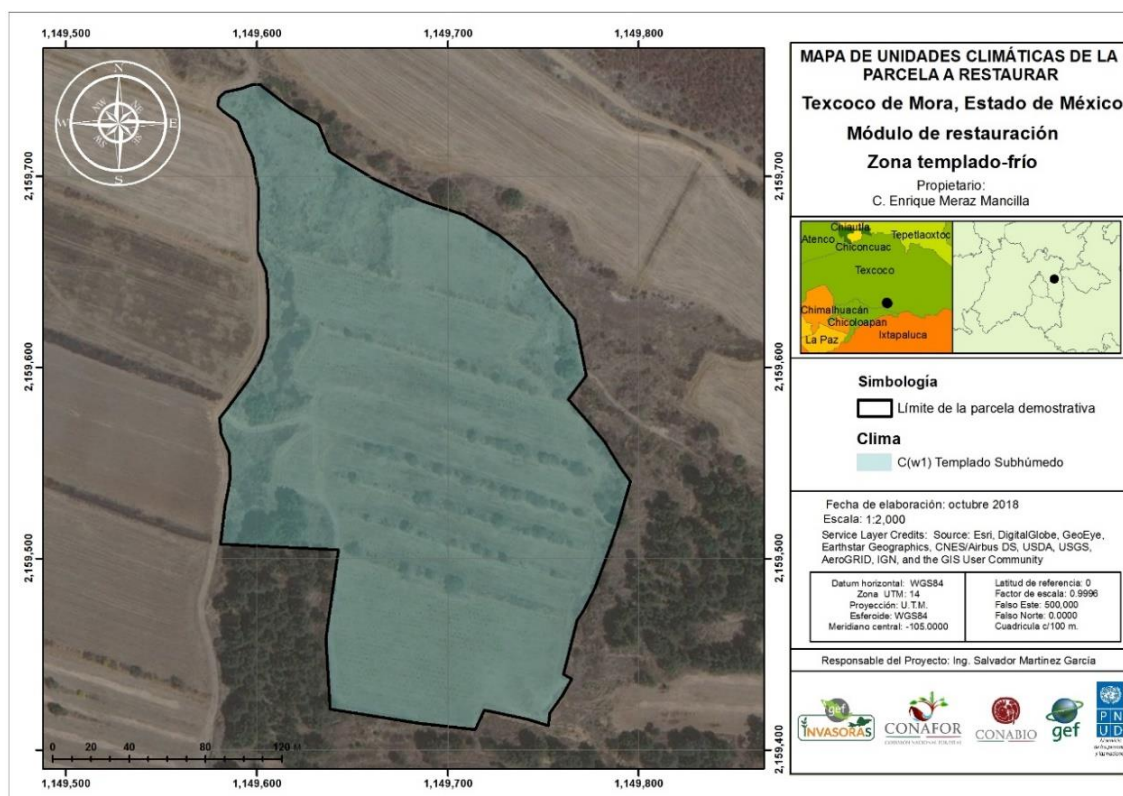


Ilustración 10. Mapa de unidades climáticas del módulo de restauración para la zona templado-frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Por otra parte, conforme a las normales climatológicas del municipio de Texcoco, Estado de México (próximas al ejido San Miguel Coatlinchán), de las estaciones meteorológicas 15167 y 15170 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se tiene una precipitación promedio multianual de 590.2 mm siendo los meses con menor precipitación: febrero y diciembre; y los meses con mayor precipitación de junio a septiembre, en donde se registra una precipitación promedio de 105.7 mm por mes.

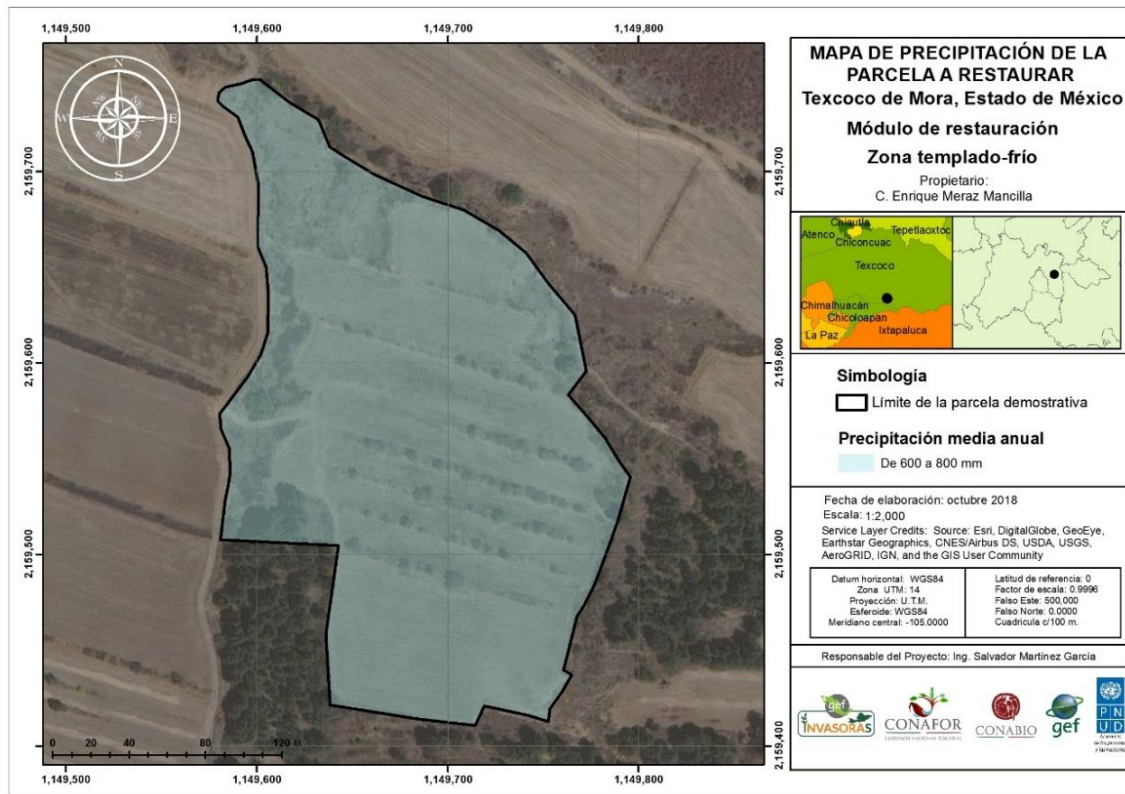


Ilustración 11. Mapa de precipitación media anual en el módulo templado frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

La temperatura media anual es de 15.7°C con temperaturas medias extremas de 12.3°C y 18.5°C correspondientes a los meses de enero y mayo, respectivamente (Ilustración 12).

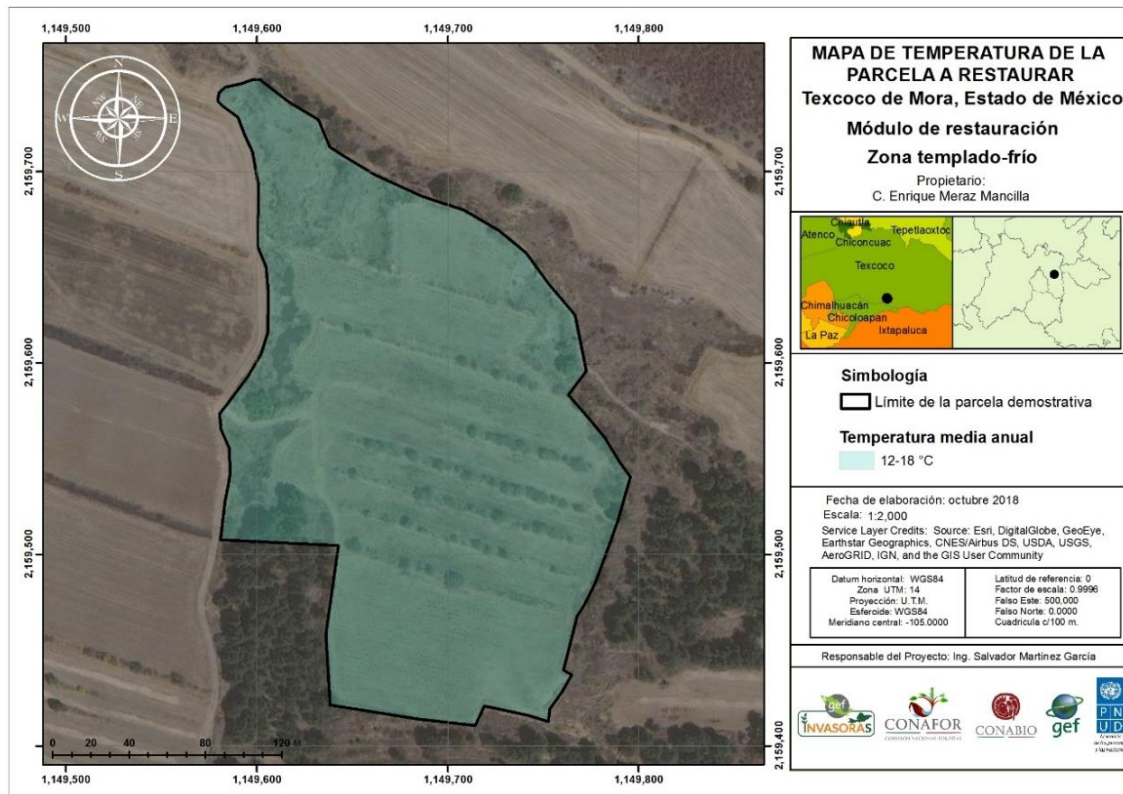


Ilustración 12. Temperatura media anual en el módulo templado frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.3.2 Cálculo del clima

Se analizaron los parámetros climáticos como la temperatura y precipitación del municipio de Texcoco, especialmente la parte correspondiente al ejido Coatlinchán, no obstante, se encontró que estos presentan variaciones durante el año, por lo que se calculó la evapotranspiración potencial mediante el método de Thornthwaite, el cual se basa en el balance de vapor de agua y está en función de la temperatura media de la zona, con una correlación en función del número de días del mes y la duración del día, la cual se obtiene con la siguiente fórmula (Thornthwaite & Matter, 1957).

$$e = 16 * \left(\frac{10 * tm}{l} \right)^a$$

Dónde:

e: Evapotranspiración mensual sin ajustar en mm (mm/mes).

tm: Temperatura media mensual en °C.

l : Índice de calor anual $l = \sum i_j; j = 1, \dots, 12$, que se calcula a partir del índice de calor mensual, " i ", y es el resultado de la sumatoria de los doce índices de calor mensual

$$i_j = \left(\frac{tm_1}{5} \right)^{1.514}$$

a : Parámetro que se calcula a partir de l con la siguiente fórmula:

$$a = 0.000000675 * l^3 - 0.0000771 * l^2 + 0.01792 * l + 0.49239$$

En aquellos meses en que presenten una temperatura mensual mayor a los 26.5 °C, es necesario utilizar el valor correspondiente a la temperatura del mes con respecto a la Tabla 2, este valor indica la evapotranspiración diaria. Para extrapolar el valor a mes se debe multiplicar por el número de días que tiene el mes a ajustar.

Tabla 2. Valores de evapotranspiración diaria sin ajustar para temperaturas superiores a los 26.5 °C.
Fuente: Thornthwaite & Matter (1957).

tm (°C)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
26						4.5	4.5	4.6	4.6	4.6
27	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9
28	4.9	5	5	5	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2
29	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4
30	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6
31	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.8
32	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9
33	5.9	5.9	5.9	5.9	6	6	6	6	6	6
34	6	6	6	6	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
35	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
36	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
37	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
38	6.2									

Con la metodología anterior, la evaporación sin ajuste mensual no contempla el número de días del mes y horas luz de cada día. Por lo que, para realizar el ajuste, es necesario contar con el factor de corrección del número de días del mes y la duración astronómica del día, para lo cual se utilizó el Anexo I y aplicando la siguiente fórmula se obtiene la evapotranspiración potencial según Thornthwaite (mm/mes) (Tabla 3):

$$ETP_{Ajustada} = e * L$$

Dónde:

L : Factor de corrección del número de días del mes y duración astronómica del día.

Tabla 3. Valores promedio mensuales de las estaciones meteorológicas 15167 y 15170, Texcoco, Estado de México.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Parámetro	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación	11.0	7.4	11.9	28.1	52.5	99.5	121.9	109.1	88.4	44.9	10.6	5.3
Temperatura	12.3	13.6	15.9	17.6	18.5	18.0	17.0	17.0	16.6	15.4	13.8	12.5
i	3.9	4.5	5.7	6.7	7.2	7.0	6.3	6.3	6.2	5.5	4.7	4.0
ET sin (mm/mes)	40.2	47.1	60.2	71.0	76.7	73.5	66.9	66.9	64.7	57.6	48.5	41.5
L	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.10	1.14	1.10	1.02	1.00	0.93	0.95
ETP aj (mm/mes)	38.2	42.4	62.0	74.5	86.7	80.8	76.3	73.6	66.0	57.6	45.1	39.4

¹i: Índice de calor; ²Et sin: Evapotranspiración sin ajustar; ³L: Factor de corrección de la evapotranspiración sin ajustar; ⁴ETP aj: Evapotranspiración ajustada por el método de Thornthwaite. Datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y datos de la evapotranspiración.

Los meses que presentan mayor cantidad de lluvias son de junio a septiembre (Grafica 1), donde se tiene un periodo de cuatro meses con precipitación constante. Además, la evapotranspiración potencial está por debajo de los valores de la precipitación, lo que da oportunidad para realizar actividades de reforestación en estos meses. Sin embargo, en los meses restantes que van de octubre a mayo, la precipitación está por debajo de la evapotranspiración, lo que la hace una temporada inadecuada para reforestación, puesto que se presenta un periodo seco que se mantiene incluso en los meses de febrero y diciembre, los cuales presentan temperaturas bajas.

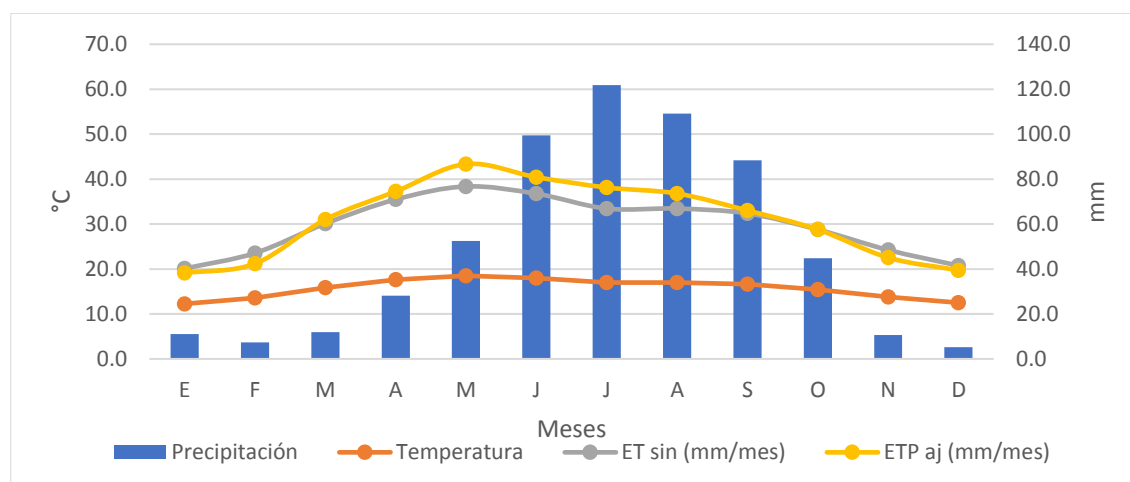


Gráfico 1. Climograma y representación de la evapotranspiración real y potencial del municipio de Texcoco, Estado de México.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018

Según las normales del Sistema Meteorológico Nacional es baja la probabilidad de eventos tales como neblina, granizo y/o tormentas, entre otros. Por lo que la presencia de este tipo de fenómenos en la región de Texcoco suele ser aislada, sin embargo, las heladas tienen un poco más de ocurrencia.

El cálculo del clima para el municipio de Texcoco se determinó de acuerdo con el segundo método de Thornthwaite, el cual se basa en el grado de humedad de un sitio específico, asimismo, toma en cuenta las necesidades hídricas que se expresan a través de la evapotranspiración potencial (Thornthwaite, 1948). Para conocer el reparto de lluvia y temperatura a lo largo de un año dentro de una zona, se puede obtener a través de los índices de humedad o de sequía (Bautista *et al.*, 2004).

Haciendo énfasis en el índice de humedad, se puede definir como la disponibilidad de esta en un área determinada. En las zonas que presenten un déficit de humedad actúa la evapotranspiración (salidas), sin embargo, cuando se tiene un exceso hídrico, la precipitación está presente (entradas). Hay una posibilidad de encontrar un equilibrio en las entradas y salidas, esto porque cierta cantidad se evapotranspira, pero es compensada con la precipitación (McCabe & Wolock, 1991). Para obtener el clima del área de estudio se siguió la metodología de Thornthwaite, la cual se describe a continuación (Thornthwaite, 1948).

Primero se calcularon los datos de excesos y deficiencias de precipitación (Tabla 4). La obtención de estos dos valores depende de la cantidad de lluvia que se presentó en cada mes y la cantidad de agua evapotranspirada. Existen dos relaciones para identificar si hay un exceso o un déficit de agua en cada mes; para el primer caso la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial y el segundo la precipitación es menor que la evapotranspiración potencial.

Tabla 4. Valores promedio mensuales de precipitación, evapotranspiración, exceso y deficiencia del municipio de Texcoco, Estado de México. Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Parámetro	Meses del año											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación	11.0	7.4	11.9	28.1	52.5	99.5	121.9	109.1	88.4	44.9	10.6	5.3
ETP aj¹ (mm/mes)	38.2	42.4	62.0	74.5	86.7	80.8	76.3	73.6	66.0	57.6	45.1	39.4
Exceso (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	45.6	35.5	22.3	0.0	0.0	0.0
Deficiencia (mm)	27.2	35.0	50.2	46.4	34.2	0.0	0.0	0.0	0.0	12.7	34.5	34.2

¹Evapotranspiración ajustada por el método de Thornthwaite. Fuente: Sistema Meteorológico Nacional (SMN).

Después se calculó el régimen de humedad que corresponde al primer dígito de la clasificación del clima de Thornthwaite. Este dígito se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$IM = \frac{(100 * E - 60 * D)}{ETP_{aj}}$$

Dónde:

IM: Grado de humedad del lugar.

E: Exceso de humedad en el año.

D: Deficiencia de humedad en el año.

ETP_{aj}: Evapotranspiración ajustada por el método de Thornthwaite.

$$IM = \frac{(100 * 122) - (60 * 274.4)}{742.5}$$

$$IM = -5.743$$

Para obtener el grupo del clima de la región se consideró el valor que resultó de la fórmula anterior, y con el apoyo de la información de la Tabla 5, se cotejaron los valores. El grupo de clima al que pertenece el municipio de Texcoco es *C₁* que corresponde a subhúmedo seco.

Tabla 5. Tipos de climas de acuerdo con índice hídrico o grado de humedad.

Fuente: Thornthwaite & Matter (1957).

Símbolo	Tipo de clima	Índice hídrico
Para climas húmedos		
A	Súper húmedo	Mayor de 100
B4	Muy húmedo	80 a 100
B3	Húmedo	60 a 80
B2	Moderadamente húmedo	40 a 60
B1	Ligeramente húmedo	20 a 40
C2	Sub húmedo	0 a 20
Para climas secos		
C1	Sub húmedo seco	0 a -20
D	Semiárido seco	-20 a -40
E	Árido	-40 a -60

Posteriormente, se obtuvo el segundo dígito de la fórmula climática; esta indica la variación estacional de la humedad del sitio. Es importante señalar que si el sitio de interés presentó

un clima húmedo, se emplea la fórmula del índice de aridez, sin embargo, si resultó ser un clima seco se requiere utilizar la fórmula del índice de humedad, esto debido a que si existe una estación seca en un clima húmedo es necesario saber que tan seca es o viceversa, si existe una estación húmeda en un clima seco de deberá conocer que tan húmeda es, con la finalidad de poder determinar establecer el dígito que mejor describa el área a trabajar. Como se presenta a continuación:

$$Ia = \frac{100 * D}{ETP_{aj}}$$

$$Ih = \frac{100 * E}{ETP_{aj}}$$

Dónde:

D: Déficit de humedad en el año.

E: Exceso de humedad en el año.

Como en el sitio se obtuvo un clima seco se aplicó la fórmula del índice de humedad:

$$Ih = \frac{100 * 122}{742.5}$$

$$Ih = 16.43$$

La variación estacional de humedad que se encontró en el sitio de interés pertenece al grupo *w*, el cual define a la región con moderado exceso en invierno, este evento se puede apreciar en el climograma presentado, ya que la línea de precipitación desciende en los meses de noviembre a abril (Tabla 6).

Tabla 6. Índice de variación estacional de la humedad.

Fuente: Thornthwaite & Matter (1957).

Símbolos	Tipo de Variación	Índice de variación
Para climas húmedos: Índices de aridez (Ia)		
r	Nula o pequeña deficiencia de agua	0 a 16.7
s	Moderada deficiencia en verano	16.7 a 33.3
w	Moderada deficiencia en invierno	16.7 a 33.3
s2	Gran deficiencia en verano	Más de 33.3
w2	Gran deficiencia en invierno	Más de 33.3
Para climas secos: Índices de humedad (Ih)		
d	Nulo o pequeño exceso de agua	0 a 10

Símbolos	Tipo de Variación	Índice de variación
s	Moderado exceso en verano	10 a 20
w	Moderado exceso en invierno	10 a 20
s2	Gran exceso en verano	Más de 20
w2	Gran exceso en invierno	Más de 20

El tercer valor de la fórmula pertenece a la eficiencia térmica, este se obtuvo con el valor de la evapotranspiración anual (742.5 mm), que a la vez se comparó con los valores de la Tabla 7. Conforme al resultado que se obtuvo, el área de estudio pertenece a una región mesotérmica templada fría (B'2).

Tabla 7. Eficiencia térmica.
Fuente: Thornthwaite & Matter (1957).

Símbolos	Región térmica	ETP (mm)
A'	Megatérmica o cálida	1140 y más
B'4	Mesotérmica semicálida	997 a 1140
B'3	Mesotérmica templada cálida	855 a 997
B'2	Mesotérmica templada fría	712 a 855
B'1	Mesotérmica semifría	570 a 712
C'2	Microtérmica fría moderada	427 a 570
C'1	Microtérmica fría acentuada	285 a 427
D'	Tundra	142 a 285
E'	Helado o Glacial	menos de 142

Para concluir el cálculo del clima, se obtuvo el grupo de la concentración de la eficiencia térmica en verano, este se consigue sumando los valores de la evapotranspiración potencial de los cuatro meses de verano; junio, julio, agosto y septiembre. Después, se obtuvo el porcentaje de la eficiencia térmica, que es el resultado de la relación de la evapotranspiración potencial de los meses de verano respecto a la evapotranspiración ajustada multiplicada por 100. Asimismo, se comparó el resultado con los rangos presentados en la Tabla 8 que corresponden a la concentración de la eficiencia térmica en verano.

Tabla 8. Concentración de eficiencia térmica en verano.
Fuente: Thornthwaite & Matter (1957).

Tipo de clima	% verano año-1
a'	Menos de 48%
b'4	48% a 51.9%
b'3	51.9% a 56.3%
b'2	56.3% a 61.6%

Tipo de clima	% verano año-1
b'1	61.6% a 68.0%
c'2	68.0% a 76.3%
c'1	76.3% a 88.0%
d	Más de 88%

Para la estimación de la eficiencia térmica se aplicó la siguiente fórmula:

$$ET(\%) = \left(\frac{ETP_V}{ETP_{aj}} \right) * 100$$

Dónde:

ET : Eficiencia térmica.

ETP_V : Sumatoria de la evapotranspiración potencial de los meses de verano.

$$ET(\%) = \left(\frac{296.7}{742.5} \right) * 100$$

$$ET = 39.95\%$$

El resultado que se obtuvo en la eficiencia térmica y con la comparación de los valores de la Tabla 8, corresponde al grupo a' , ya que su eficiencia térmica es menor al 48%. Finalmente, con el resultado de cada uno de los dígitos que contempla la fórmula climática de Thornthwaite, se obtuvo un tipo de clima **C₁ w B'2 a'**, el cual se describe como subhúmedo seco, con un moderado exceso de humedad en invierno, eficiencia térmica mesotérmica templada fría y una concentración de la eficiencia en verano de 39.95%.

4.4 Vegetación

De acuerdo con la información de INEGI (2014), el tipo de vegetación presente en el área de interés corresponde en su mayoría a vegetación de temporal anual, seguido de bosque cultivado y pastizal inducido, sin embargo, las condiciones en campo son distintas, por lo cual se realizó una modificación a lo reportado por INEGI, obteniendo que la mayor parte del terreno corresponde agricultura de temporal anual, seguido de pastizal inducido y una pequeña porción de bosque cultivado (Ilustración 13).

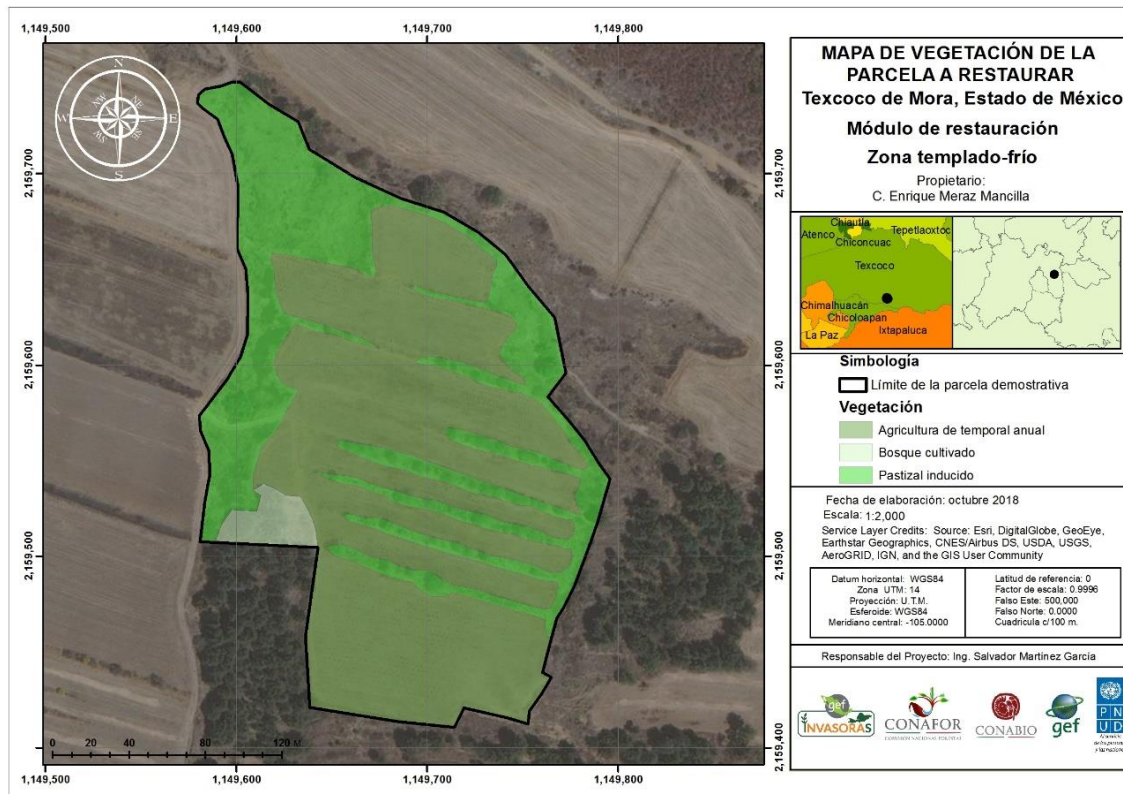


Ilustración 13. Mapa de los tipos de vegetación presentes en el módulo templado-frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

El porcentaje bajo de superficie cubierta por bosque cultivado es debido a que la vegetación nativa se ha perdido por distintos factores como el cambio de uso de suelo para agricultura de temporal, sobrepastoreo, así como la afectación del incendio ocurrido en 2017; por lo que actualmente las superficies boscosas encontradas en el ejido son reforestaciones que se hicieron algunos años atrás (Imagen 5). Ángeles *et al.* (2011) mencionan que La Comisión del Plan Lago de Texcoco inicio en 1973 un programa de conservación de suelo y agua a través de la reforestación en la zona de lomeríos y la pastización en las áreas bajas en los terrenos del ex Lago de Texcoco. Los mismos autores mencionan que son escasos los estudios de las evaluaciones del impacto directo de las reforestaciones realizadas, pero resaltan la utilización de especies como: cedro blanco (*Cupressus lindleyi*), pino chamaite (*Pinus montezumae*), casuarina (*Casuarina equisetifolia*) y eucalipto (*Eucalyptus* spp).

Haciendo referencia a Rendón (2013), quien menciona la vegetación inicial en el ejido de Coatlinchán, en una clasificación dependiendo el gradiente altitudinal en el cual se ubica. Dicho autor menciona que en lomeríos con altitudes entre 2,300 a 2,500 msnm había la presencia de encinos, arbustos, cactáceas, amarilidáceas, liliáceas y compuestas; para barrancas podían encontrar especies como aile (*Alnus jorullensis*), ahuejote (*Salix*

bonplandiana), fresno (*Fraxinus uhdei*), tepozán blanco (*Buddleja cordata*), capulín blanco (*Prunus capuli*), ahuhuete (*Taxodium mucronatum*) y azomiate (*Senecio salignus*).

A mayor altitud la presencia de coníferas como: pino chimonque (*Pinus leiophylla*), pino chamaite (*Pinus montezumae*), pino lacio (*Pinus pseudostrobus*), pino de las alturas (*Pinus rudis*), cedro blanco (*Cupressus lindleyi*); en un rango altitudinal superior a los 3,500 msnm era posible encontrar oyamel (*Abies religiosa*), ocote (*Pinus hartwegii*) y enebro azul (*Juniperus monticola*). Asimismo, Sánchez (2004) citado por Rendón (2013) menciona seis tipos de vegetación a través del gradiente altitudinal en el declive occidental del Monte Tláloc, estos son: encinar arbustivo, bosque de encino, bosque mixto, bosque de oyamel, bosque de pino, y zacatal alpino.



Imagen 5. Vegetación presente en la zona de influencia del módulo templado-frío.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

Actualmente en la cercanía del polígono (parte sureste) se observa una plantación destinada a árboles de navidad la cual puede apreciarse en la Imagen 6.



Imagen 6. Plantación destinada para árboles de navidad en la cercanía de la parcela.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

Se consideran terrenos forestales aquellos que están cubiertos por bosques, selvas o vegetación forestal de zonas áridas. Los terrenos con aptitud preferentemente forestal son aquellos que no estando cubiertos por vegetación forestal (algún tipo de vegetación mencionado anteriormente), por las condiciones del clima, suelo y topografía, pueden incorporarse al uso forestal, pues el suelo aún tiene la capacidad para retención de bosque.

Con base en lo anterior se elaboró un mapa de aptitud con la clasificación: alto, medio, bajo y no apto, tomando en cuenta que alto se refiere a que en su totalidad es terreno forestal y no apto es cuando el suelo ya no tiene las características para volver a incorporar bosque.

Para el presente módulo la mayor parte de la superficie corresponde aptitud media (Ilustración 14), sin embargo, presenta algunos manchones rojos que representan aptitud bajo, que coinciden con las pendientes pronunciadas que presenta el terreno, es por ello por lo que en la parte noroeste y suroeste se estableció el cabecero de cárcavas.

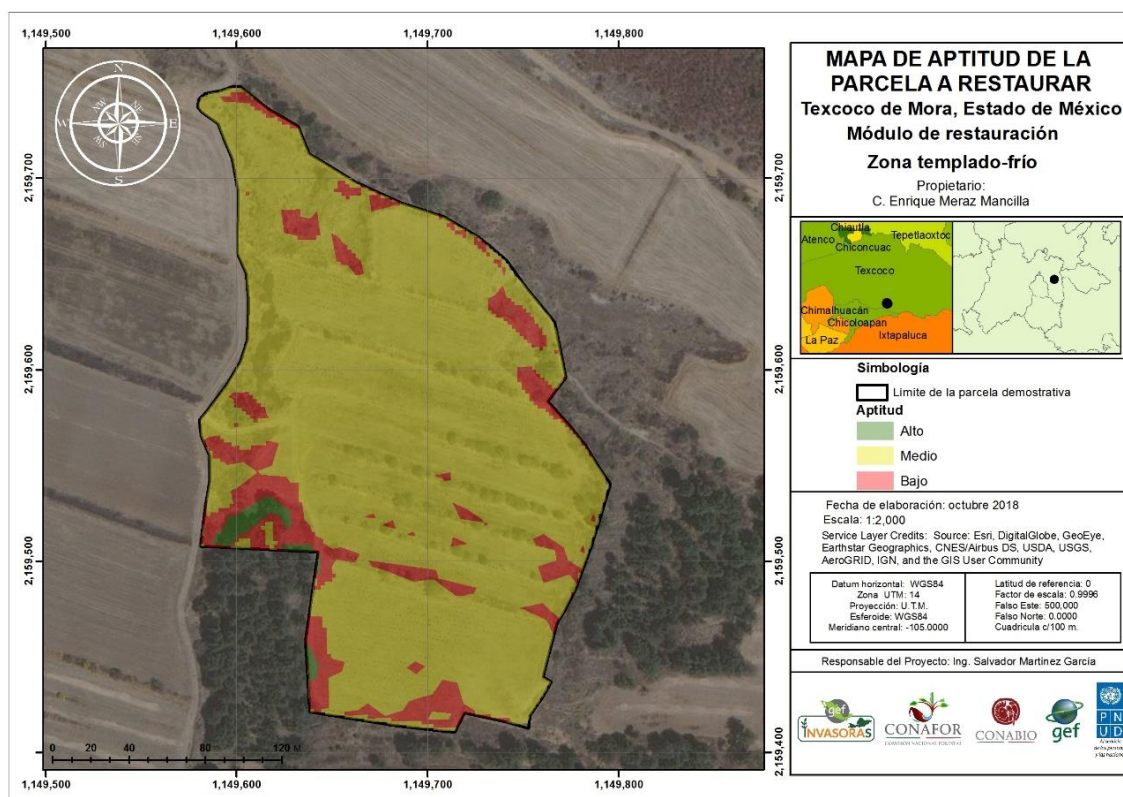


Ilustración 14. Mapa de aptitud de la parcela demostrativa.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.5 Aspectos sociales

De acuerdo con el panorama sociodemográfico del Estado de México (INEGI, 2015), del año 2000 al 2010 la población del Estado de México registró un aumento del 14% y del año 2010 al 2015 el incremento poblacional fue del 6%; esta tendencia es similar para Texcoco de Mora y por ende para San Miguel Coatlinchán (Tabla 9).

Tabla 9. Comparabilidad de información sociodemográfica del Estado de México

Fuente: INEGI 2000; 2015.

Año	Población total Estado de México	Población total Texcoco de Mora	Población total Coatlinchán
2000	13 096 686	204 102	15 011*
2010	15 175 862	235 151	22 619
2015	16 187 608	240 749	Dato no disponible

El Plan de Desarrollo Municipal 2016-2018 de Texcoco indica que para el año 2013 el número de personal ocupado en la circunscripción era del orden de 32,835 personas, de las que el 68.65% trabajaba en el sector de servicios privados no financieros, el 26% en establecimientos manufactureros y el 5.31% en otras actividades. Por lo que la población

económicamente activa del municipio se empleaba mayoritariamente en el sector terciario, es decir, en el comercio, el transporte, las comunicaciones y los servicios privados no financieros.

Respecto a la distribución geográfica, el sector terciario se encontraba en la cabecera municipal y en los grandes núcleos poblacionales, el sector secundario de predominio industrial también tenía una distribución igual a las actividades terciarias. En la zona rural se asentaban en menor cantidad las actividades del sector primario. Para el año 2014, la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) informó que la vocación productiva del municipio de Texcoco estaba representada en un 71.2% por la producción pecuaria, el 28.3% por las actividades agrícolas y en última instancia por la acuícola con un 0.5%.

La restauración natural es un proceso paulatino, por ello es necesario realizar acciones de restauración ecológica, la cual se define como el proceso de alteración intencional de un hábitat para establecer un ecosistema natural e histórico con el objetivo de imitar la estructura, la función, la diversidad y la dinámica del ecosistema original; su principal objetivo es generar como resultado un sistema altamente diverso y similar al original en cuanto a funcionalidad, composición y estructura (CONAFOR, 2009), esto en un tiempo relativamente corto.

La participación comunitaria sobre la toma de decisiones y solución de conflictos es esencial en los procesos de planificación y ejecución; su colaboración determina el éxito de cualquier proyecto y al haber retroalimentación entre las partes permite a las comunidades desarrollarse de manera sustentable. Actualmente la sociedad ha formado parte de los trabajos de compensación ambiental que se han realizado en diversos ejidos del municipio, incluyendo el ejido Coatlinchán.

5 Origen o causas de la degradación del ecosistema de la localidad

El municipio Texcoco de Mora presentaba una vocación agrícola-ganadera en los años 1940 a 1980. A partir de los años setenta y ochenta esta región presentó asentamientos importantes, así como un proceso de poblamiento en municipios que forman la periferia de la ciudad. Texcoco cambió en los años ochenta su vocación agrícola, ganadera y educativa por una actividad de servicios, modificando formas y tradiciones ancestrales producto del crecimiento urbano y de actividades económicas (Moreno, 2007).

La densidad de población se incrementó en 70% de 1990 a 2000 y con ello la demanda de bienes y servicios, así como los problemas asociados al cambio de uso del suelo como son la escasez de agua, el deterioro de los ecosistemas, las alteraciones en la función y capacidad de la tierra, entre otros. Toda esta situación es producto de las insuficientes

políticas de planeación en el desarrollo territorial del municipio y también por una deficiente toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales (González *et al.*, 2011).



Imagen 7. Factores que han contribuido a la degradación de ecosistemas.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

De acuerdo con el trabajo de González *et al.* (2011), para el periodo 1993-2004 en Texcoco hubo un aumento en: la extensión del uso urbano correspondiente a 173 ha, minero de 92 ha, cuerpos de agua de 3 ha y una disminución en los usos agrícolas de 182 ha, pastizal inducido de 64 ha, bosque 14 ha, en áreas de reforestación 7 ha y pastizal natural 1 ha. Asimismo, el autor realizó una proyección para el municipio hacia el año 2014 en el que señaló incrementos en la superficie urbana de 154 ha, minería 81 ha y pastizal natural 13 ha; puntualiza que las áreas que se verían reducidas son: la agrícola 165 ha, pastizal inducido 56 ha, bosque 23 ha, y reforestación 6 ha.



Imagen 8. Cambio de uso de suelo en Coatlinchán.

Fuente: toma propia SMG 2018.

Cabe mencionar que específicamente, en el área de estudio, el terreno ha tenido varios usos; de 1980 a 2010 el suelo fue dedicado al cultivo de maíz e intercalado con carriles de maguey; posterior a esto se cultivó avena por dos años (2011-2012) para luego dejarlo descansar durante 2013 y 2014, y enseguida se estableció una plantación de árboles de navidad que solo duró 3 años debido a que en 2017 fue siniestrada debido a un incendio forestal superficial que terminó con ella en un 90%.

El incendio de 2017 forma parte de los factores que han degradado los ecosistemas, pues el siniestro afectó más de 800 ha de bosque (Imagen 9).



Imagen 9. Afectación de la vegetación a causa del incendio.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

De manera general, la ausencia de organización en el manejo de los recursos naturales ha ido deteriorando los ecosistemas a lo largo de las décadas, ocasionando una pérdida de biodiversidad y escases de recursos que puedan absorber la demanda de la población actual.

Tabla 10. Resumen de las características de la parcela templado frío

Fuente: Elaboración propia.

Características	Descripción
Altitud	2565 m a 2600 msnm.
Exposición	Norte.
Pendiente	0 a >29%
Hidrología	Cuerpo de agua intermitente.
Geología	Rocas ígneas extrusivas: basaltos, tobas y andesitas.
Suelo	Feozem, con dos horizontes definidos, el superior con una capa de materia orgánica, textura media a fina franco-arcillosa.
Clima	C (w1) Templado subúmedo con lluvias en verano y estación seca en invierno. Temperatura media anual de 15.7º C. Precipitación media anual de 500-600 mm.
Vegetación	Agricultura de Temporal Anual (TA), Pastizal Inducido (PI) y Bosque Cultivado (BC).
Aptitud	Media.
Aspectos sociales	Principales actividades: comercio, transporte, comunicaciones y servicios privados no financieros.
Origen de la degradación de ecosistemas	Cambio de uso de suelo de bosque a agricultura de temporal, incendio forestal y ausencia de organización en el manejo de recursos naturales.

6 Índices que definen el área a restaurar

6.1 Degradación del suelo

Para observar el grado de erosión dentro de la parcela demostrativa, se elaboró un mapa de erosión, donde se visualiza que nuevamente en la parte suroeste el grado de erosión es muy alto, por lo que se sigue reafirmando que la colocación del cabeceo de cárcavas sigue siendo el adecuado para la recuperación de suelos (Ilustración 15).

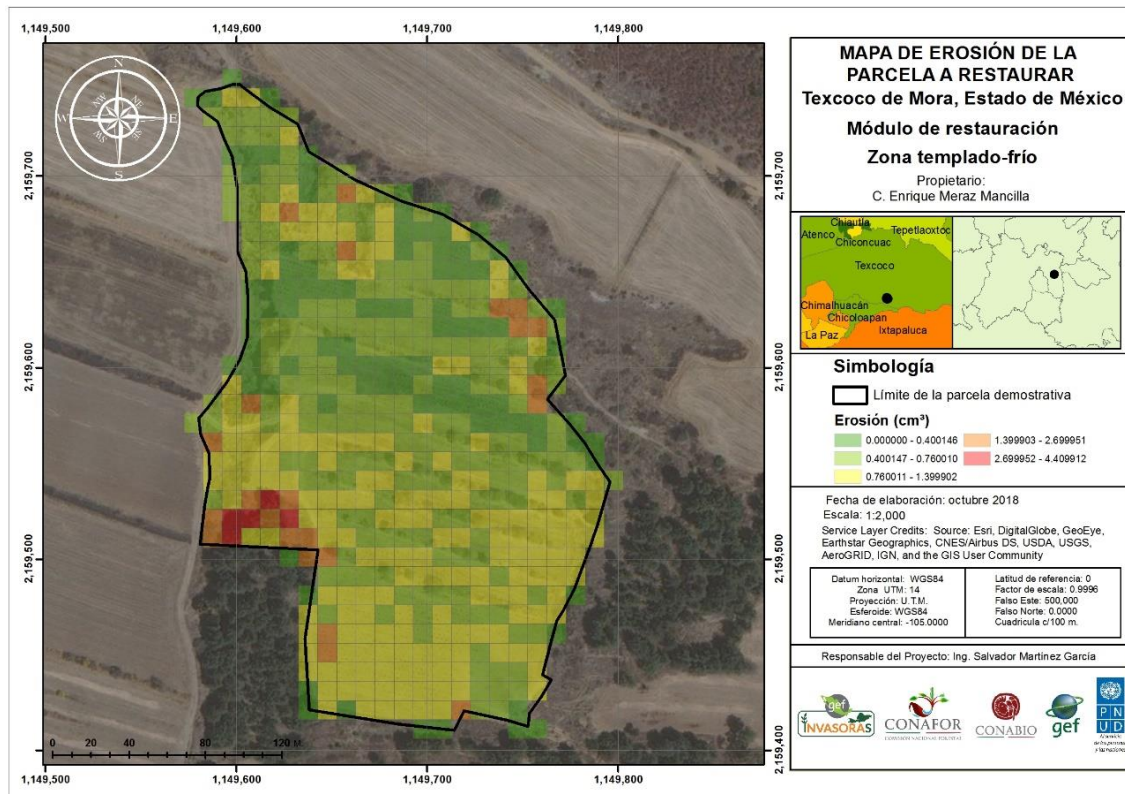


Ilustración 15. Mapa de erosión dentro del módulo templado frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Para el presente módulo el grado de fragmentación de suelo tiene distintos niveles que varían de acuerdo con la pendiente y exposición del terreno, sin embargo, la mayor superficie presenta un grado de fragmentación fuerte, en las orillas ligero y moderado en una pequeña parte al sur de la parcela, tal como se señala en la ilustración 16.

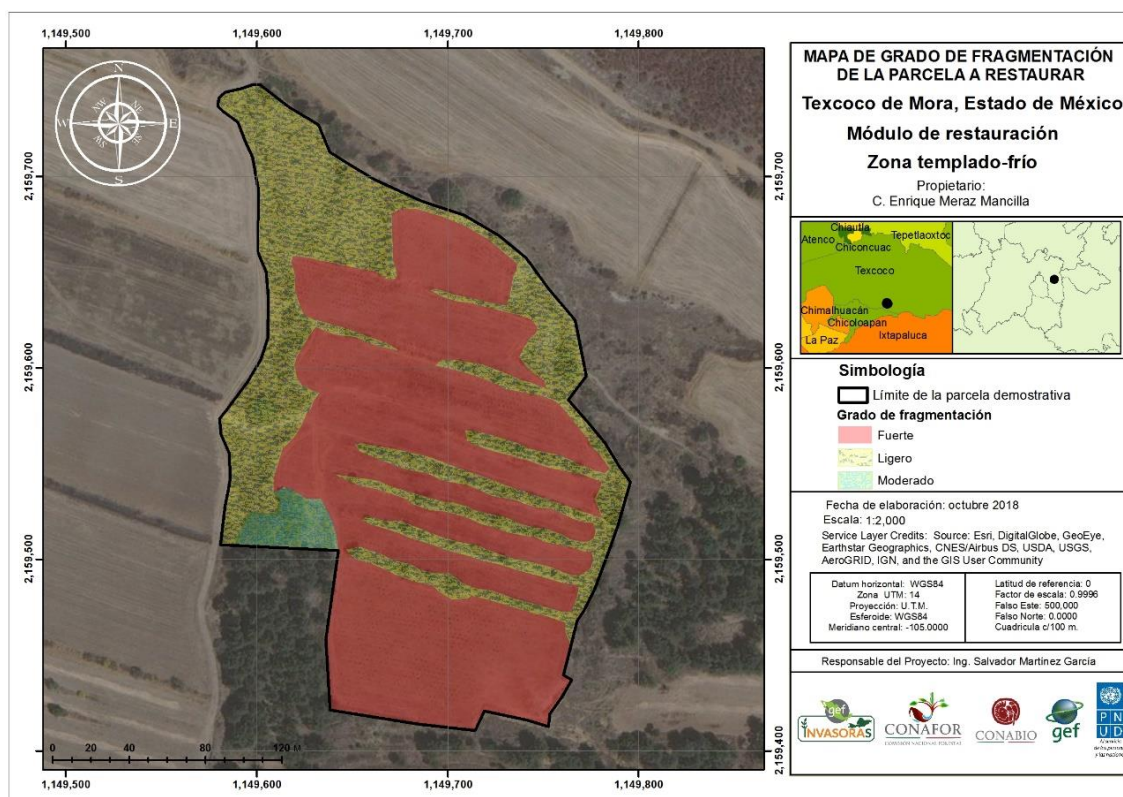


Ilustración 16. Grado de fragmentación en el módulo templado frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

6.2 Índice de prioridad de restauración

Vanegas (2016) menciona que la CONAFOR ha orientado la ejecución de actividades de reforestación en áreas que considera como prioritarias, que se han basado en los criterios técnicos y sociales, dichos criterios apoyados de las características del predio aportan mayores probabilidades de éxito para el sitio a restaurar. Para ello se propone la utilización del Índice de prioridad de restauración (IPR), diseñado con el propósito de sintetizar la condición de cada uno de los predios donde se ejecutan este tipo de actividades.

$$IPR = \left(\frac{1}{3} VUP/C + \frac{1}{3} IEV + \frac{1}{3} IEH + ID + VIP + IS + ISAA \right)$$

Dónde:

IPR= Índice de prioridad de restauración

VUP/C= Valoración de la ubicación del predio en la cuenca

IEV= Índice de estructura vertical

IEH= Índice de estructura horizontal

ID= Índice de diversidad

VIP= Valor asignado al índice de Pieri

IS= Índice de sanidad

ISAA= Índice de susceptibilidad ante actividades antropogénicas

Los resultados se asocian a los siguientes intervalos:

- Mayor prioridad (Nivel 1) = (16 - 25]
- Prioridad media (Nivel 2) = (7.33 - 16]
- Baja prioridad (Nivel 3) = (0 – 7.33]

$$IPR = \left(\frac{1}{3}(12) + \frac{1}{3}(9) + \frac{1}{3}(8) + 2 + 4 + 4 + 3\right)$$

$$IPR = (4 + 3 + 2.67 + 13)$$

$$IPR = 22.67$$

Los resultados arrojan un nivel 1, es decir, de mayor prioridad por tener un valor de 22.67. De acuerdo con el Excel de Vanegas (2016) se recomienda realizar una reforestación del 20 al 50% de la densidad recomendada.

6.2.1 Evaluación de la ubicación del predio en la cuenca

La CONAFOR (2012) menciona que las partes altas de la cuenca realizan la captación inicial de las aguas y suministran el agua durante todo el año; los procesos en las partes altas repercuten en las bajas y es por ello por lo que la cuenca debe considerarse como una unidad. Cada parte de la cuenca cumple con una función importante que ayuda a evitar la degradación de los suelos, por ello es importante priorizar los predios de acuerdo con la ubicación dentro de la cuenca.

$$\frac{VUP}{C} = UPC * \theta i$$

Dónde:

VUP/C= Valoración de la ubicación del predio en la cuenca

UPC= Ubicación del predio en la cuenca (parte alta, ladera o valle)

θi = Ponderador para el predio, en función de la cobertura de la parte alta

Tabla 11. Puntuación para calificar la prioridad del predio de ser reforestado en función de su ubicación dentro de la cuenca.

Fuente: Vanegas (2016).

Ubicación del predio dentro de la cuenca	Valor asignado a la ubicación del predio	¿La parte superior de la cuenca está protegida? (θi)	
		Sí	No
Parte alta	3	3	4
Ladera	2	3	1.5
Valle	1	1.5	1

La parcela demostrativa se encuentra ubicada en la zona alta de la cuenca, por lo que el valor asignado es de 3 sin embargo, al no estar protegida en la parte superior se le asigna un valor de 4.

$$\frac{VUP}{C} = 3 * 4$$

$$\frac{VUP}{C} = 12$$

El rango indicador de este parámetro va de 1 a 12, donde 12 indica que por la ubicación del predio se le considera un área prioritaria a restaurar mientras que uno es un número no prioritario

6.2.2 Evaluación de la estructura, composición y diversidad de área del proyecto

6.2.2.1 Evaluación de la estructura vertical del predio

La Tabla 12 elaborada por Vanegas (2016) integra los criterios de acuerdo con tipo de ecosistema del que se trate, para calificar la condición de la estructura vertical del predio potencial, para efectuar actividades de reforestación.

Tabla 12. Puntaje sugerido para evaluar la estructura vertical de las áreas sujetas a acciones de conservación.

Fuente: Vanegas (2016).

Ecosistema	Estrato I	Estrato II	Estrato III
Templado con predominancia de coníferas o latifoliadas de porte alto	<10 m	10-20 m	>20 m
Templado con predominancia de latifoliadas de porte bajo	<7 m	7-15 m	>15 m
Tropical seco	<10 m	10-20 m	>20 m
Tropical húmedo	<10 m	10-25 m	>25 m
Bosque mesófilo de montaña	<10 m	10-20 m	>20 m

Ecosistema	Estrato I	Estrato II	Estrato III
Zonas áridas	<3 m	3-9 m	>10 m
Factor de ponderación/ Puntaje	$\lambda = (1.5)$	$\lambda = (1)$	$\lambda = (0.5)$
Asignar 1 punto	0-30%	0-30%	61-100%
Asignar 2 puntos	31-60%	61-100%	30-60%
Asignar 4 puntos	61-100%	31-60%	0-30%

La fórmula para el cálculo de este componente es la siguiente:

$$IEV = \sum_{j=1}^3 \lambda_j V_{vj}$$

Dónde:

IEV= Índice de estructura vertical

λ_j = Ponderador para el j-ésimo estrato

V_{vj} = Puntaje obtenido en el j-ésimo estrato

Para el presente módulo se utilizan los valores relacionados con el ecosistema templado con predominancia de coníferas. Durante el muestreo en campo se observaron el estrato I con una cobertura de entre 61-100 %, el estrato II con una cobertura de 0-30 % y la ausencia del estrato III, por lo tanto se tiene que λ_j (ponderador de los estratos) y V_{vj} toman los siguientes valores: $\lambda_I = 1.5$, $\lambda_{II} = 1$, $\lambda_{III} = 0.5$, $V_{vI} = 4$, $V_{vII} = 1$ y $V_{vIII} = 4$

Sustituyendo los valores en la fórmula, se obtiene lo siguiente:

$$IEV = \sum_{j=1}^3 \lambda_1 V_{v1}, \lambda_2 V_{v2}, \lambda_3 V_{v3}$$

$$IEV = (1.5 * 4) + (1 * 1) + (0.5 * 4)$$

$$IEV = 9$$

El rango de IEV es de 3 a 12, con distintos valores intermedios, en función de las condiciones específicas, este valor entre más se acerque 12 indicará que la diversidad entre los estratos es bajo o no existe, de tal forma que los valores bajos o cercanos a tres indican una alta diversidad entre estratos.

Para la parcela de clima templado frío que se está analizando se obtuvo un valor de 9, lo indica una diversidad baja entre estratos, y a su vez indica que las especies que se recomienden para la reforestación deberán ser tolerantes al sol

6.2.2.2 Evaluación de la estructura horizontal del predio

La estructura horizontal es similar al indicador anterior, tomando de igual forma los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo, los cuales ayudan a la evaluación de la cobertura vegetal. Para esta variable se propone empelar la Tabla 13

Tabla 13. Evaluación del estrato horizontal a nivel predial.

Fuente: Vanegas (2016)

Clasificación	Estrato herbáceo	Estrato arbustivo	Estrato arbóreo
Asignar 0 puntos	>60 %	>60 %	>60 %
Asignar 1 punto	41-60 %	41-50%	41-50 %
Asignar 2 puntos	26-40 %	26-40 %	26-40 %
Asignar 4 puntos	0-25 %	0-25 %	0-25 %

Posteriormente, teniendo el puntaje, el índice horizontal será calculado con la siguiente formula:

$$IEH = \sum_{i=1}^3 Ce_i$$

Dónde:

IEH= Índice de estructura horizontal

Ce_i= Calificación obtenida en el estrato “i” (Tabla 12)

La parcela demostrativa solo presenta el estrato herbáceo y el arbustivos, por lo que la calificación en los estratos es la siguiente: Ce₁ = 0, Ce₂ = 4 y Ce₃ = 4, sustituyendo los valores en la fórmula se obtiene lo siguiente:

$$IEH = \sum_{i=1}^3 Ce_1, Ce_2, Ce_3$$

$$IEH = \sum_{i=1}^3 0,4,4$$

$$IEH = 0 + 4 + 4$$

$$IEH = 8$$

El rango de este índice va de 0 a 12, donde doce indica un suelo casi o totalmente descubierto, por lo que es altamente prioritario a restaurar.

6.2.2.3 Índice de diversidad de Simpson

El índice de Simpson tiene un rango de 0 a 1, donde 0 refleja una máxima diversidad y el 1 refleja una máxima dominancia; para el cálculo del índice se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = 1 - \sum_{i=1}^j p_i^2$$

Dónde:

S= Índice de Simpson

Pi= Abundancia proporcional de la iésima especie (ni/N)

ni= Número de individuos en la iésima especie

N= Número total de individuos

Para las condiciones presentes en la parcela de clima semiárido encontraremos lo siguiente:

$$N = 2$$

$$n_1 = 2$$

$$P_1 = 2/2 = 1$$

Sustituyendo en la fórmula los valores obtenidos

$$S = 1 - \sum_{i=1}^1 1^2$$

$$S = 1 - 1 = 0$$

Tomando en consideración la Tabla 14 que propone Vanegas (2016) y el valor del índice de Simpson se obtiene que.

Tabla 14. Ponderación del valor del índice de diversidad de Simpson para determinar la prioridad de reforestación a nivel predial.

Fuente: Vanegas (2016).

¿La especie dominante es representativa de la comunidad clímax del ecosistema o es una especie clave?	Valor estimado del índice de Simpson		
	0-0.49	0.50-0.85	0.86-1.00
Sí	2	1	1
No	2	3	3

En el muestreo de campo solo se encontró una especie de porte arbóreo el cual es *Buddleja cordata* representada por dos individuos, por lo tanto, el índice de Simpson es igual a 0 y como no es una especie representativa se le asigna el valor de 2 para la fórmula del índice de prioridad de restauración.

6.2.3 Evaluación de la compactación del suelo

Vanegas (2016) ha definido la compactación del suelo como un proceso mecánico que genera un aumento de la densidad por la modificación en el arreglo de las partículas del suelo, como respuesta a factores externos. Para tener una idea del nivel de degradación física del suelo y en específico del grado de compactación, se utiliza el índice estructural IE de Pieri, mismo que permite conocer el nivel de degradación física del suelo y el grado de compactación. El IE se determina como la relación entre el contenido de materia orgánica y la fracción mineral fina del suelo, con base en la siguiente ecuación:

$$IE = \%MOS/(\%limo + \%arcilla) * 100$$

Los resultados se clasifican en intervalos que se definen como el grado de degradación, en la Tabla 15 se busca el intervalo obtenido del IE para determinar el valor para el IPR.

Tabla 15. Puntuación asignada al índice de Pieri para su incorporación en el índice de prioridad de restauración.

Fuente: Pieri (1995).

Índice de Pieri	Descripción	Escala en el índice de prioridad de restauración
< 5	Suelos degradados	2
5-7	Alto riesgo a la degradación física por encostramiento	1
7-9	Moderado riesgo a la degradación	3
> 9	Estructuralmente estables	4

En los recorridos de campo se obtuvo la siguiente información: % MOS = 10, % limo = 30 y % arcilla = 50.

Sustituyendo en la fórmula, se obtiene lo siguiente:

$$IE = 10(30 + 40) * 100$$

$$IE = 0.125 * 100$$

$$IE = 12.5$$

A este valor del índice de Pieri le corresponde un puntaje de 4, que de acuerdo con la Tabla 15 indica que estructuralmente se encuentra estable. Se entiende por estructura del suelo el arreglo y la organización de las partículas constitutivas, dichas partículas en su estado de máxima división constituyen partículas discretas, las cuales son aproximadamente indivisibles por las fuerzas del agua de riego y las tensiones que se generan durante el secado.

6.2.4 Sanidad forestal

Un bosque sano beneficia al ecosistema para la captación de agua, suelo, entre factores que favorecen a las poblaciones rurales y urbanas. Es por ello por lo que el mantenimiento ayuda en gran medida al control y prevención de plagas y enfermedades que pueden terminar con el bosque entero. En el índice de prioridad de restauración esta condición se considera en función del tipo de agente causal, la superficie afectada y el manejo en el momento de la planificación de la reforestación.

Para determinar el factor para el índice de prioridad de restauración se ocupa la siguiente formula:

$$IS = VaPasi * \alpha_i$$

Dónde:

IS= Índice de sanidad

VaPasi= Valor asignado al porcentaje de afectación del predio

α_i = Ponderador (en caso de tratamiento)

Para determinar los valores es necesario apoyarse en la Tabla 16:

Tabla 16. Valores para la evaluación de la sanidad en el predio donde se efectuará la reforestación.

Fuente: Vanegas (2016).

Agente causal	Porcentaje de afectación del predio			Tratamiento (α)	
	1-33 %	34-66 %	67-100%	Sí	No
Descortezadores	3	1	1	1	0.3
Muérdago	3	2	1	1	0.5

Agente causal	Porcentaje de afectación del predio			Tratamiento (α)	
	1-33 %	34-66 %	67-100%	Sí	No
Defoliadores	3	2	1	1	0.5
Barrenadores	3	1	1	1	0.5
Plagas y enfermedades de la raíz	3	1	1	1	0.5
Plagas de conos	3	1	1	1	0.5
Tillandsia (plantas epífitas)	3	2	1	1	0.5
Sin afectación por plagas y enfermedades	4			1	

La parcela no presenta ataque por plagas y/o enfermedades, ni presencia de plagas parásitas, por lo que los valores obtenidos con base en la Tabla 15 son:

$$VaPas_1 = 4$$

$$A_1 = 1$$

$$IS = 4 * 1 = 4$$

La causa de pérdida de la cobertura no estuvo relacionada con plagas o enfermedades en la zona, de igual forma no se cuenta con un tratamiento, por lo que el valor asignado para la fórmula es 4.

6.2.5 Susceptibilidad de la superficie destinada a la reforestación por actividades antropogénicas

De acuerdo con Vanegas (2016), en su investigación busca clasificar los factores antropogénicos que pueden llegar a ocasionar un impacto negativo en las actividades de reforestación, esta clasificación puede observarse en la tabla 17, asignando un valor (depende del tipo de suelo) para el índice de prioridad de restauración.

Tabla 17. Ponderación propuesta para valorar la susceptibilidad de la reforestación a presiones antropogénicas.

Fuente: Vanegas (2016).

Uso de suelo	Ponderador (μ)
Superficie destinada a la reforestación	1
Superficie destinada a la provisión de servicios ambientales	1
Ecoturismo	1.1
Agricultura con labranza de conservación	1.1
Aprovechamiento forestal maderable (con permisos de aprovechamiento)	1.2
Aprovechamiento forestal no maderable (con permisos de aprovechamiento)	1.2

Uso de suelo	Ponderador (μ)
Tala clandestina o extracción de no maderables sin autorización legal	1.5
Agricultura	1.5
Ganadería	1.5
Minería	1.5
Sin uso por degradación	1.5

Posteriormente se aplica la siguiente fórmula donde el dueño del predio realice la asignación de la superficie destinada a cada caso. La superficie total será registrada y se multiplicará por el ponderador establecido en la Tabla 16; posteriormente se hará una sumatoria de los resultados obtenidos:

$$\text{Superficie de amortiguamiento} = \sum_{i=1}^n (\text{Sup } i * \mu i)$$

Dónde:

Sup i= Superficie dentro del predio destinada al uso i

μ = Ponderador del uso i

Anteriormente la superficie estaba destinada a la agricultura, sin embargo, para la implementación del actual proyecto en esta área se tomará como una superficie destinada a la reforestación, ya que no coexistirá ninguna actividad al mismo tiempo que la reforestación, es por ello por lo que las 3 hectáreas de superficie que abarca el polígono le corresponden un ponderador de 1.

$$\text{Superficie de amortiguamiento} = (3 * 1)$$

$$\text{Superficie de amortiguamiento} = 3$$

Obteniendo dichos datos se procede a utilizar la información para estimar el índice de susceptibilidad con la siguiente fórmula y se asigna un puntaje (Tabla 18).

$$ISAA = \text{Superficie del predio} - \text{Superficie de amortiguamiento}$$

$$ISAA = 3.0 - 3.0$$

$$ISAA = 0$$

Tabla 18. Valoración del índice de susceptibilidad de la superficie destinada a la reforestación ante actividades antropogénicas. Fuente: Vanegas (2016).

Valor obtenido en el ISAA	Puntaje	Descripción de la valoración
ISAA \geq 0	3	Mayor prioridad de reforestación
ISAA < 0	1	Menor prioridad de reforestación

El valor obtenido es 0, lo que indica que el predio tiene una mayor prioridad de reforestación, y se le asignará un puntaje de 3, con base a la Tabla 18.

7 Metodología de restauración del sitio

7.1 Obras para la rehabilitación, restauración y mejoramiento de suelos

Las obras de recuperación de suelo han sido definidas por la CONAF (2013), como métodos de intervención o tratamientos físico-mecánicos, que permiten mantener o recuperar los equilibrios ecológicos para optimizar el uso de suelo, sin provocar deterioro físico, químico o biológico.

Por lo anterior la CONAFOR clasifica las obras de conservación y restauración de suelos de la siguiente manera (Tabla 19):

Tabla 19. Obras de conservación y restauración de suelo.

Fuente: Conafor (2012).

Control de la erosión laminar y captación de agua	Control de la erosión en cárcavas
Terrazas de formación sucesiva	Presas de malla ciclónica
Zanja trinchera	Presa de morillos
Zanja bordo	Presa de ramas
Roturación	Presas de piedra acomodada
Acomodo de material vegetal muerto a curvas de nivel	Presas de geocostales
Barreras de piedra	Presa de llantas
Cordones de piedra a curva de nivel	Presa de mampostería
Bordos en curva de nivel	Presa de gaviones
Cortina rompevientos	Zanjas derivadoras de escorrentía
Enriquecimiento de acahuales con especies maderables	Estabilización de taludes
Sistemas agroforestales	Cabeceo de cárcavas
Terrazas de muro vivo con estacas	
Terrazas de muro vivo con semilla	
Cercas vivas	

A continuación, se presentan las obras para la rehabilitación, restauración y mejoramiento de suelos y de protección. En el anexo 2 se muestra la tabla de los costos de las actividades mencionas.

7.1.1 Roturación

La roturación del suelo debe realizarse antes del periodo de lluvias para poder facilitar las actividades de plantación, en terrenos con suelos delgados y con pendientes menores al 20%. La actividad demandó un día (15 de agosto del 2018) con un jornal para ejecutar, siendo éste el operador del tractor.

La roturación se realizó en franjas cada 4 metros a una profundidad de 0.40 m, trabajando un total de 2.41 hectáreas (Imagen 10). Es importante mencionar que dependiendo de la densidad se define la distancia entre líneas y plantas, en este caso se desea una densidad de 1,111 plantas/ha.



Imagen 10. Roturación de suelo en el módulo de la región templado-frío.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

Para verificar si la función de cada una de las actividades realizadas en el módulo templado frío se está cumpliendo, se realizó una supervisión en campo en octubre de 2018. Los resultados para el subsoleo favorecieron la filtración de agua, mientras que el movimiento de tierras favoreció el establecimiento y crecimiento de herbáceas, por lo que actualmente las líneas del subsoleo no se visualizan, no obstante que estas se realizaron a una

profundidad de 40 cm, sin embargo, es importante mencionar que esta actividad está recomendada para llevarse a cabo antes de la reforestación (Imagen 11 y 12).



Imagen 11. Estado actual de la parcela con subsoleo.

Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 12. Resultado de la actividad de subsoleo en el módulo templado frío.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

7.1.2 Zanja bordo

Esta obra consiste en realizar una excavación para formar una zanja de 40 cm de ancho por 40 cm de profundidad, con un tabique divisor de 40 cm que debe estar mínimo 10 cm debajo

del nivel del terreno. Estas zanjas son continuas sobre las curvas de nivel (Imagen 13), colocando el producto de la excavación aguas abajo para formar el bordo.



Imagen 13. Trazado de líneas a curvas de nivel para elaboración de zanjas bordo.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

De acuerdo con la CONAFOR (2013) durante el proceso de construcción debe considerarse lo siguiente:

- Las curvas a nivel deben trazarse con base en la cantidad de escurrimientos, considerando que es necesario captar al menos el 50% de los escurrimientos que se producen en un periodo de retorno de 5 años.
- El producto de la excavación se acomoda aguas debajo de la zanja al menos 20 cm distante para evitar que el material regrese, el bordo debe ser compactado para facilitar la propagación de la vegetación.
- La excavación puede hacerse de manera manual o con maquinaria, para el presente módulo se realizó de manera manual como se muestra en la Imagen 13.
- Es importante la elaboración del dique para dividir el agua almacenada.
- Es recomendable para terrenos con pendientes menores a 25%.
- Cuando el terreno presenta una erosión fuerte, debe ser combinada con otra obra (Imagen 14) que tenga funcionalidad para retener sedimentos con la finalidad de aumentar su vida útil.

La presente actividad fue la más demandante a comparación de las obras que se ejecutaron en los demás módulos, el número de jornales necesarios para ejecutarla fue de 18 y su periodo de realización fue de cinco días (17-22 de agosto del 2018).



Imagen 14. Realización de zanjas bordo en el módulo región templada-fría, de forma manual.

Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 15. Combinación de zanjas bordo con roturación de suelo.

Fuente: toma propia SMAG, 2018.

Durante la supervisión de campo de esta obra se observaron mayores resultados a comparación de las demás, dicha obra desde el momento de la realización comenzó a

cumplir su función de retención de azolves, interceptar los escurrimientos para reducir su velocidad y captación de agua para facilitar la infiltración en el suelo.

De acuerdo con el monitoreo de restauración forestal y reconversión productiva del ejercicio fiscal 2015 de CONAFOR, los resultados de la evaluación de las obras de conservación en ladera y en cárcavas indica que el sistema zanja bordo fue la obra con mayor retención de azolves (15.21 t/ha en promedio). A continuación, se presenta el grafico 2 donde se visualiza el promedio de azolve retenido por obra.

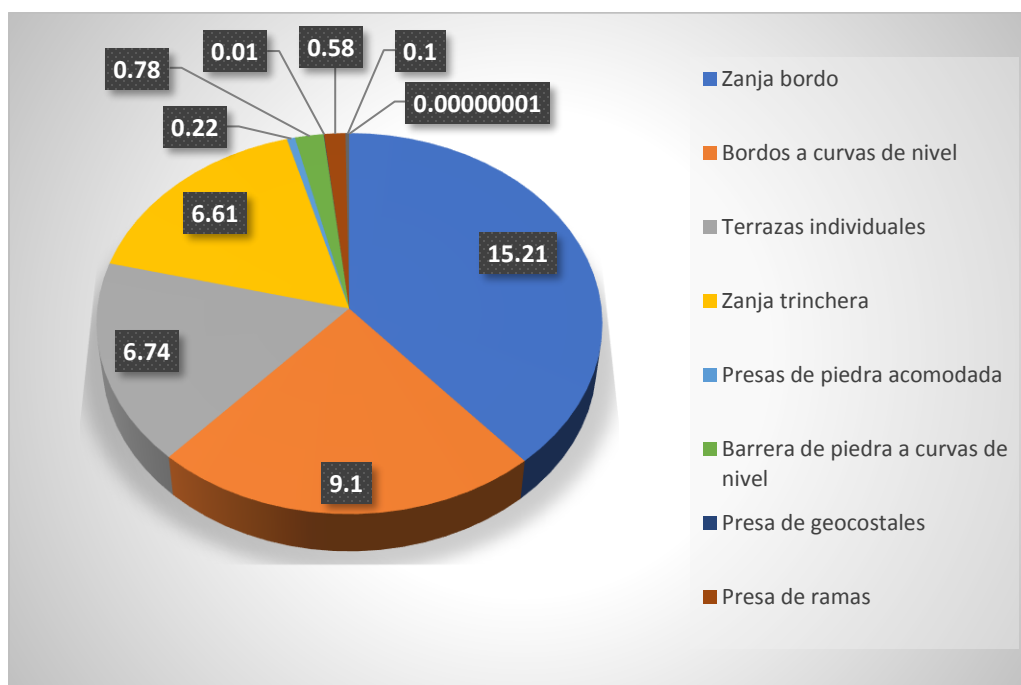


Gráfico 2. Promedio de azolves retenidos por obra en ladera y en cárcava.

Fuente: CONAFOR (2017).

En las siguientes imágenes es posible apreciar el resultado de las zanjas después de tres meses; la captación de agua de lluvia ha ocasionado el rompimiento de algunos tabiques divisores entre zanjas, además en el bordo de la zanja comienza la presencia de herbáceas.



Imagen 16. Intercepción de escurrimiento mediante el sistema de zanja bordo.

Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 17. Estado actual de la zanja bordo.

Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 18. Ruptura en el tabique divisor de las zanjas y presencia de herbáceas en el bordo.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

7.1.3 Cabeceo de cárcavas

Esta actividad tiene la finalidad de amortiguar los escurrimientos a través del recubrimiento con piedras (Imagen 18) o material vegetal muerto (residuos de aprovechamiento, troncos, o costales llenos de suelo), disminuyendo la pendiente de entrada a la cárcava.



Imagen 19. Colecta de piedra y recubrimiento de cárcava.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

La textura del suelo para este tipo de obra es de suma importancia ya que entre más gruesa sea la textura, menor deberá ser el ángulo de inclinación del talud. De acuerdo con la CONAFOR (2013) es conveniente prolongar el recubrimiento de piedra en el fondo de la cárcava.

Debido a las condiciones presentes en el módulo, se realizaron dos obras de cabeceo de cárcavas, como se muestran en las imágenes siguientes (Imagen 19-20). Para efectuar dicha actividad se requirió de 4 jornales, los cuales realizaron la obra en tres días (20-22 de agosto del 2018).



Imagen 20. Primera cárcava y su proceso de recubrimiento con piedras.

Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 21. Segunda cárcava y su proceso de recubrimiento con piedras.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

Como se ha mencionado anteriormente, la supervisión se realizó tres meses después de ejecutar las obras de conservación de suelo; para el cabeceo de cárcavas apenas comienzan los resultados, pues la disminución en la velocidad del agua, la retención de sedimentos y mayor infiltración del agua han resultado de manera positiva, ya que en las dos obras que se realizaron en el módulo templado frío actualmente comienza la presencia de especies herbáceas (Imagen 21-22).



Imagen 22. Comparativa del antes (izquierda) y después (derecha) de la ejecución del cabeceo de cárcavas.

Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 23. Antes (izquierda) y después (derecha) del cabeceo de cárcavas.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

El mapa de obras de conservación de suelo se muestra a continuación (Ilustración 16).

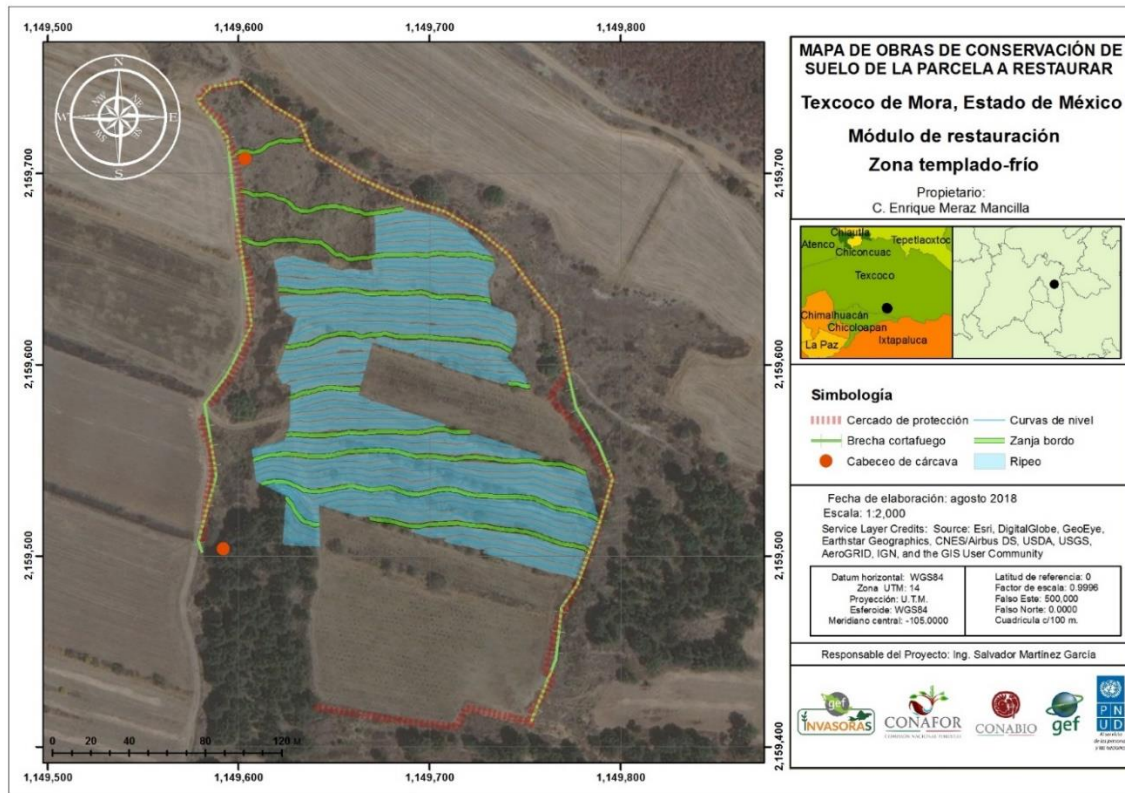


Ilustración 17. Distribución de obras de conservación de suelo en el módulo templado-frío.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

7.2 Obras de protección

7.2.1 Cercado

El cercado se realizó con postes de metal, situados a cada 4 metros con cuatro líneas de alambre de púas para prevenir la pérdida de la reforestación a causa del ganado existente en la zona, que además de dañar la planta, ocasiona la compactación del suelo.

Es importante mencionar que el polígono con el que se trabajó sufrió un siniestro por incendio en el año 2017, por lo que el cercado anterior resultó dañado principalmente en los postes, pues éstos eran de madera; razón por la cual en esta ocasión el cercado que se estableció contempló postes de metal.

Como primera actividad se realizaron los hoyos donde se colocaron los postes, con un espaciamiento de cuatro metros y una profundidad de 40 cm, lo que ayudará a que tengan un mejor anclaje al suelo; posteriormente se colocaron los postes y se nivelaron para que tuvieran una mejor resistencia en el momento de tensar los hilos de alambre. Esta actividad

requirió de cinco jornales, las cuales concluyeron la actividad cuatro días después (16-20 de agosto del 2018), es relevante señalar que debido al material primero deben colocarse los postes para que el cemento solidifique y después poder tensar los hilos de alambre de púas.

Para el caso de postes de madera, se contempla una base de concreto y piedras, lo que ayudará a fijar correctamente el poste al suelo. Una vez que se tuvo solidificado el cemento se procedió al tendido del alambrado de púas y el amarre con alambre galvanizado como se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 18. Proceso de colocación del cercado en el módulo templado-frío.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

La colocación de dos postes adicionales sirvió para dar mayor soporte y poder tensar el alambrado (Imagen 23).



Imagen 24. Colocación de postes para dar soporte y mayor tensión en el cercado.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

7.2.2 Brechas cortafuego

Dentro de este módulo se realizó una apertura de brecha cortafuego en 1.1 km de la superficie total, tomando en consideración lo siguiente:

- Trazado de línea y limpieza manual de la vegetación.
- Excavación de más de 5 cm (hasta llegar al suelo mineral).
- Realizar obras para controlar los escurrimientos y erosión del suelo (obras descritas en el punto anterior).

Para esta actividad se requirió emplear a 18 jornales debido al esfuerzo demandante de la misma y al periodo de tiempo establecido para terminar dicha labor, el cual fue de cuatro días (16-20 de agosto del 2018).



Imagen 25. Apertura de brecha cortafuego en el módulo región templado-frío.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

Esta obra se realizó a mitad del periodo de lluvias, lo que ocasionó un crecimiento más rápido de las herbáceas; esta actividad debe tener mantenimiento para que cumpla con la función de protección, sobre todo en temporada de estiaje. A continuación, se presentan algunas imágenes (Imágenes 25-26) del estado actual de la brecha cortafuego.



Imagen 26. Estado actual de la brecha cortafuego en el módulo templado frío.

Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 27. Condiciones actuales (octubre de 2018) de las obras de protección en el módulo templado frío.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

8 Listado de especies a utilizar en las actividades de reforestación de acuerdo con el ecosistema

A través de diversas investigaciones se ha determinado que la elección de las especies de acuerdo con las condiciones climáticas y de suelo del área, favorece el éxito de la reforestación. Cruz & Wightman (2003) menciona que las reforestaciones dan mejores

resultados cuando se utilizan especies nativas que son producidas en viveros cercanos que presentan condiciones climáticas similares al lugar de la reforestación.

Morera (2003) menciona que la regeneración arbórea aumenta en gran medida en las áreas donde se introducen especies nativas, ya que logran formar un microclima favorable para mejorar las condiciones del suelo, humus, contenido de nutrimentos, temperatura, entre otros elementos.

La combinación de estrategias de reforestación con especies nativas, en conjunto con el manejo de la regeneración natural en las áreas plantadas, permite contribuir al conocimiento del manejo de especies que, a futuro se manejarán bajo diversas prácticas silviculturales por las características que presentan.

Las especies propuestas para la restauración del módulo templado-frío fueron determinadas considerando las condiciones climáticas, de suelo y tomando en consideración el “Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias” de Vanegas (2016); por lo cual se determinó que las especies a emplear son: *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* las cuales presentan las siguientes características:

Tabla 20. Requerimiento por especie.

Fuente: elaboración propia, basado en información recolectada por Vanegas (2016)

Características de la especie	<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>Pinus teocote</i>
Origen	México, Guatemala y Honduras	México
Nombre común	Mocochtaj, pacingo, pino blanco, pino ortiguillo, pino chamaite.	Pino colorado, pino rosillo, tso-arza, pino real.
Ecosistema	Templado	Templado
Entidades donde se distribuye	Sinaloa, Nuevo León, Coahuila, Durango, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Cd. de México, Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas.	Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Estado de México, Puebla, Chihuahua, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.
Temperatura mínima (° C)	-9	-14
Temperatura máxima (° C)	40	38
Precipitación mínima (mm)	500	600
Precipitación máxima (mm)	2500	1500
Altitud mínima	1600	1500
Altitud máxima	3250	3100
Tipo de suelo (Clasificación WRB)	Andosol	Sin dato
Profundidad del suelo	Profundos	Profundos

Características de la especie	<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>Pinus teocote</i>
Textura	Migajón-arenoso, areno-arcilloso.	Franco y franco-arcillosos
pH	4.5 - 7.0	4.5 - 7.0
Contenido de materia orgánica	Medio a muy alto.	Presencia de materia orgánica
Asociación vegetal	Bosque de coníferas, bosque de coníferas y latifoliadas.	Bosque de coníferas
Usos	Artesanal, construcción, industrial, maderero, ornamental.	Construcción, industrial y maderero.

8.1 *Pinus pseudostrobus* (pino blanco, pinos ortiguillo, pino real)

Especie originaria de México; el pino blanco es un árbol con altura de 30 a 40 m, ocasionalmente alcanzan los 45 m, presentan medidas en diámetro normal de 40 a 80 cm; fuste recto, libre de ramas de 30 a 50% de su altura total. En México se encuentra distribuido en Chiapas, Ciudad de México, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Tlaxcala. Distribuyéndose escasamente al norte de México (CONABIO, 2009).

Esta especie se ha encontrado en laderas con elevaciones desde los 1,600 a 3,200 de altitud sobre el nivel del mar, la temperatura máxima promedio que tolera va de los 20 a 26 °C, en cuanto a las temperaturas más bajas va de los 6 a 12 °C, siendo preferible una temperatura media de 14.7°C, con precipitación preferente de 1,000 a 1,300 mm.

CONABIO (2009) señala que la propagación es por semillas, las cuales deben provenir de individuos sanos (libres de plagas y enfermedades), vigorosos, con buena producción de frutos, y preferentemente de fuste recto sin ramificaciones a baja altura. Con esto se pretende asegurar que las plantas obtenidas de esas semillas hereden las características de los parentales. Dependiendo del propósito de la plantación, madera o productos celulósicos, se realiza la selección de árboles padres. Es una especie que se ha utilizado en gran medida en la restauración de suelos degradados.



Imagen 28. *Pinus pseudostrobus* (DIAAPROY-JFN97)-Árbol completo.

Fuente: Árboles del Inventario Nacional Forestal 2013.

8.2 *Pinus teocote* (pino rosillo, pino real).

Considerando la información del Catálogo taxonómico de especies de México (CONABIO, 2009), se describen las siguientes características de la especie.

Es una especie nativa y presenta una mayor distribución natural en México a comparación de otras especies de pino, puede desarrollarse desde una altitud de 1,000 a 3,000 metros sobre el nivel del mar, se adapta a climas subhúmedos a húmedos con precipitaciones anuales de 1,000 a 1,500 mm, sin embargo, requiere una precipitación mínima de 600 mm. Se desarrolla en lugares con una temperatura media de 14 °C.

Es un árbol mediano, de 8.25 m de altura. En árboles maduros la copa es redondeada, en los jóvenes la copa es densa con una forma piramidal.

Su propagación se realiza por semillas, las cuales deben provenir de individuos sanos (libres de plagas y enfermedades), vigorosos, con buena producción de frutos, y preferentemente de fuste recto sin ramificaciones a baja altura. De acuerdo con Ramírez (2000) su madera

ha sido utilizada para construcción, leña y obtención de resina, también es utilizada para actividades de restauración.



Imagen 29. *Pinus teocote* (DIAAPROY-IMM44)- Árbol completo.

Fuente: Inventario Arboles del Inventario Nacional Forestal 2013.

9 Metodología de reproducción de las especies nativas que se emplearan

9.1 Producción de especies nativas en vivero

Según Cervantes *et al.* (1997) el vivero es un conjunto de instalaciones que tienen el objetivo de producir plantas ya sea a partir de semilla, de un segmento o por cultivo de tejidos. Esta producción permite prevenir y controlar los efectos de los depredadores y enfermedades, que pueden dañar durante los primeros meses de vida a la plántula, por lo que se encuentran más vulnerables. Durante la etapa de producción en vivero se consideran diversas etapas, que tienen la finalidad de aumentar las posibilidades de sobrevivencia, mejorar el desarrollo y adaptación de la planta en campo.

Cumpliendo con la metodología del “Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias”, la cual indica que el vivero donde se planea producir la planta debe estar ubicado en la cercanía del área degradada, para que las condiciones climáticas donde se producen sean similares, evitar los daños mecánicos que pueda tener en traslados largos; por ello Vanegas (2016) recomienda que los viveros deben de estar a menos de 3 horas (Ilustración 18) del lugar a restaurar. Con base en lo anterior se determinó que el vivero que hace la producción es nombrado “Silvícola Cutzamala” ubicado en San Gabriel Ixtla km 26.5 carretera de Villa Victoria a Valle de Bravo.

En el punto “A” se encuentra el sitio propuesto a restaurar, el punto “B” es la ubicación del vivero que se encuentra a 185 km de distancia, es decir, aproximadamente a dos horas y media entre sí.

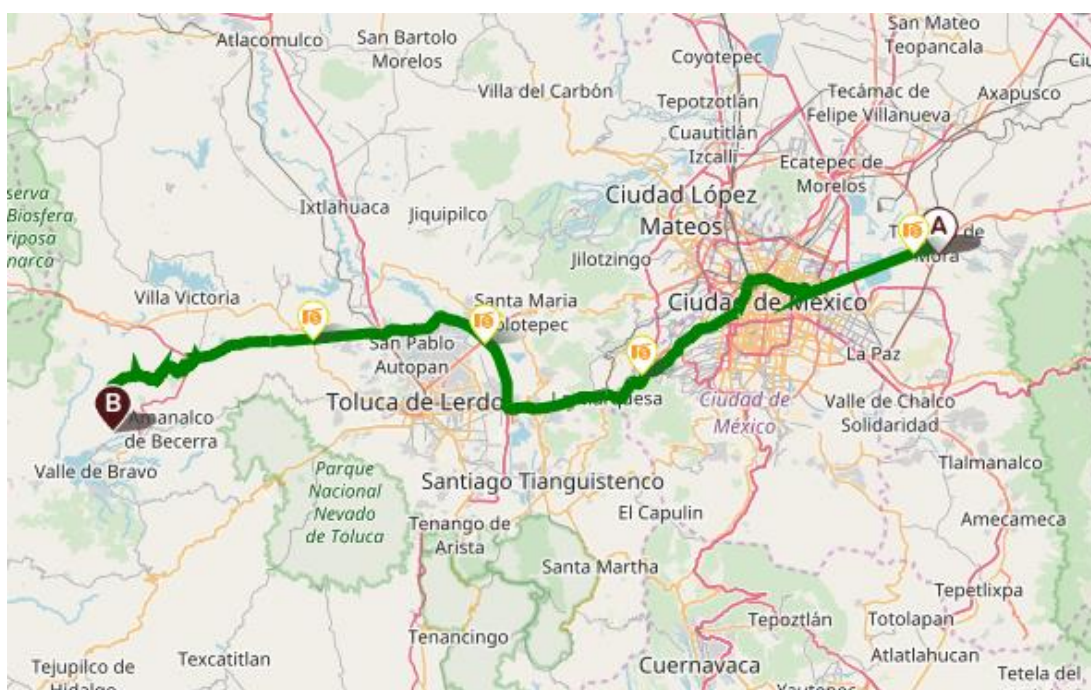


Ilustración 19. Croquis de la ubicación del vivero al lugar donde se encuentra el módulo región templado-frío. Fuente: tomado del buscador Google maps.

De manera general el periodo de siembra se debe realizar cuando inicie o antes de finalizar la época de calor, dependiendo de la zona, esto puede ser a mediados de primavera a inicios de otoño. Si la zona es cálida, la siembra se puede realizar en la primavera, para desarrollar la planta para la temporada de lluvias del mismo año; en cambio, si la zona es más fresca, se sugiere realizar la siembra a finales de verano a inicios del otoño para tener la planta lista al siguiente año (Meza et al., 2009).

La germinación de la semilla para *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrobus* requiere condiciones adecuadas de humedad, temperatura (20 a 30 °C) y en algunos casos luz. Para acelerar la germinación se aplican diversos tratamientos pregerminativos, uno de los más utilizados por su practicidad, es remojar la semilla en agua, a fin de romper la dormancia y obtener una germinación uniforme. El tiempo de remojo depende de la dureza de la testa. Al remojar las semillas en agua se detectan y eliminan semillas vanas, las cuales llegan a tardar hasta tres horas en flotar después de estar inmersa en agua. Una vez remojadas las semillas, es necesario desinfectarlas durante 10 minutos en una solución al 10% de cloro comercial y 90% de agua; posteriormente se enjuagan de tres a cuatro veces en agua, después se elimina el exceso de agua colocando las semillas en papel secante e impregnar la testa con fungicida, ya sea Captán, Promyl o Tecto (Meza et al., 2009).

INIFAP (2011) maneja otro método de desinfección de semilla, el cual consiste en emplear agua oxigenada al 3% sumergiendo la semilla durante 5 horas y después proceder a enjuagar también con agua.

De acuerdo con CONAFOR (2010) para las dos especies seleccionadas se recomienda sumergir las semillas en agua durante 12 horas, para obtener un porcentaje de germinación entre 80 y 95% en un periodo de 12 a 16 días. Para favorecer la oxigenación es necesario cambiar el agua cada 6 a 8 horas.

La siembra puede realizarse directamente en envases individuales, charolas de poliestireno expandido, camas de crecimiento, o bien en almácigos (CONAFOR, 2010). El repique de plántulas se presenta entre los 30 a 45 días después de la germinación, cuando las plántulas alcanzan 3 a 4 cm de altura y tengan lo que se conoce como “cabeza de cerillo” (antes de que aparezcan las hojas o acículas primarias). Ya que, si no se tiene cuidado, durante el repique del semillero al envase se pueden producir daños severos a la planta, especialmente deformaciones a la raíz.

El sustrato de los envases debe presentar una consistencia adecuada para mantener la semilla en su sitio, el volumen no debe variar drásticamente con los cambios de humedad, textura media para asegurar un drenaje adecuado y buena capacidad de retención de humedad. Fertilidad adecuada, libre de sales y materia orgánica no mineralizada. El sustrato empleado para la producción de la especie se describe en el apartado siguiente.

De acuerdo con CONAFOR (2010) para *Pinus teocote*, se puede uniformizar la germinación aplicando un ciclo de remojo y secado, con lo que el porcentaje de germinación a obtener varía de 71 a 76%. La siembra también se realiza directamente en bolsas de polietileno negro, colocando 2 o 3 semillas por bolsa.

9.2 Características generales de la planta

Al concluir con el ciclo de producción, la planta debe presentar una altura entre 25 y 30 cm, con un diámetro de 4 mm y más de la mitad del tallo lignificado, ya que estas características influyen en la sobrevivencia y crecimiento en campo de ésta. Las especies seleccionadas para restauración del módulo templado-frío presentan ciclos de producción largos, razón por la cual la producción comenzó a partir de julio 2018 para estar lista en junio del siguiente año.



Imagen 30. Producción de *Pinus pseudostrobus* en etapa de cerillo.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

El vivero donde se comenzó la producción se realiza al 100% en bolsas, en este vivero solo se utiliza la malla sobra durante el primer mes. El 50% del sustrato empleado corresponde a tierra de monte, el 25% de tezontle fino y el porcentaje restante de aserrín composteado, durante su desarrollo se implementan algunos fertilizantes como Hakaphos base, foliadores y algunos fungicidas para prevenir de plagas y enfermedades.

De manera general la planta después de doce meses debe presentar una altura de 25 cm con un diámetro de cuello de raíz de 4 mm.



Imagen 31. Producción de planta en el vivero Silvícola Cutzamala.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

10 Aspectos importantes

10.1 Fauna silvestre

Hace algunos años el municipio de Texcoco contaba con un número considerable de especies animales, sin embargo, los factores como la urbanización, la contaminación de los recursos como agua, aire y suelo, entre otros han ahuyentado algunas comunidades de especies.

De acuerdo con la información de la Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México (INAFED, s.f.), Texcoco contaba con especies como: venado, coyote y ocelote. Pero actualmente se conservan animales silvestres como el conejo, la liebre, cacomiztle, tejón, ardilla, rata de campo, etc. En cuanto a los reptiles casi la mayoría de estos han desaparecido, pero aún cuenta con la víbora de cascabel en algunos bosques, además de aves comunes como es la golondrina, gorriones, urracas, colibríes, etc.

Con base en la información anterior y los recorridos en campo para la ejecución y supervisión de obras, se observaron diferentes especies de fauna dentro de la parcela, algunas de ellas se observan en las siguientes imágenes.



Imagen 32. Fauna presente en la parcela del módulo templado frío. A: *Barisia ciliaris* (falso escorpión); B y C: *Crotalus ravus* (cascabel pigmea mexicana); D: *Sceloporus torquatus* (lagartija espinosa de collar).

Fuente: toma propia SMG, 2018.

11 Recomendaciones

Para la realización de las diferentes obras es importante considerar las siguientes características del sitio: duración de las estaciones, tipo de suelo y condiciones fisiográficas, ahora bien, en la ejecución de las obras que se propusieron se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Cercado: esta obra deberá implementarse desde el inicio del proyecto, ya que se considera como protección contra animales de porte mayor, lo ideal es el establecimiento previo a la temporada de lluvias, con la finalidad de poder transportar el material sin contratiempos, al igual de que las condiciones climatológicas no resulten ser un inconveniente, de tal manera que cuando el estrato herbáceo este creciendo los diferentes animales no tengan acceso al área, lo que evitará la compactación.
- Brechas cortafuego: para la ejecución de ésta, se recomienda tener conocimiento pleno de la temporada de secas y la temporada de lluvias, pues las brechas

cortafuego, se deberán establecer una vez que han pasado las lluvias y antes de que inicie la temporada de secas.

- Roturación: es una actividad altamente recomendable para suelos que han estado expuestos a la compactación, se recomienda que esta obra se realice durante las primeras lluvias, de tal manera que el terreno por donde pase el tractor no sea demasiado fangoso y la roturación se realice en forma adecuada.
- Cabeceo de cárcavas: el cabeceo de cárcavas se deberá llevar a cabo antes del inicio de la temporada de lluvias, debido a que la finalidad de esta actividad es poder evitar en mayor medida la erosión del suelo.
- Zanja bordo: este tipo de obra al igual que el cabeceo de cárcavas deberá llevarse a cabo antes de la temporada de lluvias, pues tiene por finalidad la captación e infiltración de agua y la retención de sedimentos

12 Conclusiones

En las obras realizadas en la parcela de clima templado-frío se han observado resultados inmediatos; para el caso de zanjas bordo, captación de agua y retención de sedimentos mientras que, en el cabeceo de cárcavas, la aparición de vegetación herbácea; asimismo con el subsoleo realizado durante la temporada de lluvias, además de la descompactación del suelo ayudó a la filtración de agua y propició el crecimiento de vegetación primaria.

Por otra parte, para el caso en las brechas cortafuego, estas se realizaron dentro de la temporada de lluvias, lo que propició que se repoblaran con pastos y herbáceas de manera casi inmediata, ante lo cual, y para que éstas estén en condiciones de cumplir su función, será necesario su rehabilitación poco antes de la temporada alta de estiaje.

En el desarrollo de este proyecto se utilizó como soporte técnico principalmente el “Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias”, el cual indica cómo identificar si un área es o no prioritaria para restaurar dependiendo de las características que presente, de tal manera que se le asigna un valor numérico con base a la importancia de este.

De igual manera, el manual ayuda a definir si un sitio es o no de interés para ser restaurado, indicando las diferentes opciones que se pueden llegar a tener para la reforestación, donde se proponen especies acordes a las características de cada sitio y de distribución nativa.

Sin embargo, a pesar de lo detallado de la metodología para determinar un área prioritaria, también se deben elegir diferentes obras de rehabilitación, restauración y mejoramiento de suelos o bien las obras de protección, mismas que son sumamente necesarias para asegurar la sobrevivencia de la plantación, por lo anterior fue necesario recurrir al manual

de Protección, restauración y conservación de suelos forestales de CONAFOR, para la determinación e implementación de las diferentes obras de conservación de suelo.

Por lo anterior la metodología descrita en el “Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias” es una excelente herramienta y puede ser de mucha utilidad en la fase de planeación de proyectos de restauración forestal, pues además identifica el nivel de prioridad de restauración, provee material de apoyo (base de datos en Microsoft Excel) mediante el cual se realiza un sencillo procesamiento de datos básicos (tipo de ecosistema, temperatura, precipitación, altitud, etc.), y hace recomendaciones muy precisas respecto a que especies son las más adecuadas para el predio seleccionado.

13 Literatura

- Adame, M. S. & Martínez, M. M. R. 1999. Efecto del manejo integral de la cuenca del río Texcoco, sobre la producción de agua y sedimentos. Investigaciones Geográficas. Boletín 39.
- Aguilar, V. J. L., García, R. J. L., Huchín, A. S., Mejía, B. J. M. & Prieto, R. J. A. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Primera edición. México, Distrito Federal.
- Ángeles, C. E., Ávila, C. G. R., Gutiérrez, C. M. C., Ortiz, S. C. A. & Sánchez, G. P. 2011. Evaluación de las reforestaciones en la formación de suelo a partir de tepetates. Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Vol. 17 no. 3. ISSN: 2007-3828.
- Bautista, Z., Delfín, G. H. y Palacio-Prieto, J. L. 2004. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Instituto de Ecología-Instituto de Geografía UNAM-UAY. 507 p.
- Cervantes, V., Orozco, A., Rojas, M., Sánchez, M. E. & Vázquez, Y. C. 1997. La reproducción de las plantas: Semillas y meristemas. Primera edición. México, D.F. ISBN: 968-16-5376-9.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2009. Restauración de ecosistemas forestales, Guía básica para comunicadores. Primera edición. Zapopan, Jalisco.

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2010. Fichas técnicas. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/reforestacion/fichas-tecnicas>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. Criterios técnicos para la ejecución de los proyectos de conservación y restauración de suelos 2012. Zapopan, Jalisco, México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2013. Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales Manual de Obras y Prácticas. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) Periférico Pte. No. 5360, Col. San Juan de Ocotán C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México. 4ta Edición. 286 pp.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2017. Monitoreo de Restauración Forestal y Reconversión Productiva. Ejercicio Fiscal 2015. Universidad Autónoma Chapingo.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Catálogo taxonómico de especies de México. 1. In Capital Nat. México. CONABIO, México City.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2013. Guía básica de buenas prácticas para plantaciones forestales de pequeños y medianos propietarios. Chile, 2013. ISBN: 978-956-7669-38-7.
- Cruz, B. S. & Wightman, K. E. 2003. La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas Foresta Veracruzana, vol. 5 núm. 1 Recursos Genéticos Forestales. Xalapa, México. ISSN: 1405-7247.
- Cruz, L. A., Monterroso, R. A. I., Ramírez, G. A. G. & Sánchez, G. P. 2015. La caracterización morfométrica de la subcuenca del Río Moctezuma, Sonora: ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica. Revista de Geografía Agrícola, núm. 55, julio-diciembre, 2015, pp 27-43. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco. México. ISSN: 0186-4394.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). UNAM, México, D.F. 71 p.
- González, H. A., Moreno, S. F., Pérez, M. R., Valdez, H. J. I. & Valdez L. J. R. 2011. Predicción espacial de cambios del uso de suelo en Texcoco, Estado de México. Revista Mexicana de ciencias forestales. Vol. 2 núm. 5. México. ISSN: 2007-1132.

H. Ayuntamiento de Texcoco 2016-2018. 2016. Plan de Desarrollo Municipal 2016-2018 de Texcoco. Disponible en: <http://www.texcoco.ayuntamientodigital.gob.mx/contenidos/texcoco/editor/files/PDM%202016%20OK.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1981. Síntesis geográfica del Estado de México. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220594/702825220594_2.pdf Fecha de consulta: 06/11/2018.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Cuaderno estadístico municipal, Texcoco México, edición 2000. Gobierno del Estado de México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Ayuntamiento Constitucional de Texcoco. ISBN: 970-13-3271-7.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2001. Síntesis geográfica del Estado de México. Primera edición. 148 p.p. Aguascalientes, México. ISBN: 970-13-3444-2.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2002. Conjunto de datos vectoriales geológicos. Continuo Nacional. Escala 1:1, 000,000. Serie I. México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2004. Guía para la interpretación de cartografía: edafología. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf> Fecha de consulta: 06/11/2018.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Simulador de flujos de agua en cuencas hidrográficas (SIATL). Versión 3.2. Disponible en: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/# Fecha de consulta: 06/11/2018.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2014. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Carta E14-2, México. Escala 1:250, 000. Serie VI. México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2015. Encuesta Intercensal 2015. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). S.f. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Texcoco. Disponible en:

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15099a.html>

- Laestadius, L., Maginnis, S., Minnemeyer, S. Potapov, P., Saint-Laurent, C. & Sizer, S. 2011. Mapa de oportunidades de restauración del paisaje forestal. Revista Unasylva 238, vol. 62. Pp. 47-48.
- Meza, S. R., Navejas, J. & Ruiz, E. F. H. 2009. Guía para la producción de planta y plantación con especies nativas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y pecuarias. Primera edición. México, Distrito Federal.
- McCabe, G. J. y Wolock, D. M. 1991. Detectability of the effects of a hypothetical temperatura increase on the Thornthwaite moisture index. Journal of Hydrology 125: 25 – 35 p.
- Moreno S. E. 2007. Características territoriales, ambientales y sociopolíticas del Municipio de Texcoco, Estado de México. Quivera. Revista de Estudios Territoriales 2007. Volumen 9, núm. 1. Universidad Autónoma del Estado de México. ISSN: 1405-8626.
- Morera, B. A. A. 2003. Efecto de la reforestación con especies nativas sobre la recuperación de bosques secos en Costa Rica. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0279-B3.HTM>
- Pérez, C. C. & Shinomi, Y. S. f. Manejo integral de cuencas hidrográficas. Conceptos básicos. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR32793.pdf>
- Rendón, P. M. A. 2013. Vegetación de la zona alta de la subcuenca del río Texcoco, Estado de México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO). 2010. Inventario Forestal 2010. Metepec, Estado de México. Protectora de Bosques del Estado de México. 222 p.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO). 2014. Vocación productiva de Texcoco. Unidad de información, planeación, programación y evaluación, con base en información de SIAP (2014). Disponible en: http://sedagro.edomex.gob.mx/sites/sedagro.edomex.gob.mx/files/files/Productores%20y%20Comercializadores/municipio%202014/101_%20Texcoco.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Primera edición. México, D.F.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2015. Inventario Estatal Forestal y de Suelos – Estado de México 2014. México, D. F. Comisión Nacional Forestal. 182 p. I SBN. 978-607-8383-27-6.
- Thornthwaite, C.W. y Matter, J.R. 1957. Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. *Climatology* 10(3):185-311.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *American Geographical Society* 38(1): 55-94.
- Vanegas, L. M., 2016. Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD. México. 158 p.

14 ANEXOS

14.1 Anexo 1. Factor de corrección "L" por latitud (latitud norte).

Tabla 21. Factor de corrección "L" por latitud (Latitud norte).

GRADOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
1	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
2	1.04	0.94	1.04	1.01	1.05	1.02	1.04	1.04	1.01	1.04	1	1.03
3	1.04	0.94	1.03	1.01	1.05	1.02	1.05	1.04	1.01	1.04	1	1.03
4	1.03	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.05	1.05	1.01	1.03	1	1.02
5	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
6	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.04	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.01
7	1.01	0.92	1.03	1.02	1.07	1.04	1.07	1.06	1.01	1.03	0.99	1.01
8	1.01	0.92	1.03	1.03	1.07	1.05	1.07	1.06	1.02	1.02	0.98	1
9	1	0.92	1.03	1.03	1.08	1.05	1.08	1.06	1.02	1.02	0.98	1
10	0.99	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
11	0.99	0.91	1.03	1.03	1.09	1.06	1.09	1.07	1.02	1.02	0.97	0.99
12	0.98	0.91	1.03	1.04	1.09	1.07	1.1	1.07	1.02	1.01	0.97	0.98
13	0.98	0.91	1.03	1.04	1.1	1.07	1.1	1.08	1.02	1.01	0.96	0.98

GRADOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
14	0.97	0.91	1.03	1.04	1.1	1.08	1.11	1.08	1.02	1.01	0.96	0.97
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.96	0.97
16	0.96	0.91	1.03	1.04	1.11	1.09	1.12	1.09	1.02	1.01	0.95	0.96
17	0.96	0.91	1.03	1.05	1.12	1.09	1.13	1.09	1.02	1	0.94	0.96
18	0.96	0.9	1.03	1.05	1.12	1.1	1.13	1.1	1.02	1	0.94	0.95
19	0.95	0.9	1.03	1.05	1.13	1.1	1.14	1.1	1.02	1	0.93	0.95
20	0.95	0.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1	0.93	0.94
21	0.94	0.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.15	1.11	1.02	1	0.92	0.94
22	0.94	0.89	1.03	1.06	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	0.99	0.92	0.93
23	0.93	0.89	1.03	1.06	1.14	1.13	1.16	1.12	1.02	0.99	0.92	0.92
24	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.16	1.12	1.02	0.99	0.91	0.92
25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
26	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
27	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.91	0.9
28	0.91	0.88	1.03	1.07	1.17	1.15	1.18	1.13	1.03	0.98	0.9	0.9
29	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.15	1.19	1.13	1.03	0.98	0.89	0.89

GRADOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
30	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.2	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
31	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.2	1.14	1.03	0.98	0.88	0.88
32	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.18	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
33	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.97	0.87	0.86
34	0.88	0.86	1.03	1.09	1.2	1.2	1.22	1.16	1.03	0.97	0.87	0.86
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
36	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84
37	0.86	0.85	1.03	1.1	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85	0.83
38	0.85	0.84	1.03	1.1	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83
39	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
41	0.83	0.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	0.95	0.82	0.8
42	0.82	0.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	0.95	0.82	0.79
43	0.81	0.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.2	1.04	0.95	0.81	0.77
44	0.81	0.81	1.02	1.12	1.27	1.29	1.3	1.2	1.04	0.95	0.8	0.76
45	0.8	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75

GRADOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
46	0.79	0.08	1.02	1.13	1.29	1.3	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79	0.74
47	0.77	0.8	1.02	1.14	1.3	1.32	1.33	1.22	1.05	0.93	0.78	0.73
48	0.76	0.79	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	0.93	0.77	0.72
49	0.75	0.79	1.02	1.15	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	0.92	0.76	0.71
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.36	1.15	1.06	0.92	0.76	0.7

14.2 Anexo 2. Costos de preparación del terreno y reforestación (Módulo templado frío).

Tabla 22. Costos de preparación del terreno y transporte de la planta.

OBRA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO UNITARIO	CANTIDAD/HA	SUPERFICIE	CANTIDAD TOTAL	MONTO (MN)	OBSERVACIÓN
Roturación	Cepa común con medida de 30 x 30 cm.	m	\$0.30	3,333	2.41	8,032.5	\$2,409.80	La roturación se realizará con tractor agrícola y en líneas a cada 3 m.
Zanja bordo		Pieza	\$17.90	500	2.41	1,205.0	\$21,569.50	
Cabeceo de cárcava		m ²	\$127.00	N/A	3.00	191.0	\$24,257.00	
Subtotal							\$48,236.30	
Brecha corta fuego		km	\$ 6,694.00	N/A	3.00	1.1	\$7,162.60	Se realizó en la periferia del módulo.
Cercado poste de metal		km	\$ 32,227.00	N/A	3.00	1.1	\$34,482.9	Cercado con alambre de púas calibre 12, a 4 hilos.
Subtotal							\$41,645.50	
Transporte de planta <i>Pinus pseudostrobus</i>		Planta	\$0.43	795	2.41	1,916	\$8,823.88	
Transporte de planta <i>Pinus teocote</i>		Planta	\$0.43	795	2.41	1,916	\$8,823.88	
Subtotal							\$1,647.76	
Total							\$91,529.56	

Tabla 23. Costos de transporte de planta.

CONCEPTO	ESTADO	ESPECIE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (MN)	COSTO TOTAL (MN)
Compra de planta para el establecimiento	Valle de Bravo, Estado de México	<i>Pinus pseudostrobus</i>	1,916	\$4.00	\$7,664.00
		<i>Pinus teocote</i>	1,916	\$4.00	\$7,664.00
Total					\$15,328.00

