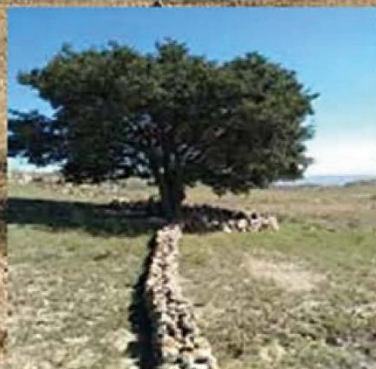


Establecimiento de tres módulos
de restauración de ecosistemas forestales,
utilizando para reforestación
únicamente especies nativas

MÓDULO SEMIÁRIDO

Noviembre 2018

Ing. Salvador Martínez García



Informe final de las actividades de restauración que se propone realizar en cada una de las áreas.

“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 político 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 Semiárido (Zacatecas). Proyecto 00089333 “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. 105 pp. + 2 Anexo.

Vínculo con la Estrategia Nacional sobre 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. Por lo tanto, se consideran tres ecosistemas (templado frío, semiárido y tropical) representativos de México; sin embargo para el actual informe se pretende analizar la eficiencia de las actividades para la rehabilitación, restauración y mejoramiento del suelo de la parcela establecida en el clima semiárido, este documento presentará 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.

De igual forma se plasmará la metodología que se utilizó para la elaboración de la propuesta de restauración ecológica; el análisis de datos indicará si esta cumple de manera satisfactoria su objetivo. Se podrá apreciar un cuadro con los costos de operación, el 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	1
2	Descripción de la microcuenca como punto integral en la restauración del ecosistema 2	
2.1	Cuenca hidrográfica	2
2.2	Manejo integral de la cuenca.....	2
2.3	Restauración a nivel de cuencas y análisis del paisaje	3
3	Localización.....	5
4	Descripción de la microcuenca y el área (geográfica, social y ecológicamente).	6
4.1	Características fisiográficas.....	6
4.1.1	Relieve.	6
4.1.2	Exposición y pendiente.....	8
4.1.3	Hidrología	11
4.1.4	Descripción geomorfológica	11
4.2	Descripción de las características, propiedades y condiciones del suelo	12
4.2.1	Tipo de suelo	12
4.2.2	Horizontes encontrados	14
4.2.3	Textura.....	15
4.2.4	Drenaje interno	17
4.3	Clima	17
4.3.1	Tipo de clima.....	17
4.3.2	Cálculo del clima	19
4.4	Vegetación	28
4.5	Aspectos sociales	31

5	Origen y causas de la degradación del ecosistema de la localidad.....	33
6	Índices que definen el área a restaurar.....	36
6.1	Degradación del suelo	36
6.2	Índice de prioridad de restauración	38
6.2.1	Evaluación de la ubicación del predio en la cuenca	39
6.2.2	Evaluación de la estructura, composición y diversidad del área del proyecto. 41	
6.2.2.1	Evaluación de la estructura vertical del predio.....	41
6.2.2.2	Evaluación de la estructura horizontal del predio	43
6.2.2.3	Índice de diversidad de Simpson.....	44
6.2.3	Evaluación de la compactación del suelo	45
6.2.4	Sanidad forestal	46
6.2.5	Susceptibilidad de la superficie destinada a la reforestación por actividades antropogénicas	48
7	Metodología de restauración del sitio	50
7.1	Obras para la rehabilitación, restauración y mejoramiento de suelos	51
7.1.1	Roturación	52
7.1.2	Cabeceo de cárcavas	56
7.1.3	Barreras vivas	60
7.1.4	Barreras de piedra	62
7.2	Obras de protección.....	65
7.2.1	Cercado.....	66
7.2.2	Brechas cortafuego.....	70
8	Listado de las especies a utilizar en las actividades de reforestación de acuerdo con el ecosistema	73

8.1	<i>Pinus cembroides</i> (Pino piñonero)	76
8.2	<i>Acacia farnesiana</i> (Huizache).....	77
9	Metodología de reproducción de las especies nativas que se emplearán	78
9.1	Producción de especies nativas en vivero	78
9.2	Características generales de la planta	79
10	Aspectos importantes.....	81
10.1	Vegetación nativa.....	81
10.2	Producción de las especies propuestas	84
10.3	Obras	85
10.3.1	Rippee.....	85
10.3.2	Barrera viva.....	85
11	Recomendaciones.....	87
12	Conclusiones.....	87
13	Literatura consultada.....	88
14	Anexos	94
14.1	Anexo I. Factor de corrección “L” por latitud (latitud norte).....	94
14.2	Anexo 2. Costos de preparación del terreno y reforestación (Módulo semiárido). 96	

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Fases del manejo integral de cuencas.	3
Ilustración 2. Mapa de ubicación del módulo semiárido.	6
Ilustración 3. Mapa de altitud dentro de la parcela demostrativa.	7

Ilustración 4. Mapa de relieve en la parcela demostrativa.....	8
Ilustración 5. Exposición en la parcela región semiárido.	9
Ilustración 6. Mapa de pendientes presente en el módulo.	10
Ilustración 7. Mapa de hidrología en el módulo a restaurar.....	11
Ilustración 8. Mapa de geología en el módulo semiárido.	12
Ilustración 9. Mapa del tipo de suelo presente en la parcela demostrativa.....	14
Ilustración 10. Triángulo de texturas.....	16
Ilustración 11. Mapa de clima en el módulo.	18
Ilustración 12. Mapa de temperatura media anual en el módulo región semiárido.	19
Ilustración 13. Mapa de precipitación en el módulo semiárido.....	20
Ilustración 14. Mapa de vegetación dentro de la parcela demostrativa.	30
Ilustración 15. Mapa de aptitud para el módulo semiárido.....	31
Ilustración 16. Grado de erosión en la parcela demostrativa de la región semiárido.	37
Ilustración 17. Grado de fragmentación en la parcela demostrativa.	38
Ilustración 18. Proceso para establecimiento de postes metálicos.	68
Ilustración 19. Pasos para la colocación del cercado.	69
Ilustración 20. Distribución de las obras de conservación de suelo en el módulo semiárido.	72
Ilustración 21. Características de la planta.....	81

Índice de imágenes

Imagen 1. Paisaje de vegetación en Chilitas, Zacatecas.....	4
Imagen 2. Pendiente de terreno en el módulo semiárido.	10
Imagen 3. Perfil de suelo dentro del área a restaurar.	13
Imagen 4. Horizontes del perfil de suelo dentro del módulo.	15

Imagen 5. Caracterización de la textura y contenido de materia orgánica en el suelo del área propuesta para el módulo de restauración.....	17
Imagen 6. Vegetación en los alrededores del módulo semiárido.....	29
Imagen 7. Actividades agrícolas en el Estado de Zacatecas.....	32
Imagen 8. Plaza turística en el Estado de Zacatecas.	32
Imagen 9. Urbanización y deforestación en la zona aledaña a la parcela demostrativa.	33
Imagen 10. Ganadería presente en la cercanía del área propuesta a restaurar.	34
Imagen 11. Clasificación de la vegetación por estratos.	41
Imagen 12. Agente causal (en la imagen de la izquierda podemos apreciar una <i>Tillandsia recurvata</i> y en la imagen de la derecha alguna plaga y/o enfermedad de raíz, cuyos síntomas se ven reflejados en las hojas) encontrado en área relicto en Zacatecas.....	48
Imagen 13. Implemento agrícola denominando subsoleador para la roturación de suelo.	52
Imagen 14. Tractor agrícola abriendo líneas de subsoleo.....	53
Imagen 15. Subsoleo a tres metros de distancia entre línea y línea.....	54
Imagen 16. Conclusión de subsoleo a curvas de nivel a cada 3 metros.	54
Imagen 17. Profundidad del suelo en el módulo región semiárido.	55
Imagen 18. Condición actual del subsoleo en la región semiárida.	55
Imagen 19. Presencia de pasto en los canales del subsoleo.....	56
Imagen 20. Cabeceo de cárcavas con piedra en el módulo semiárido.	56
Imagen 21. Proceso para la estructuración de cabeceo de cárcavas.....	58
Imagen 22. Avance de recubrimiento de una cárcava con piedra.....	58
Imagen 23. Antes (izquierda) y después (derecha) de la cárcava ubicada en la parte alta de la parcela.	59
Imagen 24. Antes (izquierda)y después (derecha) de la segunda cárcava ubicada en la parte media de la parcela con pendiente pronunciada.....	59

Imagen 25. Antes (izquierda) y después (derecha) de la tercera cárcava, ubicada en la parte baja.	60
Imagen 26. Transporte de cladodios del género <i>Opuntia</i> sp, para el establecimiento de barrera viva.....	61
Imagen 27. Establecimiento de nopal en líneas, con una separación de 20 cm entre líneas.	61
Imagen 28. Condición actual de la barrera viva.	62
Imagen 29. Estado actual de la barrera de piedra.	63
Imagen 30. Establecimiento de líneas de piedra acomodada.....	64
Imagen 31. Ganado bovino en los alrededores del módulo propuesto.....	65
Imagen 32. Obras de protección ya concluidas para el módulo semiárido.	66
Imagen 33. Cercado colocado para protección del módulo región semiárida.	67
Imagen 34. Apertura de brecha cortafuego con un ancho de tres metros.	70
Imagen 35. Vista aérea del establecimiento de brechas cortafuego en el perímetro del módulo.....	71
Imagen 36. Mantenimiento de brechas cortafuego.	71
Imagen 37. Estado anterior (izquierda) y actual (derecha) de la parcela demostrativa.....	73
Imagen 38. <i>Pinus cembroides</i> (INyDES-JCM296)- Árbol completo.....	77
Imagen 39. <i>Acacia farnesiana</i> (AMAREF-RRL56)-Árbol completo.	78
Imagen 40. Vegetación actual presente en la parcela demostrativa.....	82
Imagen 41. Especies presente en el sitio a restaurar. A: <i>Quercus eduardii</i> ; B: <i>Yucca filifera</i> ; C: <i>Dasyllirion cedrosanum</i> ; D: <i>Opuntia leucotricha</i> ; E: <i>Opuntia rastrera</i> ; F: <i>Prosopis laevigata</i> ; G: <i>Mammillaria</i> sp.; H: <i>Echinocereus enneacanthus</i> ; I: <i>Mammillaria wagneriana</i> ; J: <i>Agave</i> sp.; K: <i>Stenocactus dichroacanthus</i>	83
Imagen 42. Fauna presente en el módulo semiárido. A: <i>Buteo jamaicensis</i> (aguililla cola roja); B: <i>Kinosternon integrum</i> (tortuga pecho quebrado); C: <i>Phrynosoma orbiculare</i> (calameón de montaña); D: <i>Thamnophis cyrtopsis</i> (culebra lineada del bosque); E: <i>Sceloporus torquatus</i> (lagartija espinosa de collar).	84

Imagen 43. Actividades de subsoleo a curvas de nivel.	85
--	----

Imagen 44. Estado actual de la barrera viva.	86
---	----

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas geográficas del módulo región semiárido.	5
--	---

Tabla 2. Valores de evapotranspiración diaria sin ajustar para temperaturas superiores a los 26.5 °C.....	21
---	----

Tabla 3. Valores promedio mensuales de la estación meteorológica 32099 Villanueva, Zacatecas.	22
--	----

Tabla 4. Valores de excesos y deficiencias de la precipitación para el área de estudio.	24
--	----

Tabla 5. Tipos de climas de acuerdo con índice hídrico o grado de humedad.	25
---	----

Tabla 6. Índice de variación estacional de la humedad.....	26
--	----

Tabla 7. Eficiencia térmica.....	27
----------------------------------	----

Tabla 8. Concentración de la eficiencia térmica en verano.	27
---	----

Tabla 9. Resumen de las características del módulo semiárido.....	35
---	----

Tabla 10. Puntuación para calificar la prioridad del predio de ser reforestado en función de su ubicación dentro de la cuenca.	40
---	----

Tabla 11. Puntaje sugerido para evaluar la estructura vertical de las áreas sujetas a acciones de conservación.....	41
---	----

Tabla 12. Evaluación del estrato horizontal a nivel predial.	43
---	----

Tabla 13. Ponderación del valor del índice de diversidad de Simpson para determinar la prioridad de reforestación a nivel predial.	45
---	----

Tabla 14. Puntuación asignada al índice de Pieri para su incorporación en el índice de prioridad de restauración.....	46
---	----

Tabla 15. Valores para la evaluación de la sanidad en el predio donde se efectuará la reforestación.	47
---	----

Tabla 16. Ponderación propuesta para valorar la susceptibilidad de la reforestación a presiones antropogénicas.	48
--	----

Tabla 17. Valoración del índice de susceptibilidad de la superficie destinada a la reforestación ante actividades antropogénicas.	50
Tabla 18. Tipos de obras.	50
Tabla 19. Primera cárcava: datos dasométricas.	57
Tabla 20. Segunda cárcava: datos dasométricas.	57
Tabla 21. Tercera Cárcava: datos dasométricas.	57
Tabla 22. Porcentaje de cumplimiento por obra de conservación de suelo.	64
Tabla 23. Especies forestales utilizadas para reforestación en los diferentes tipos de clima.	74
Tabla 24. Características específicas por especie.	75
Tabla 25. Factor de corrección "L" por latitud	94
Tabla 26. Costos de preparación del terreno y transporte de planta.	96
Tabla 27. Costo de compra de planta.	97

1. Introducción

Actualmente México ha sufrido una modificación acelerada en sus ecosistemas; la pérdida de especies tanto animales y vegetales ha reducido considerablemente el número total inicial. La deforestación por el cambio de uso de suelo, la extracción de materiales (minas), los incendios, el sobrepastoreo, el avance de la mancha urbana, entre otros, son los factores que han afectado la fertilidad del suelo y los ecosistemas (Alcocer *et al.*, 2001)

Ante esta situación algunas instancias gubernamentales han intentado recuperar la cobertura vegetal con el establecimiento de diversas especies, algunas de ellas exóticas, con resultados que hasta el momento no han sido del todo favorables, sin embargo como especies pioneras en las primeras etapas del proceso de sucesión ecológica, cumplen una función muy importante, pues por tratarse de ecosistemas que presentan algún nivel de perturbación permiten de alguna manera acelerar la dinámica para recuperar mediante la restauración del suelo la cubierta vegetal, Es por ello por lo que Alcocer *et al.* (2001) menciona que es importante implementar la reforestación con especies herbáceas y leñosas nativas que tengan la capacidad de poder desarrollarse y adaptarse a las condiciones actuales del sitio para recuperar su fertilidad.

Vanegas (2016) coincide con lo anterior y elabora el “Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias”, con el que se desarrolla el proyecto de “Establecimiento de tres módulos de restauración de ecosistemas forestales, utilizando para reforestación únicamente especies nativas”.

Una de las parcelas establecidas para el desarrollo de este proyecto, se ubica en el estado de Zacatecas donde se consideró el módulo para el clima semiárido; la cual se tiene como punto central en el actual documento. Para esta se implementaron las siguientes obras de conservación de suelo: barrera viva, barrera de piedra, subsoleo, cabeceo de cárcavas; acompañado de obras de protección como cercado y brechas cortafuego.

El proyecto evaluará las condiciones del sitio para determinar si las áreas seleccionadas son prioritarias para restaurar y ayudará en elección de obras de conservación de suelo y protección, de tal manera que se observe y evalúe si la metodología que el manual propone es viable o no en los diferentes tipos de ecosistemas existentes en México.

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

2.1 Cuenca hidrográfica

Las cuencas de los ríos Verde y Juchipila forman parte de la región hidrológica Lerma-Santiago, que es la parte del territorio nacional limitada por el parteaguas natural del sistema hidrológico conformado por el río Lerma que confluye al Lago de Chapala (Vázquez, 2015). El polígono propuesto a restaurar pertenece a la cuenca del Río Juchipila y dentro de ella a la subcuenca Río Juchipila-Malpaso, correspondiente a la región hídrica Lerma-Santiago.

2.2 Manejo integral de la cuenca

Las cuencas son proveedoras de servicios ambientales, mismos que actualmente han estado por debajo de la demanda poblacional. De manera general y tomando como referencia a López (2012), el manejo integral de cuencas se basa en el entendimiento de su dinámica y de cada uno de los componentes, así como la participación de la población dentro de la misma. Es decir, se mantiene en las acciones que se realizan para hacer un uso racional y sustentable de los recursos que presenta la cuenca, considerando el potencial, vocación y las actividades de interés de las comunidades que interactúan en ella.

La cuenca del río Juchipila cubre parte del territorio del estado de: Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco; por lo que constituye una parte importante del capital natural al contar con una diversidad de ecosistemas que se desarrollan en ella, además de proveer alimentos y materias primas para el desarrollo de la población.

La cuenca del Río Juchipila es el segundo afluente importante por la margen derecha del río Grande de Santiago; la cuenca tiene una forma alargada y el cauce principal corre en dirección S 15° W.

En sus orígenes dentro del estado de Zacatecas, el río tiene la mayor parte de la cuenca, siendo que la corriente se forma a 19 km de Malpaso y escurre hacia la localidad de Villanueva, Zacatecas. De manera general el cauce principal es de 250 km y su descarga ocurre a 43 km al norte de la ciudad de Guadalajara, Jalisco. Presentando una altitud donde nace el río Juchipila de 2,600 msnm y su desembocadura a una altitud de 800 msnm, abarcando un área de 8,552 km² (Vázquez, 2015).

De acuerdo con SEMARNAT (2013), el proceso del manejo de las cuencas debe ser adaptativo, es decir, que se va construyendo y aprendiendo de las experiencias, sustentando

en información científica y local. Dicho proceso intenta resolver la problemática en conjunto con los diversos actores e instituciones con una visión común.

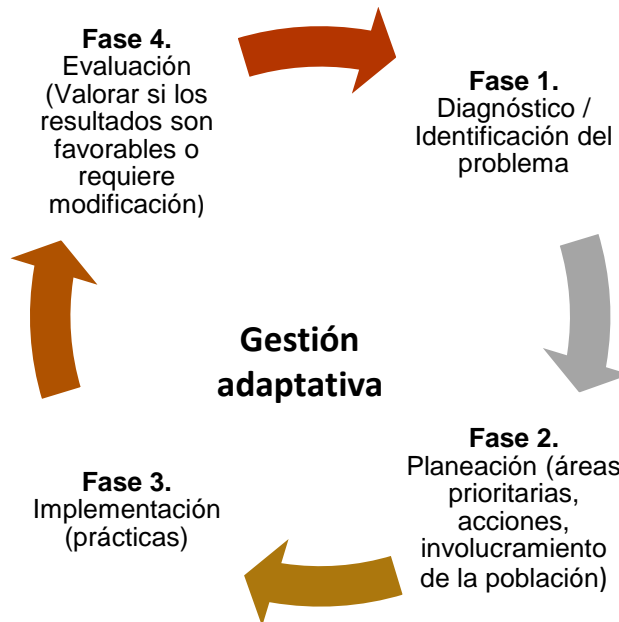


Ilustración 1. Fases del manejo integral de cuencas.
Fuente: SEMARNAT (2013)

Las fases de la Ilustración 1 son necesarias para identificar los personajes involucrados en las actividades para la restauración de la cuenca; es necesario que cada una de ellas se cumpla ya que con base en los resultados obtenidos se podrá realizar una evaluación y obtener a partir de él alternativas de solución, en caso de que no sea positivas.

2.3 Restauración a nivel de cuencas y análisis del paisaje

El enfoque de cuencas para la restauración constituye a enlazar los procesos de formación y de pérdida de suelo con otros componentes como el agua y la vegetación, haciendo posible la planeación para conservar todos los elementos de una cuenca (SEMARNAT, 2013).

Besacier *et al.* (2015) definen el paisaje como un proceso planificado que busca recuperar la integridad biológica y mejorar el bienestar humano en paisajes deforestados o degradados, considerando para ello el establecimiento de funciones y procesos claves de los ecosistemas a lo largo de todo el paisaje.



Imagen 1. Paisaje de vegetación en Chilitas, Zacatecas.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

La restauración y/o rehabilitación de los bosques o ecosistemas forestales, son actividades complicadas al necesitar de 3 pasos indispensables que son: planeación, ejecución y seguimiento. El objetivo principal de dichas actividades es intentar recuperar el paisaje natural anterior, incluso recuperar la fauna que había anteriormente, es decir recuperar las áreas degradadas para suministrar productos y servicios proporcionados por el bosque.

De acuerdo con la CONAFOR (2010a), para favorecer las prácticas de la reforestación es necesario conocer los datos indispensables que pueden obtenerse en campo, como son: tipo de suelo, textura, profundidad, clima, especies que formaban el bosque primario, también es indispensable definir el método de plantación, densidad, mantenimiento y parámetros a evaluar para confirmar el éxito de la plantación.

Con base en la información de la Evaluación del Programa Nacional de Reforestación en el estado de Zacatecas (UNICEDER-UACH, 2000-2001), se menciona que durante los años 2000 y 2001 se realizó la reforestación de 1,018 ha y 2,255 ha respectivamente en el estado; dichas reforestaciones se realizaron con especies como: *Opuntia* spp., *Acacia retinodes*, *Casuarina equisetifolia*, *Cupressus lindleyi*, *Eucalyptus globulus* y *Pinus greggii*. Las especies se seleccionaron por la utilidad que han presentado en la protección de suelos y el combate de la erosión; sin embargo, los resultados de las evaluaciones de las reforestaciones en el 2000 y 2001 indican una sobrevivencia del 45% y 33% respectivamente, la causa de esos resultados fue principalmente por heladas, sequías y pastoreo.

Para fines del presente proyecto se realizó una revisión de las especies que mejor se apten a la zona y a las características del sitio para poder restaurarlo, se identificaron las causas de la degradación, y se ejecutó el establecimiento de obras de conservación de suelo.

3 Localización

El módulo de restauración se encuentra ubicado dentro del Ex-Rancho Las Chilitas perteneciente al municipio de Villanueva, Zacatecas, delimitado por las coordenadas de los vértices mostrados en la Tabla 1, con una superficie de 3.05 hectáreas y la periferia de 1.02 kilómetros. Las comunidades cercanas que se pueden encontrar son El Molino, Malpaso y el Tepetate.

Tabla 1. Coordenadas geográficas del módulo región semiárido.
Fuente: Datos obtenidos en campo.

Vértice	X	Y
1	735982	2503795
2	735976	2503718
3	735808	2503759
4	735727	2503784
5	735592	2503811
6	735549	2503818
7	735561	2503890
8	735653	2503867

En el siguiente mapa (Ilustración 2) se puede apreciar la macro y micro localización del módulo, así como el deterioro que se ha tenido en la parcela, principalmente por la ganadería que se maneja de forma extensiva en toda la zona.

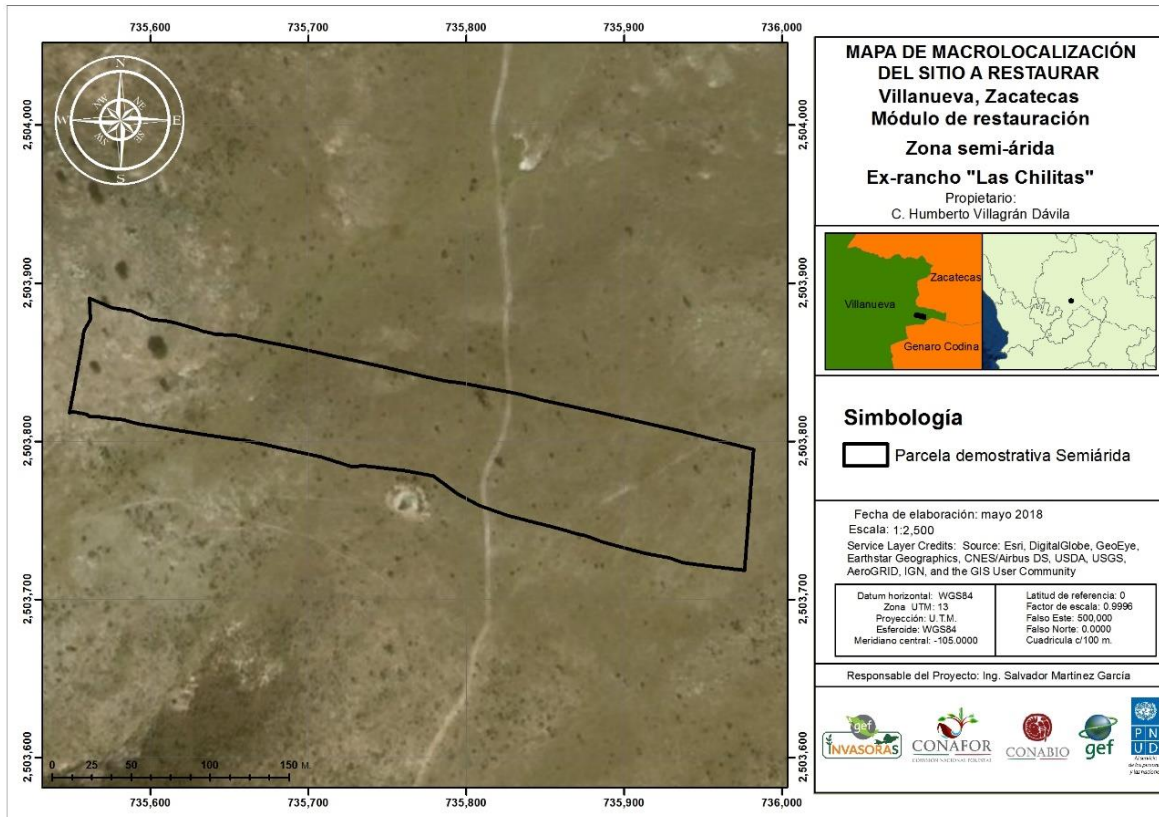


Ilustración 2. Mapa de ubicación del módulo semiárido.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

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

4.1 Características fisiográficas.

4.1.1 Relieve.

De manera general el Estado de Zacatecas forma parte de las provincias de la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Mesa del centro; por lo que el rango de altitud va desde los 840 msnm hasta los 3,160 msnm (INEGI, 2017), sin embargo, las cartas de elevación de INEGI señalan que la parcela propuesta se encuentra en un rango de altitud de 2,500 a 2,525 msnm (Ilustración 3).

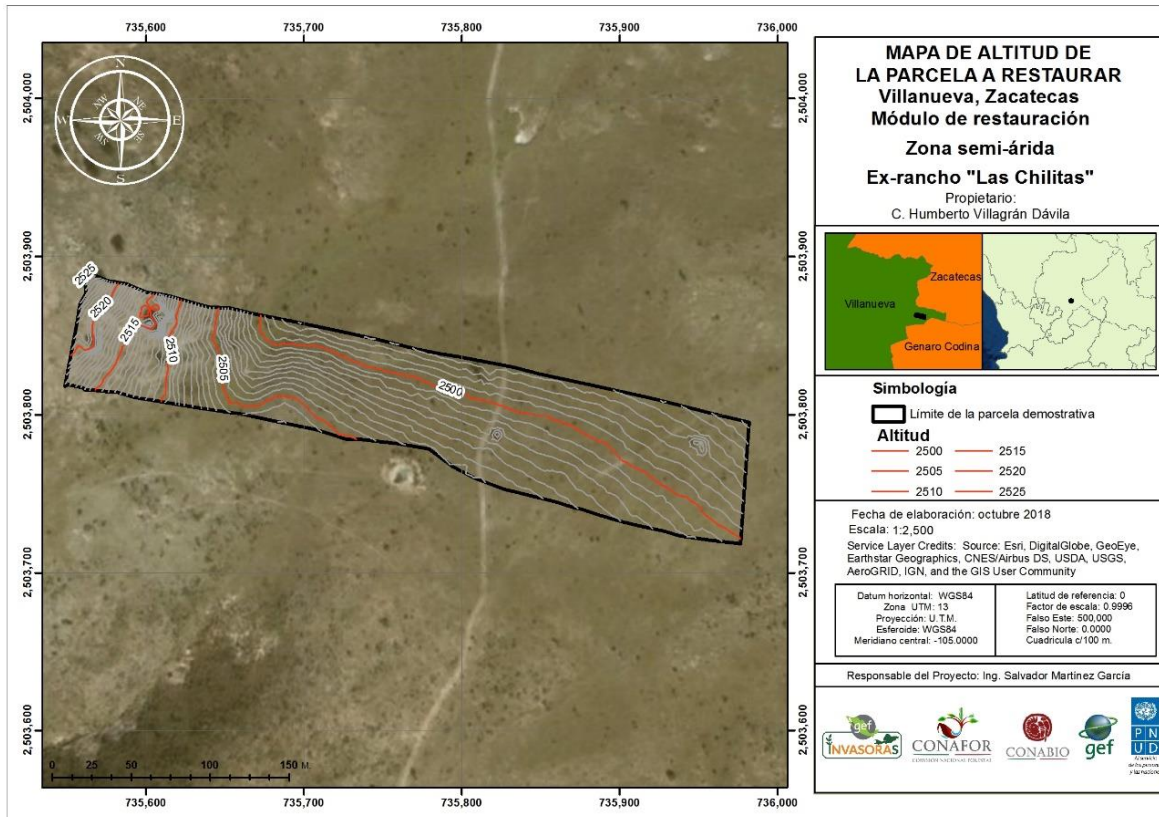


Ilustración 3. Mapa de altitud dentro de la parcela demostrativa.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

El polígono propuesto en la región semiárida presenta una topoforma de sierra como se observa en la Ilustración 4.

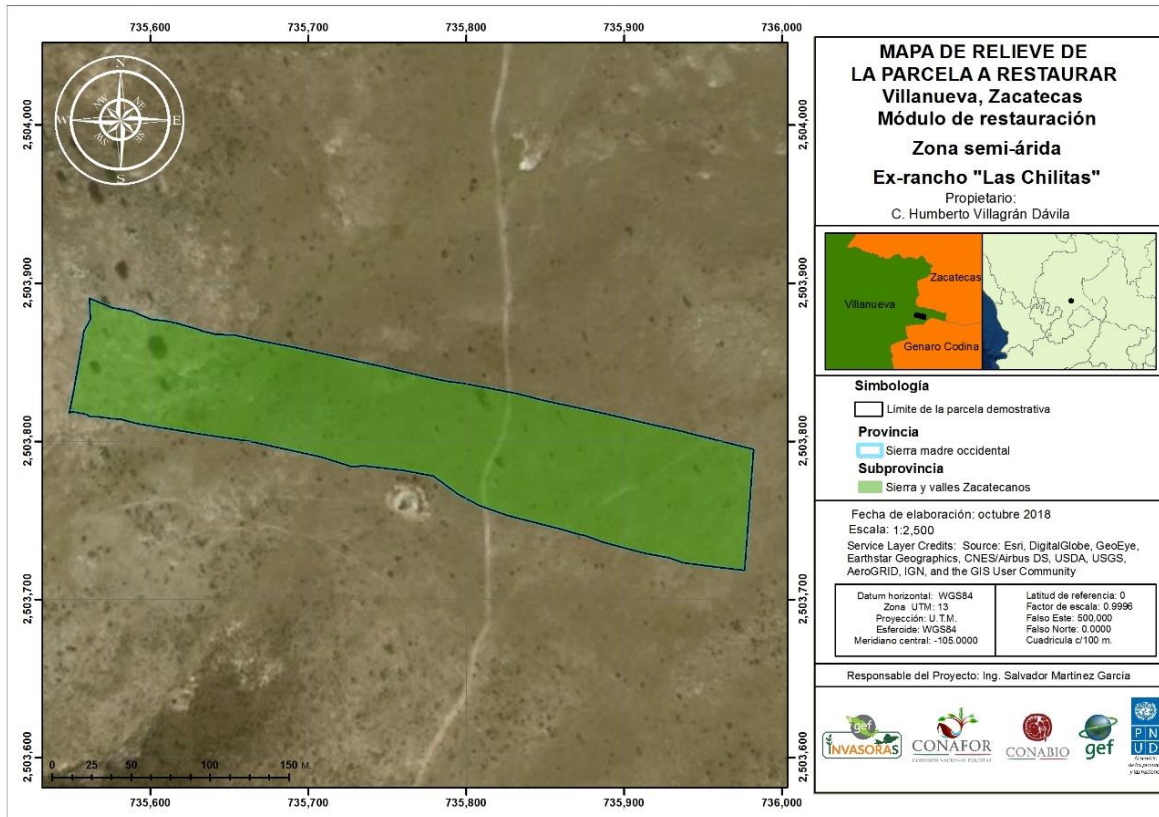


Ilustración 4. Mapa de relieve en la parcela demostrativa.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.1.2 Exposición y pendiente

Para el módulo región semiárido se generó un mapa de pendientes y exposiciones, esto con base en la información obtenida de las cartas de INEGI (2006), estas características apoyaron en la determinación de especies que se pueden desarrollar de forma adecuada, con las condiciones actuales del terreno.

Como se aprecia en la Ilustración 5, la mayor parte del terreno está orientada al noreste y norte; y en menor proporción también presenta exposición este y sureste.

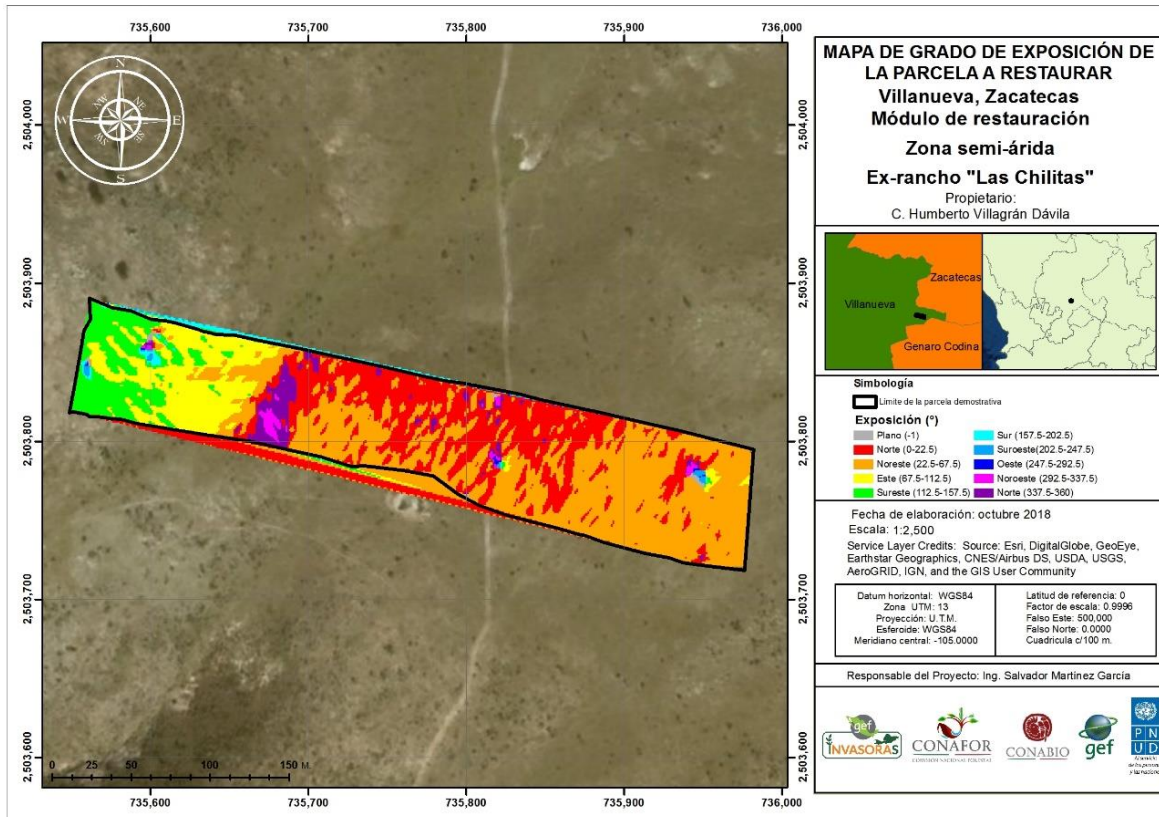


Ilustración 5. Exposición en la parcela región semiárido.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Las pendientes (Ilustración 6) que se encontraron en el área propuesta varían entre 5 a 38 % (Imagen 2), lo que indica la existencia de diferentes exposiciones, así pues, al analizar estas dos características (pendientes y exposiciones), se determinó la siguiente combinación de obras de conservación de suelo: ripeo, barreras de piedra, barreras vivas y cabeceo de cárcavas.



Imagen 2. Pendiente de terreno en el módulo semiárido.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

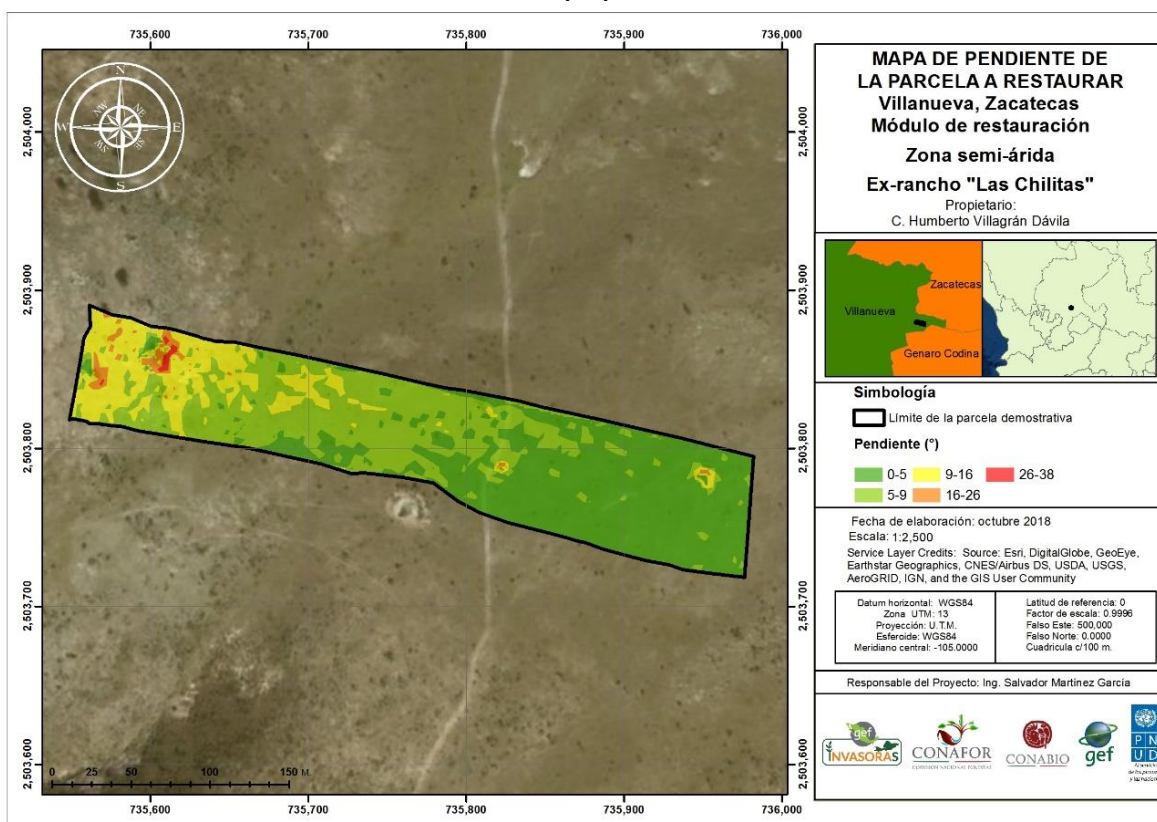


Ilustración 6. Mapa de pendientes presente en el módulo.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.1.3 Hidrología

Martínez (2018) menciona que el estado de Zacatecas presenta aguas superficiales distribuidas en cuatro regiones hidrológicas, una de ellas dentro de la cual se encuentra el predio es la RH12 Lerma-Santiago, esta región hidrológica cubre el 32.68% de la superficie estatal, las cuencas que la conforman son: Río Bolaños (11.63%), Río Juchipila (9.11%), Río Huaynamota (7.03%), Río Verde-Grande (4.17%) y Río Santiago-Guadalajara (0.74%).

En la Ilustración 7 se puede observar la existencia de un cuerpo de agua intermitente (solo existe presencia de agua durante la temporada de lluvias) en la cercanía de la parcela donde se pretende restaurar, lo cual da oportunidad a disponer de otra alternativa de agua para la reforestación. Este cuerpo de agua cercano lleva por nombre “Barranco el arco”.

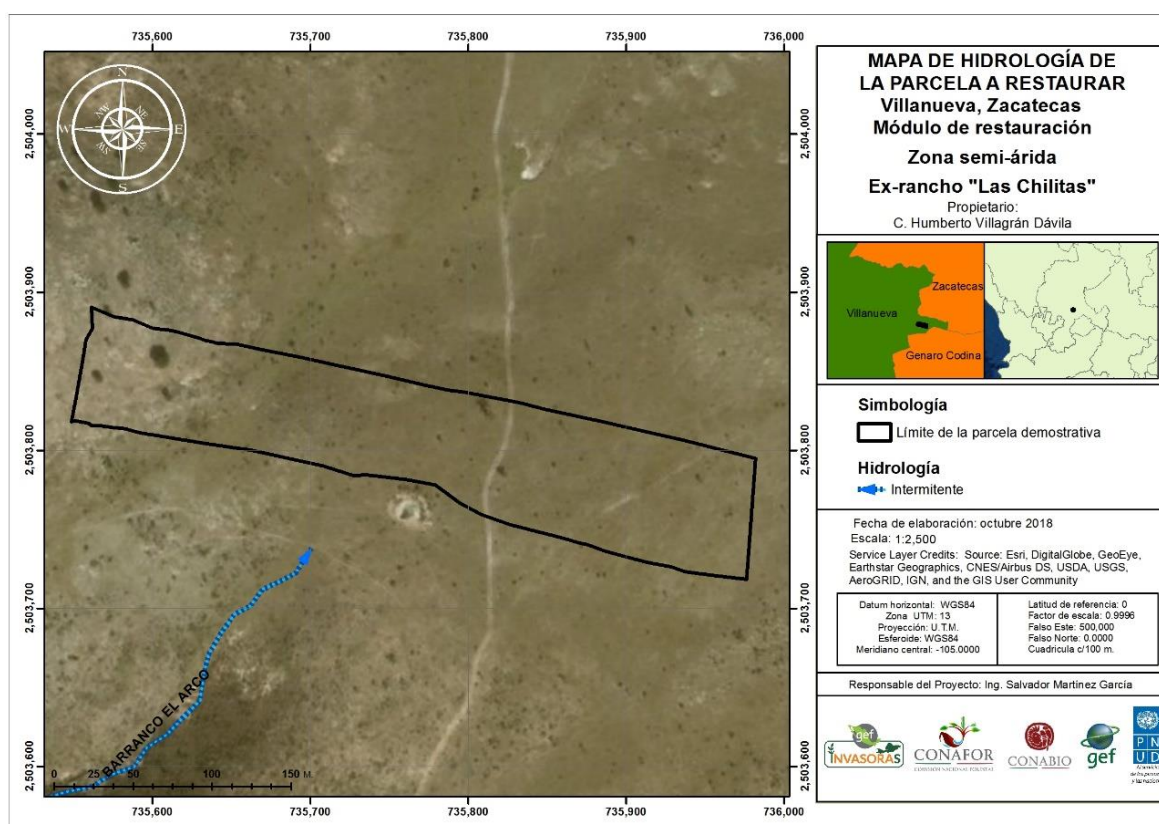


Ilustración 7. Mapa de hidrología en el módulo a restaurar.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.1.4 Descripción geomorfológica

Zacatecas es una de las entidades con una economía predominante debido a las actividades mineras de la zona. En Zacatecas existen rocas de todo tipo como: ígneas, sedimentarias y metamórficas, aunque la mayoría del territorio corresponde a rocas ígneas (INEGI, 2017).

De acuerdo con lo descrito anteriormente y al mapa de geología (Ilustración 8), corresponde a la clase de: ígnea extrusiva, las cuales se originan a partir del enfriamiento del magma.

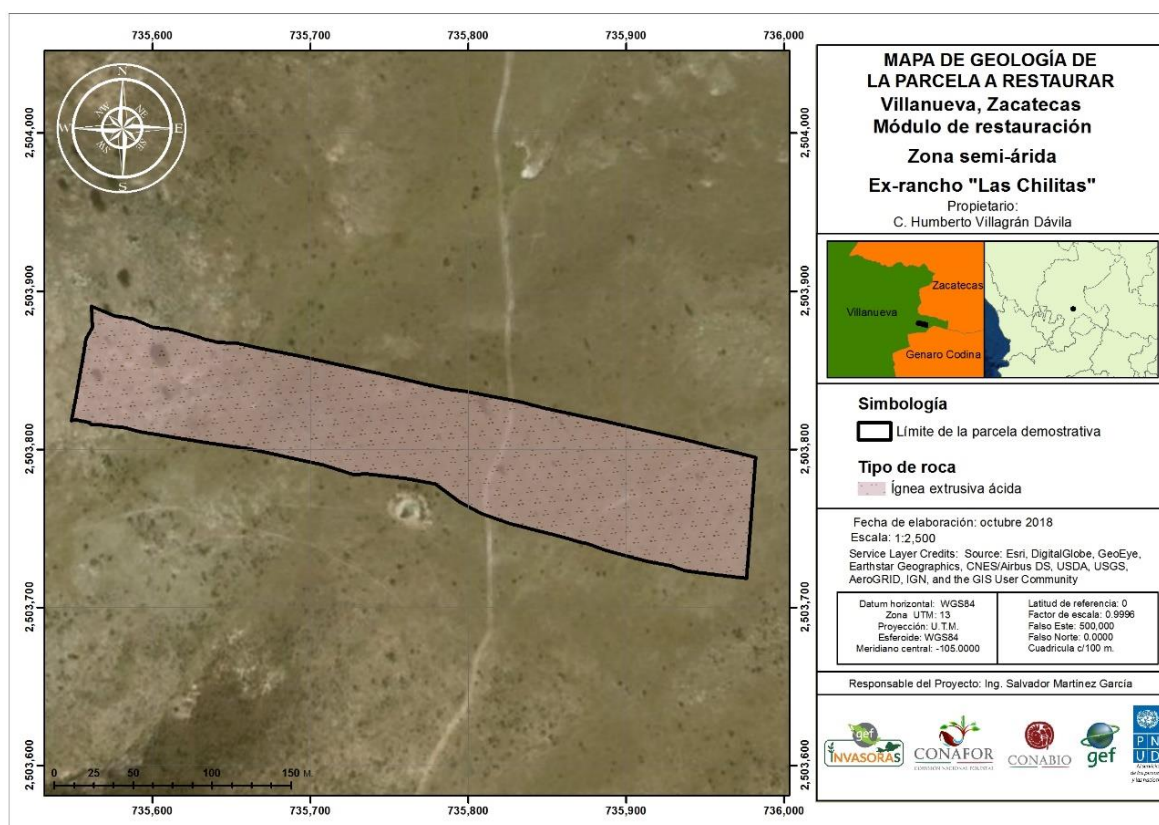


Ilustración 8. Mapa de geología en el módulo semiárido.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.2 Descripción de las características, propiedades y condiciones del suelo

Se realizó una descripción de las características del suelo empleando la metodología de observación por pared (cara de perfil) en el área o exposición sin perturbar (Schoeneberger *et al.*, 2002). Esta metodología consiste en realizar una pequeña excavación con medidas de: un metro de profundidad y dos metros de largo, de tal manera que sea posible observar las capas presentes en el suelo.

4.2.1 Tipo de suelo

Utilizando la metodología antes descrita se realizó un perfil de suelo para identificar los horizontes que presenta, así como identificar las características de cada uno de ellos, sin embargo, el perfil de suelo no pudo cumplir con las mediciones metodológicas ya que no se pudo excavar más de 40 cm, esto debido al material parental presente, como se puede observar en la Imagen 3.



Imagen 3. Perfil de suelo dentro del área a restaurar.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

Consultando las cartas a escala 1: 250,000 de INEGI (2007) de edafología, se muestra que el tipo de suelo en el módulo semiárido pertenece a regosol (Ilustración 9).

INEGI (2004) define los regosoles como suelos poco desarrollados, lo que ocasiona que las capas de sus horizontes sean poco diferenciadas entre sí. Generalmente son suelos claros o pobres en materia orgánica, muy parecidos a la roca que los origina, son someros con fertilidad variables y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad.

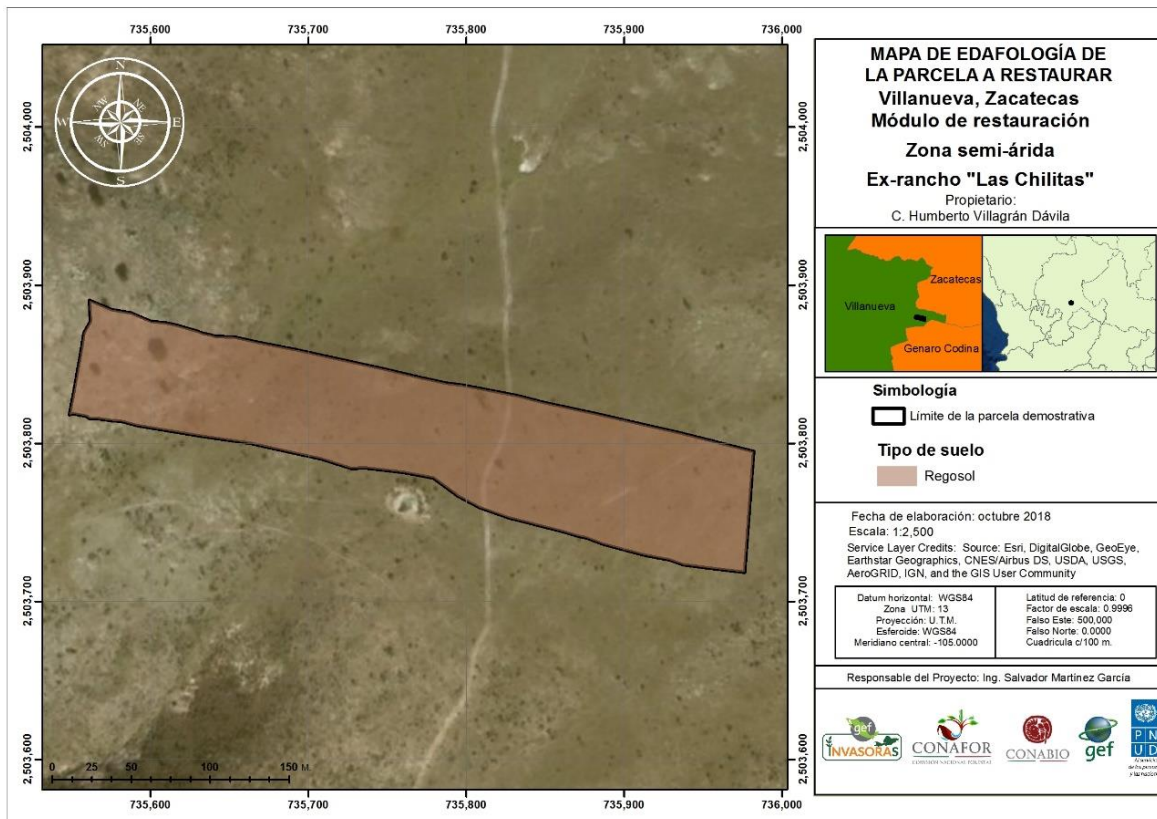


Ilustración 9. Mapa del tipo de suelo presente en la parcela demostrativa.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.2.2 Horizontes encontrados

Durante el perfil de suelo se identificaron dos horizontes, uno de ellos el "O" que son estratos o capas dominadas por material orgánico, el cual consiste en desechos intactos y parcialmente descompuestos como, por ejemplo: hojas, ramas, musgos y líquenes que se han acumulado sobre la superficie; se pueden encontrar sobre suelos minerales u orgánicos. La fracción mineral de este tipo de material es solo un porcentaje del volumen de material y es generalmente la mitad del peso total (FAO, 2009).

Como se puede observar en la siguiente Imagen 4, el primer horizonte mide aproximadamente 12 cm y el segundo horizonte alrededor de 20 cm, el restante corresponde a material parental.

El segundo horizonte se le conoce como horizonte A, son horizontes minerales que se forman en la superficie del suelo o por debajo del horizonte O, en el que toda o parte de la estructura de la roca original ha sido desintegrada y están caracterizados por uno o más de los siguientes puntos (FAO, 2009):

- Una acumulación de materia orgánica humificada íntimamente mezclada con la fracción mineral y que no despliega propiedades características de los horizontes E o B.
- Propiedades resultado de la labranza, pastoreo o tipos similares de perturbación.



Imagen 4. Horizontes del perfil de suelo dentro del módulo.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

La materia orgánica es favorable para el desarrollo de diversas especies, ya que funciona como un estabilizador del pH, aligera los terrenos arcillosos y cohesiona los arenosos; reduciendo el riesgo a erosión, mejorando el agarre de las plantas al suelo y manteniendo el balance hídrico (Bello *et al.*, 2006).

4.2.3 Textura

García *et al.*, (2004) mencionan que la textura indica el contenido o proporción de arena, limo y arcillas presentes en el suelo. Esta textura tiene que ver con la facilidad para manejar el suelo, la cantidad de agua que retiene y la velocidad con la que el agua penetra en el suelo. La determinación del suelo puede apoyarse del triángulo de texturas (Ilustración 10).

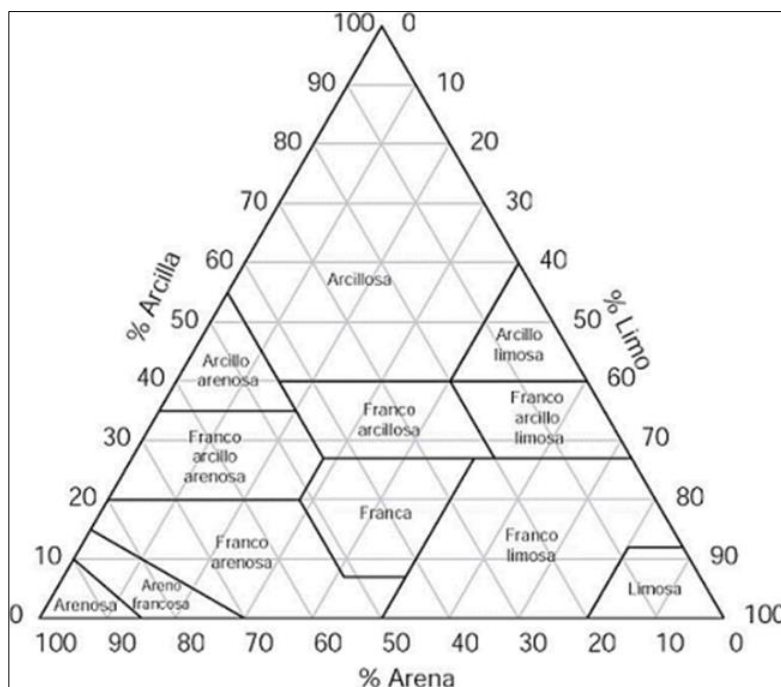


Ilustración 10. Triángulo de texturas.
Fuente Schoeneberger *et al.*, 2002.

La FAO (2009), describe las características de diferentes texturas, con la finalidad de hacer posible su determinación en campo, por consiguiente, se presentan a continuación las más comunes:

-Arcilla: Presenta características resaltantes al adherirse a los dedos, por lo que es pegajoso, moldeable, tiene una alta plasticidad y una superficie brillante luego de apretar entre los dedos.

-Limo: Este tipo de textura también se adhiere a los dedos, pero no es pegajoso, débilmente moldeable, tiene una superficie áspera y rasposa luego de ser apretado entre los dedos, es como si diera una sensación harinosa.

-Arena: Este tipo de textura es completamente distinta a las anteriores ya que presenta un tamaño de partículas mayor, no es moldeable, no se adhiere a los dedos y se siente muy granuloso.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, se realizó un perfil de suelo dentro del módulo semiárido, en el cual se tomaron muestras por horizontes, como lo señala la metodología, estas se sometieron a diferentes pruebas para la determinación de su textura; obteniéndose un suelo arcillo arenosa, con un porcentaje mayor de arcillas; de igual forma se observó una

pequeña proporción de materia orgánica mediante una prueba con agua oxigenada (Imagen 5).



Imagen 5. Caracterización de la textura y contenido de materia orgánica en el suelo del área propuesta para el módulo de restauración.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

4.2.4 Drenaje interno

Como se mencionó anteriormente en el punto 4.2.4., el suelo dominante en el Módulo Región Semiárido es regosol, el cual indica que se tiene un drenaje bueno, es decir, el agua es extraída del suelo fácilmente. Sin embargo, el agua interna libre suele ser muy rara o muy profunda. En general estos suelos son de textura gruesa, y poseen una conductividad hidráulica de alta saturación (Schoeneberger *et al.*, 2002).

4.3 Clima

4.3.1 Tipo de clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (1987) y las cartas de climas de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 1998), el clima que presenta el municipio de Villanueva, Zacatecas es de tipo BS₁kw, que coincidió con el reportado por INEGI (2000), (Ilustración 11) Corresponde a un clima semiárido del grupo B.

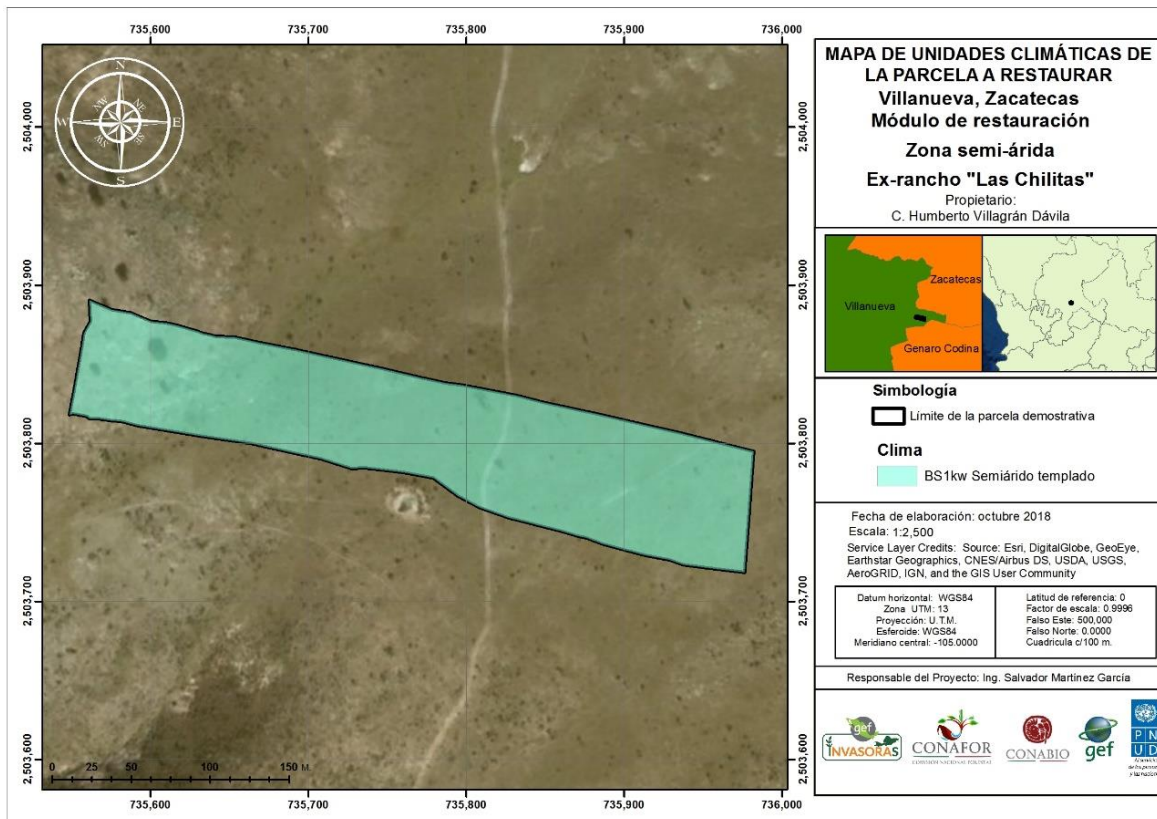


Ilustración 11. Mapa de clima en el módulo.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Este tipo de clima presenta una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, tal como se aprecia en la Ilustración 12. En el mes más frío del año, la temperatura oscila entre -3 °C y 18 °C, sin embargo, el mes con mayor temperatura alcanza los 22 °C. Se presentan lluvias en verano, en el invierno se puede observar una precipitación del 5 al 10.2% de la precipitación total anual (CONABIO, 1998; INEGI, 2015).

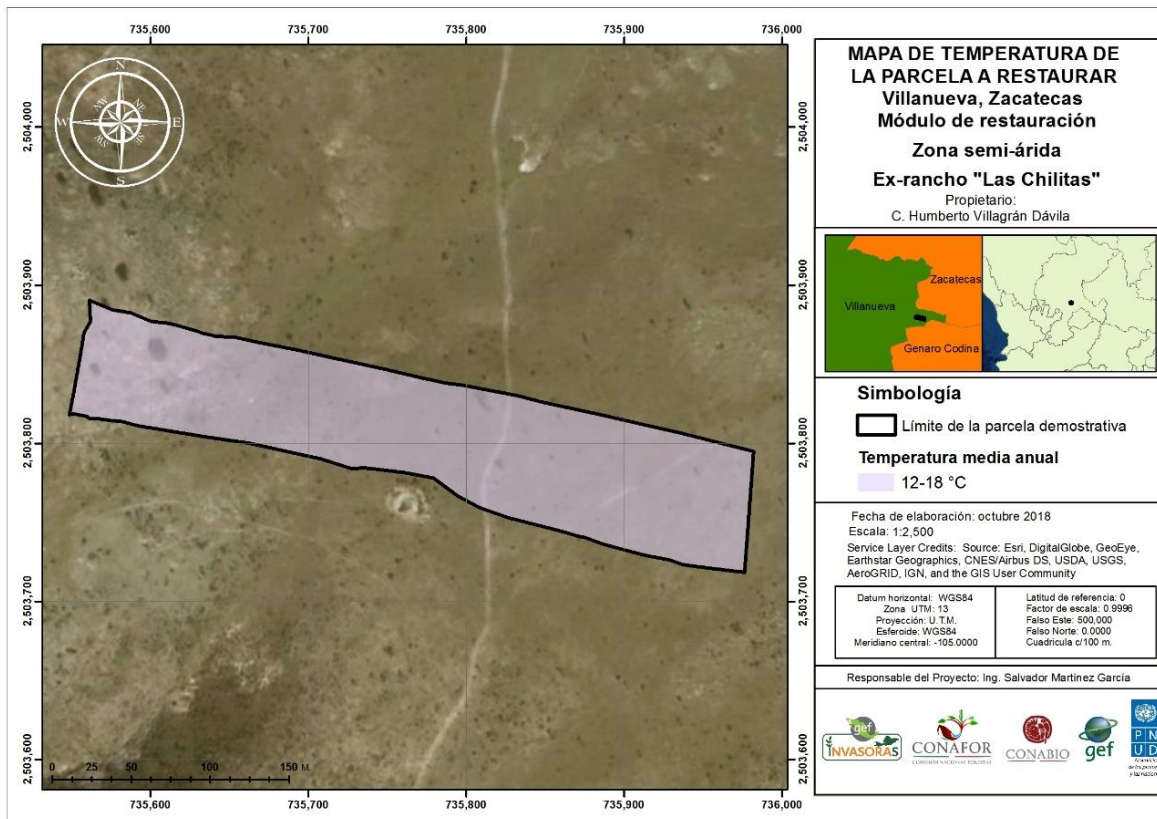


Ilustración 12. Mapa de temperatura media anual en el módulo región semiárido.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.3.2 Cálculo del clima

Los datos de las normales climatológicas se obtuvieron de la estación meteorológica número 32099 del Servicio Meteorológico Nacional que corresponde al municipio de Villanueva, Zacatecas, este tiene una precipitación promedio multianual de 356.2 mm, la menor se registra en los meses de marzo y abril, caso contrario son los meses de julio a septiembre, en donde se registra una precipitación promedio de 188 mm por mes y un promedio de 33.5 mm máximos en 24 horas.

En el siguiente mapa (Ilustración 13) se aprecia que la precipitación media anual del predio está dentro de un rango entre 500 a 600 mm.

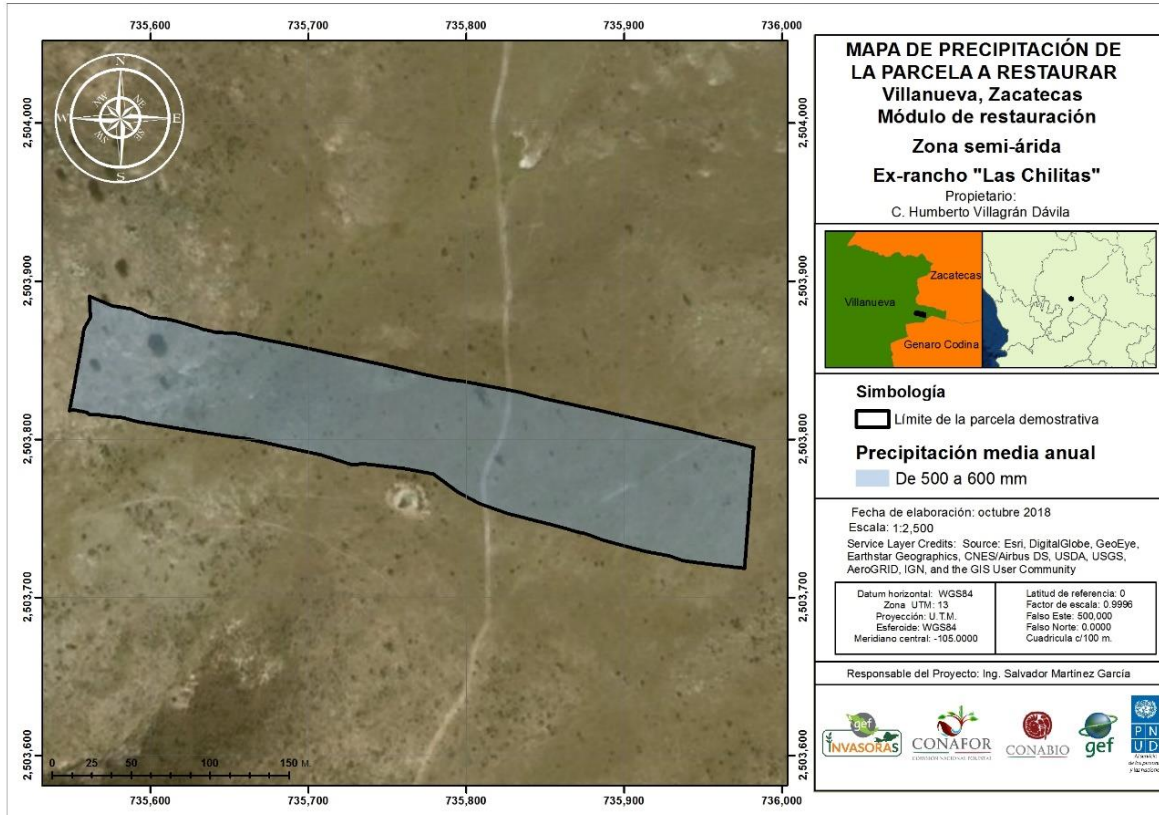


Ilustración 13. Mapa de precipitación en el módulo semiárido.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

La temperatura media anual es de 16.6 °C, con temperaturas medias extremas de 12° y 20.4° C que corresponden a los meses de enero y mayo respectivamente, por lo que su influencia climática pertenece a la zona semiárida (Tabla 7).

El clima y algunos de sus parámetros como la temperatura y precipitación, se analizaron para conocer su comportamiento durante el año, además, se calculó la evapotranspiración potencial con el método de Thorntwaite, el cual se basa en el balance de vapor de agua y está en función de la temperatura media de la zona, con una corrección en función del número de días del mes y la duración del día, el cual se obtiene con la siguiente fórmula (Thorntwaite & Matter, 1957).

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

Dónde:

e: Evapotranspiración mensual sin ajustar (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:

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

Es importante señalar que aquellos meses que presenten una temperatura mensual mayor a los 26.5 °C, deberán 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 de 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	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
34	6.0	6.0	6.0	6.0	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									

Retomando la metodología anterior, el resultado de la evapotranspiración sin ajustar no contempla el número de días del mes y horas luz de cada día, 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 esto se utilizó la tabla de factor de corrección que se presenta en el Anexo 1 y aplicando la siguiente fórmula se obtiene la evapotranspiración potencial según Thornthwaite (mm/mes):

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

Dónde:

L = Factor de corrección.

Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores promedio mensuales de la estación meteorológica 32099 Villanueva, Zacatecas.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Parámetro	Mes del año											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación	18.9	12.2	1.4	2.2	9.4	55.8	104.1	78.9	72.2	27.9	12.0	13.8
Temperatura	12.1	13.8	15.3	17.6	19.8	20.2	19.2	18.9	18.2	16.7	14.5	12.8
¹ i	3.8	4.7	5.4	6.7	8.0	8.3	7.7	7.5	7.1	6.2	5.0	4.1
² ET sin (mm/mes)	36.1	45.0	53.5	67.7	82.5	85.4	78.4	76.3	71.7	62.0	48.9	39.5
³ L	0.94	0.89	1.03	1.06	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	0.99	0.92	0.93
⁴ ETP aj (mm/mes)	33.9	40.1	55.1	71.8	94.1	95.6	90.1	84.7	73.1	61.4	45.0	36.7

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.

Conforme al análisis del Grafico 1 y los datos obtenidos en la Tabla 3 se observa que en los meses de junio a septiembre es el período con mayor cantidad de lluvia, sin embargo, en el

mes de agosto se aprecia que la evapotranspiración potencial sobrepasa los valores de precipitación y ligeramente en el mes de septiembre presenta un valor mayor de cantidad de lluvia respecto a la evapotranspiración potencial. Lo que indica que hay una gran probabilidad de que la lluvia que se precipita se pierde por la evaporación en el suelo y por la transpiración de las plantas. Este fenómeno se ve reflejado en la mayoría de los meses del año, excepto en los meses de julio y septiembre.

Para el caso del periodo de aridez de la región de estudio, este se presenta en el mes de octubre a mayo, lo que indica que la temperatura media está por encima de los valores de precipitación media de la región. Se ha definido a la sequía en términos de periodos de bajo escurrimiento superficial que conllevan a la insuficiencia en el almacenamiento en reservorios naturales o artificiales (aridez hidrológica) (Dracup *et al.*, 1980).

Con relación a los eventos climáticos extraordinarios, la región tiene baja probabilidad de presentar este tipo de fenómenos como granizos, tornados y niebla, entre otros. Sin embargo, como se mencionó en el párrafo anterior, la zona esta propensa a tener periodos de sequía prolongados, debido a la baja precipitación (Gráficos 1).

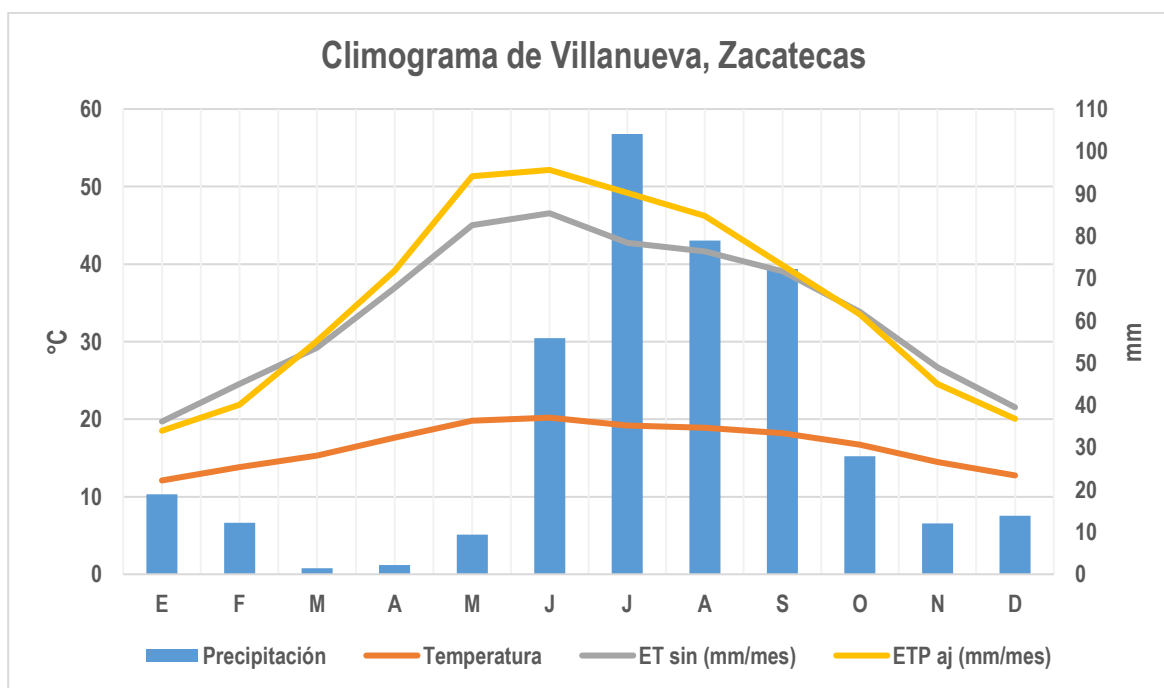


Gráfico 1. Climograma y representación de la evapotranspiración real y potencial del municipio de Villanueva, Zacatecas.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Para el cálculo del clima del municipio de Villanueva, Zacatecas, se utilizó el segundo método de Thornthwaite, el cual se basa en el grado de humedad de un determinado sitio, asimismo, toma en cuenta las necesidades hídricas que se expresan a través de la evapotranspiración

potencial (Thornthwaite, 1948). Para conocer el reparto de la lluvia y la 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).

Tomando en consideración el índice de humedad se puede definir la disponibilidad de humedad en una región, aquellas zonas que obtengan valores negativos, significa que hay un déficit de esta. Por otra parte, cuando resulten valores positivos indica que la zona cuenta con un exceso hídrico. En algunos casos se puede obtener un valor de cero, lo cual indica que hay un equilibrio entre la precipitación anual y la demanda de humedad ambiental (McCabe & Wolock, 1991).

Primeramente, 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. Cabe mencionar que 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 y en el segundo la precipitación es menor que la precipitación.

Tabla 4. Valores de excesos y deficiencias de la precipitación para el área de estudio.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Parámetro	Meses del año											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación	18.9	12.2	1.4	2.2	9.4	55.8	104.1	78.9	72.2	27.9	12.0	13.8
¹ETP aj (mm/mes)	33.9	40.1	55.1	71.8	94.1	95.6	90.1	84.7	73.1	61.4	45.0	36.7
Exceso (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Deficiencia (mm)	15.04	27.9	53.7	69.6	84.7	39.8	0.0	5.8	0.9	33.5	33.0	22.9

¹Evapotranspiración ajustada por el método de Thornthwaite.

Posteriormente se calculó el régimen de humedad que corresponde al primer dígito de la clasificación de clima de Thornthwaite, que 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.

$$IM = \frac{(100 * 14) - (60 * 386.94)}{781.8}$$

$$IM = -27.9$$

Para determinar el tipo de clima que hay en la región se consideró el valor que resultó de la fórmula anterior, y con apoyo de la información contenida en la Tabla 5 se buscó dicho valor para obtener el grupo de clima, el cual corresponde a un clima semiárido seco y pertenece al grupo “D”.

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
B ₄	Muy húmedo	80 a 100
B ₃	Húmedo	60 a 80
B ₂	Moderadamente húmedo	40 a 60
B ₁	Ligeramente húmedo	20 a 40
C ₂	Sub húmedo	0 a 20
Para climas secos		
C ₁	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 semiárido se aplicó la fórmula del índice de humedad:

$$Ih = \frac{100 * 14}{781.8}$$

$$Ih = 1.79$$

Conforme al valor del índice de humedad que se obtuvo y de acuerdo con los rangos del índice de variación estacional de la humedad (Tabla 6), el sitio de interés resultó pertenecer al grupo “d” que corresponde a una variación nula o con pequeño exceso de agua que se observa en los meses donde la evapotranspiración potencial está por debajo de la precipitación.

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
s ₂	Gran deficiencia en verano	Más de 33.3
w ₂	Gran deficiencia en invierno	Más de 33.3
Para climas secos: índice de humedad (Ih)		

Símbolos	Tipo de variación	Índice de variación
d	Nulo o pequeño exceso de agua	0 a 10
s	Moderado exceso en verano	10 a 20
w	Moderado exceso en invierno	10 a 20
S ₂	Gran exceso en verano	Más de 20
W ₂	Gran exceso en invierno	Más de 20

El tercer valor de la fórmula climática se obtuvo a través de la sumatoria de la evapotranspiración ajustada (781.8 mm), la cual se cotejó con los rangos establecidos en la Tabla 7. El resultado arroja una región mesotérmica templada fría, ya que la evapotranspiración potencial se establece en el rango del grupo 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 semi cálida	997 1140
B'3	Mesotérmica templada cálida	855 a 997
B'2	Mesotérmica templada fría	712 a 855
B'1	Mesotérmica semi fría	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 la fórmula climática de Thornthwaite, se calculó la concentración de la eficiencia térmica en verano; este se obtiene sumando los valores de evapotranspiración 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 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 la eficiencia térmica en verano.
Fuente: Thornthwaite & Matter (1957).

Tipo de clima	% verano año ⁻¹
a'	Menor de 48%
b'4	48% a 51.9%
b'3	51.9% a 56.3%
b'2	56.3% a 61.6%
b'1	61.6% a 68.0%

Tipo de clima	% verano año ⁻¹
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: Evapotranspiración de los meses de verano.

$$ET(\%) = \left(\frac{343.57}{781.8} \right) * 100$$

$$ET = 43.95\%$$

Conforme al resultado obtenido de la eficiencia térmica y los rangos que se presentan en la Tabla 8, se obtuvo un tipo de clima *a'*, ya que se encontró un valor de 43.95%. La fórmula climática de acuerdo con la metodología de Thornthwaite (1948) que representa al municipio de Villanueva, Zacatecas, corresponde a un clima semiárido seco, con nulo o pequeño exceso de agua en verano, con región mesotérmica templado frío y con 43.95% de eficiencia térmica al año, la cual se enuncia a continuación.

D d B' 2 a'

4.4 Vegetación

INEGI citado por Martínez (2018) menciona que la vegetación del estado de Zacatecas está cubierta principalmente por matorral (36.3%) (Imagen 6) cubriendo la mayor parte de superficie del norte de la entidad, resaltando especies como el: Ocotillo (*Fouquieria splendens*), hojaseén (*Flourensia cernua*), gobernadora (*Larrea tridentata*), candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) y guayule (*Parthenium argentatum*). Cercano a ese porcentaje de distribución (24.9%) cubierto por zonas agrícolas donde principalmente cosechan avena, frijol y trigo. Por otro lado, el 18.4% está cubierto por pastizal disperso en los valles y llanuras principalmente en el centro del estado. La presencia de bosques con especies como: pino

blanco (*Pinus ayacahuite*), pino chino (*Pinus teocote*), piñonero (*Pinus cembroides*) y encino colorado (*Quercus rysophylla*) cubren un 14.3%, mientras que la selva cubre un 5.2% y se encuentra en las cañadas y los valles al sur de la entidad.

Ahora bien, la enciclopedia de los municipios y delegaciones del México, indica que, para el municipio de Villanueva, estado de Zacatecas que es donde se encuentra la parcela podemos encontrar principalmente (INAFED, s.f.):

- Pastizales: navajilla velluda (*Bouteloua hirsuta*), zacate-navajilla (*Bouteloua gracilis*), zacatón (*Sporobolus* sp.), liendrilla (*Muhlenbergia* spp.), zacate tres barbas, garañona (*Aristida* spp.).
- Bosque de encino colorado (*Quercus eduardii*), encino blanco (*Quercus grisea*).
- Matorral: mezquite (*Prosopis laevigata*), huizache (*Acacia Farmensiana*), palma, izote (*Yuca* sp.), nopal (*Opuntia* sp.).



Imagen 6. Vegetación en los alrededores del módulo semiárido.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

Basado en el conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación de INEGI (2014) se determinó que la vegetación dentro de la parcela corresponde a pastizal natural (Ilustración 14). Es importante mencionar que la cobertura vegetal de esta área se perdió a causa de la intervención humana, tal como se describe en el capítulo 4.

La situación actual de la vegetación refleja las primeras etapas de la sucesión ecológica, ya que, al existir una modificación fuerte en las condiciones del ecosistema, el proceso de sucesión ecológica comienza con la presencia de algunos musgos o líquenes para crear un suelo y materia orgánica, posteriormente comienza la expansión de algunas herbáceas, después arbustos y por último árboles que comienzan con la generación de bosques (Flores, 2015). En el caso específico de la parcela se pudieron observar algunas especies nativas, las cuales se pueden consultar en el apartado 9.1.

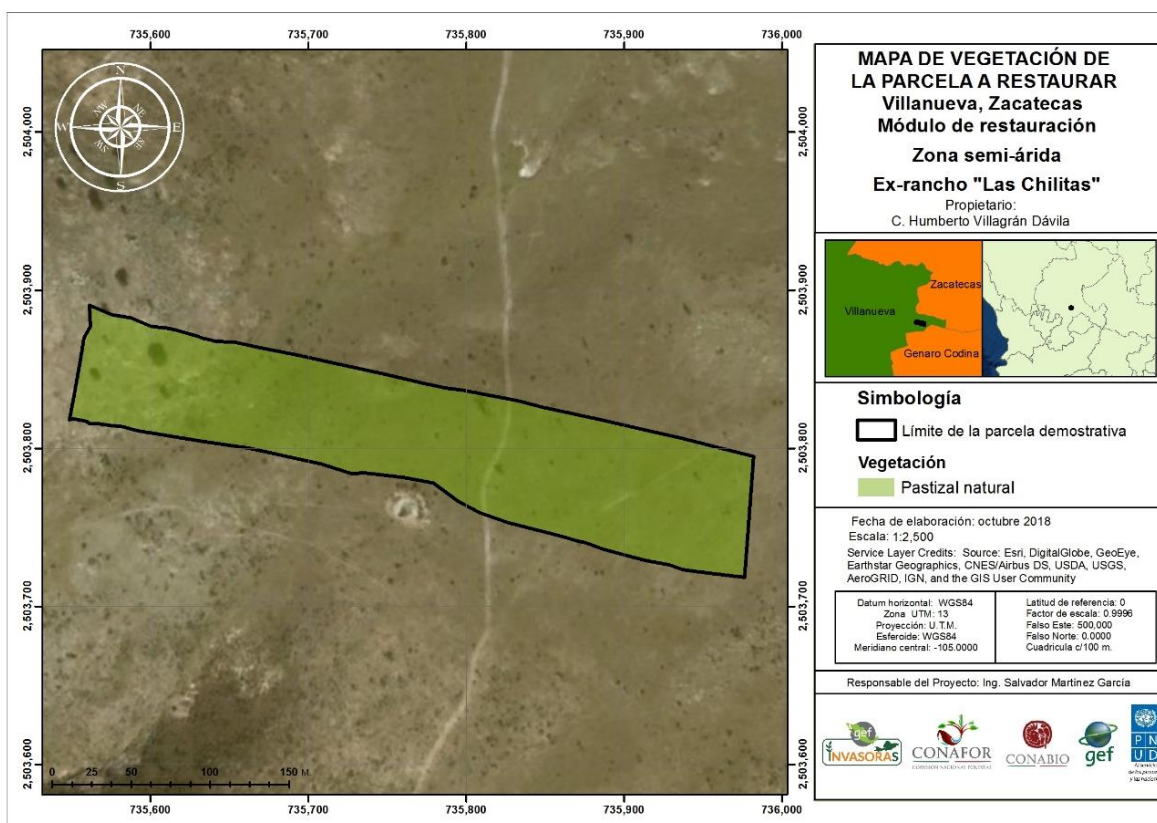


Ilustración 14. Mapa de vegetación dentro de la parcela demostrativa.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Es necesario que antes de realizar las actividades de reforestación, se asegure que los terrenos son aptos para dichas actividades; la SEMARNAT (2018) menciona que los terrenos de aptitud forestal son áreas que, aunque actualmente no se encuentran cubiertas por bosque, selva o algún tipo de vegetación pueden incorporarse al uso forestal, siempre que los terrenos presenten una pendiente mayor de 15%. La aptitud se clasifica en parámetros los cuales son: alto, medio, bajo y no apto. En el caso del presente polígono el parámetro correspondiente en "medio" en su totalidad (Ilustración 15).

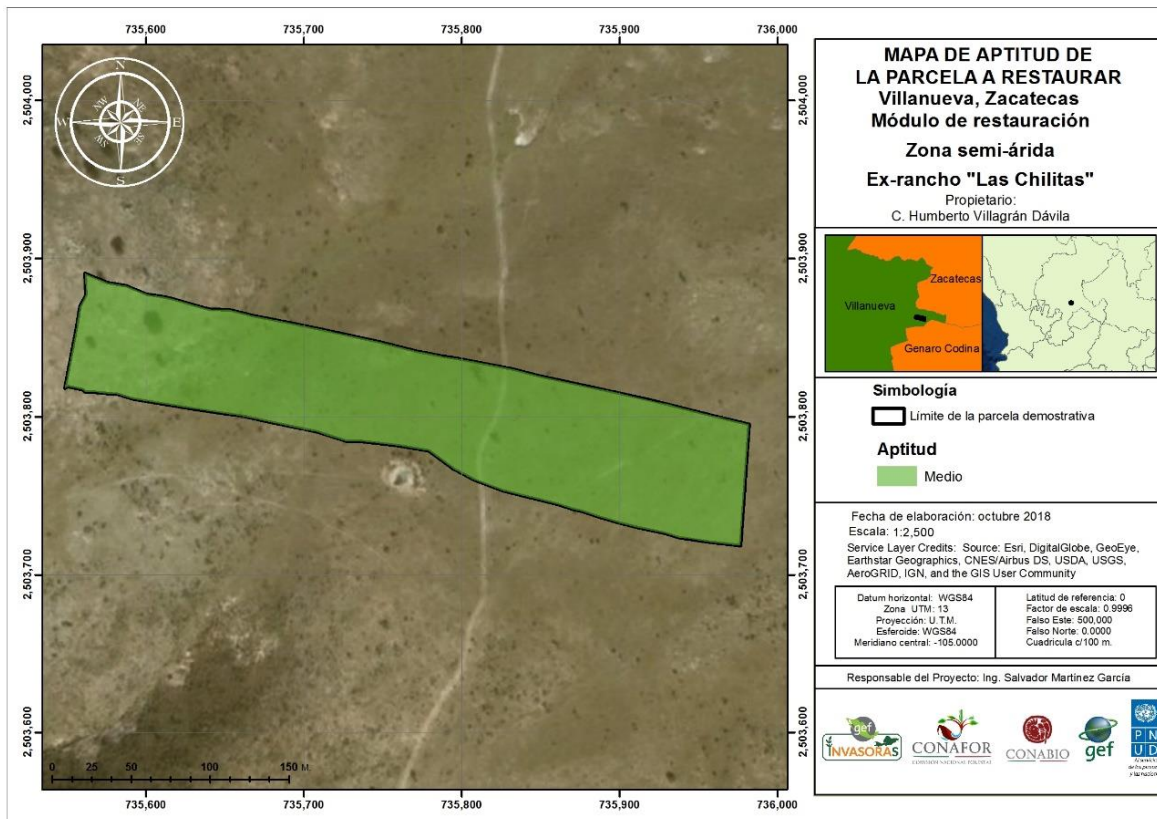


Ilustración 15. Mapa de aptitud para el módulo semiárido.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

4.5 Aspectos sociales

De acuerdo con el panorama sociodemográfico de Zacatecas (INEGI 2015), la población total del municipio de Villanueva es de 30,240 habitantes. Sin embargo, la comunidad más cercana (Chilitas) se encuentra ubicada en el municipio de Zacatecas, donde existen 189 localidades más; esta cuenta con 372 habitantes: 208 son hombres y 164 mujeres.

En Chilitas hay alrededor de 105 viviendas que cuentan con servicios básicos como electricidad y agua, el 86% tiene radio, el 92% televisión, el 91% refrigerador, pero solo el 64% tiene automóvil, el 2% computadora y el 35% teléfono celular.

De acuerdo con la Secretaria de Economía de Zacatecas (2018) las principales actividades económicas son: minería no petrolera (16.2%), servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (12.5%), comercio al por menor (9.4%), construcción (9.3%) y agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza (8.9%) (Imagen 7).



Imagen 7. Actividades agrícolas en el Estado de Zacatecas.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

El estado de Zacatecas es una de las entidades con una gran cantidad de monumentos e historia que han sido reconocidos por el estilo en la construcción, así mismo tiene varios museos relacionados con la cultura antigua y contemporánea, lo que hace un alto potencial en turismo para la zona (Imagen 8).



Imagen 8. Plaza turística en el Estado de Zacatecas.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

5 Origen y causas de la degradación del ecosistema de la localidad.

Zacatecas es uno de los estados con una gran historia, cultura y tradiciones, desafortunadamente la estabilidad ambiental de esta entidad se ha ido modificando con el tiempo por la falta de alternativas para mitigar el impacto ambiental que ha tenido el desarrollo urbano e industrial, las consecuencias ambientales han tenido mayor efecto en los municipios de Fresnillo, Guadalupe y Zacatecas.

En la investigación de Rivera & Vázquez (2014), se hace mención que la totalidad del estado de Zacatecas ha sido valorado como altamente degradado, estos autores identifican cuatro temas acerca de la problemática actual de la degradación de los ecosistemas, los cuales son: problemas ambientales y de salud derivados de la minería; extracción de nutrientes y la degradación del suelo derivada del sector agropecuario; la sobreexplotación y la contaminación de los cuerpos de agua; y la urbanización (Imagen 9).



Imagen 9. Urbanización y deforestación en la zona aledaña a la parcela demostrativa.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

Se sabe que una de las actividades mayormente realizadas en Zacatecas es la minería, por los volúmenes de extracción y los yacimientos existentes; estas actividades a lo largo de los años han provocado consecuencias graves en el medio ambiente y en la salud de los pobladores. Las actividades mineras han dejado suelos contaminados y degradados donde posteriormente se establecen ciudades haciendo que las personas queden expuestas a concentraciones de elementos dañinos como el radón (Rivera & Vázquez, 2014).

El segundo factor que ha traído consecuencias en la degradación de los ecosistemas es la ganadería (Imagen 10). La excesiva carga animal es uno de los principales factores que ha ocasionado la erosión en los suelos, debido al consumo de los pastos introducidos y la compactación del suelo que ha dificultado en gran medida la infiltración del agua y el desarrollo de nuevos individuos, aunado a la cantidad de estiércol que sobrepasa la velocidad a la que los suelos pueden retener los nutrientes.



Imagen 10. Ganadería presente en la cercanía del área propuesta a restaurar.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

Las emisiones de gas metano producto de la fermentación entérica (metano que se genera durante la digestión de los rumiantes), tienen un alto potencial que promueve al calentamiento global y por lo tanto al cambio climático, debido a la generación de alteraciones ambientales que provoca como: sequia, reducción en el recurso hídrico, pérdida de biodiversidad, inundaciones, aumento en la temperatura, aumento en el nivel del mar, entre otros efectos (National geographic, 2010). Por otro lado, las actividades agrícolas también han contribuido a la contaminación de los suelos, ya que el uso de sustancias químicas ha contribuido a la pérdida en la fertilidad del suelo, así como a la contaminación de este.

Un factor más que ha preocupado en los últimos años a los pobladores es la sobreexplotación de los acuíferos de la zona urbana, así como la contaminación de los cuerpos de agua en la totalidad del estado. Estos han sido perjudicados por las descargas de aguas residuales municipales, por residuos de minería y agricultura.

Los problemas ambientales relacionados con la urbanización se refieren a la ausencia del manejo de residuos que se acumulan de la población, ya que la cantidad de residuos sobrepasa la capacidad del ambiente para reincorporarlos al mismo. Lo anterior ha ocasionado una generación de contaminantes atmosféricos que se han reflejado en la degradación continua de los ecosistemas.

Finalmente, Rivera & Vázquez. (2014) señala que de acuerdo con el Atlas Nacional de Riesgos durante el periodo de 1979 a 1988 Zacatecas fue afectado por sequías durante 9 años continuos, lo que ocasiono una pérdida de aproximadamente 2,627 ha de vegetación a causa de ese fenómeno.

Con lo descrito anteriormente se puede observar que los efectos de la degradación ambiental en general han disminuido el bienestar de poblaciones enteras, amenazando la salud, lo que a su vez ha provocado que algunas personas busquen alternativas para satisfacer sus necesidades, es por ello por lo que diferentes autores mencionan que la degradación ambiental es uno de los factores causantes de la migración (Rivera, 2007).

Con base en la información presentada se puede concluir que el deterioro ambiental es ocasionado de la interacción por la sociedad con los recursos naturales, las consecuencias han sido graves a lo largo de los años, sobre todo notables en la escasez del agua. Es importante considerar que las políticas públicas son indispensables para el fortalecimiento del desarrollo, ya que el gobierno puede proveer de incentivos que ayuden a la restauración de zonas afectadas. También se requiere que la sociedad en conjunto participe en las actividades de la restauración de los ecosistemas para mejorar la calidad de vida y proveer de recursos que contribuyan a mejorar su economía.

Tabla 9. Resumen de las características del módulo semiárido.
Fuente: elaboración propia

Características	Descripción
Altitud	Entre 2,500 a 2,525 msnm.
Exposición	Dominante Norte-Noreste en menor proporción Este y Sureste
Pendiente	Entre 5 a 38%
Hidrología	Cuerpo de agua intermitente nombrado "Barranco el arco"
Geología	Íngea extrusiva
Suelo	Regosol. Textura arcillo-arenosa, conductividad hidráulica de alta saturación, contiene materia orgánica
Clima	BS 1 KW Semiárido templado con temperatura mínima de 12 °C y máxima de 18 °C; precipitación mínima de 500 mm y máxima de 600 mm

Características	Descripción
Vegetación	Pastizal natural (clasificación de acuerdo con INEGI, 2015)
Aptitud	Media
Aspectos sociales	Principales actividades: minería no petrolera, servicios inmobiliarios, comercio, construcción, agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y turismo
Origen de la degradación de ecosistemas	Minería, ganadería, agricultura, urbanización, sobreexplotación y contaminación de cuerpos de agua

6 Índices que definen el área a restaurar

6.1 Degradación del suelo

De acuerdo con SEMARNAT (2008) la degradación del suelo es un proceso que muchas veces es inducido por las acciones del hombre, que en consecuencia van provocando una reducción en la biodiversidad que podría afectar los recursos naturales a futuro. Uno de los factores que afecta en un porcentaje considerable los suelos es la erosión, Zacatecas es uno de los estados donde la totalidad de su superficie presenta erosión eólica potencial.

En el caso particular de la parcela, el grado de erosión no es tan alto en la mayor parte del polígono, sin embargo, en la parte alta del polígono el grado aumenta, es por ello por lo que se eligieron las obras de conservación con base en las condiciones del terreno para favorecer la retención de sedimentos, humedad y conservación del ecosistema (Ilustración 16).

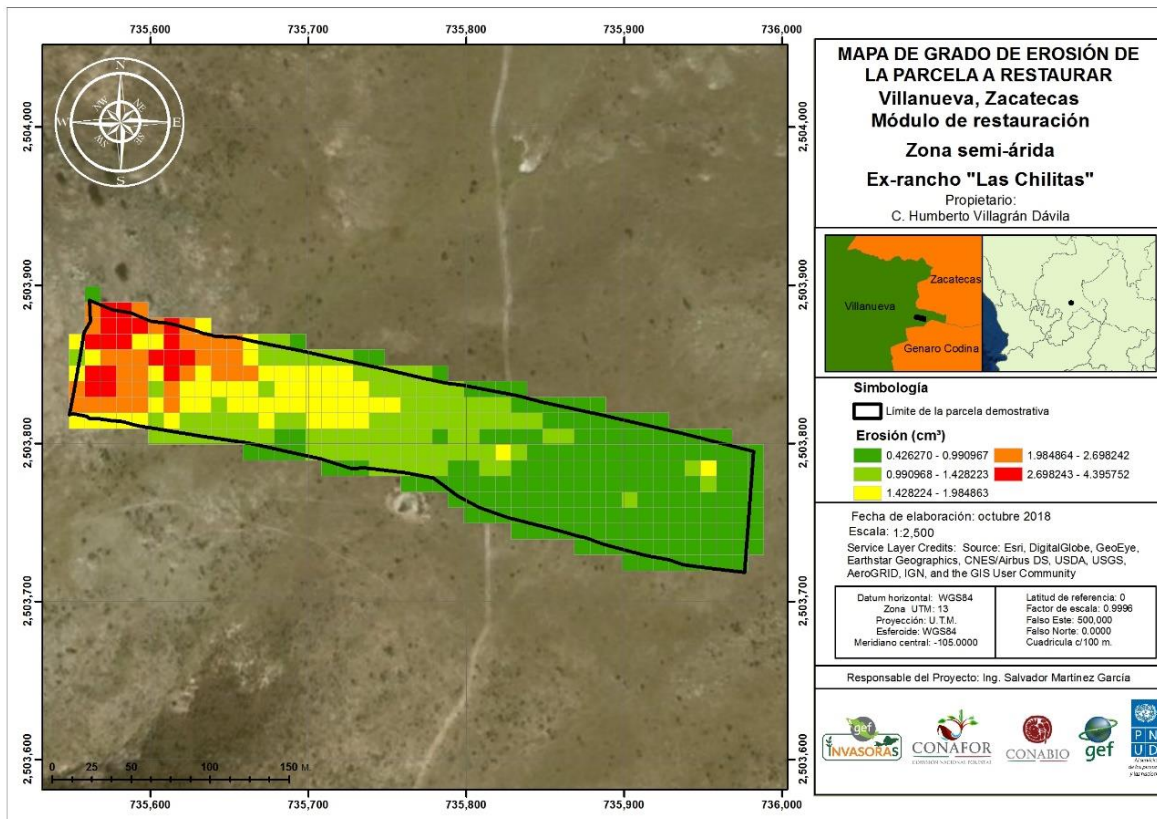


Ilustración 16. Grado de erosión en la parcela demostrativa de la región semiárido.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

Un concepto que va ligado a lo anterior es el grado de fragmentación, el cual CONABIO (s.f) menciona que se origina por una transformación en el paisaje ya sea por cambio de uso de suelo para la agricultura, ganadería, construcción de carreteras, desarrollo urbano, etc., dicho proceso ocasiona modificaciones en los procesos ecológicos afectando la flora, fauna, suelo y agua.

El módulo semi-árido presenta un grado de fragmentación ligero (Ilustración 17), sin embargo, por el grado de erosión en el mapa anterior, fue necesario establecer obras de conservación de suelo, ya que la pendiente y la ausencia de vegetación ha ocasionado un arrastre de sedimentos que ha formado cárcavas de tamaño considerable, razón por lo cual se implementaron las obras descritas en la siguiente sección.

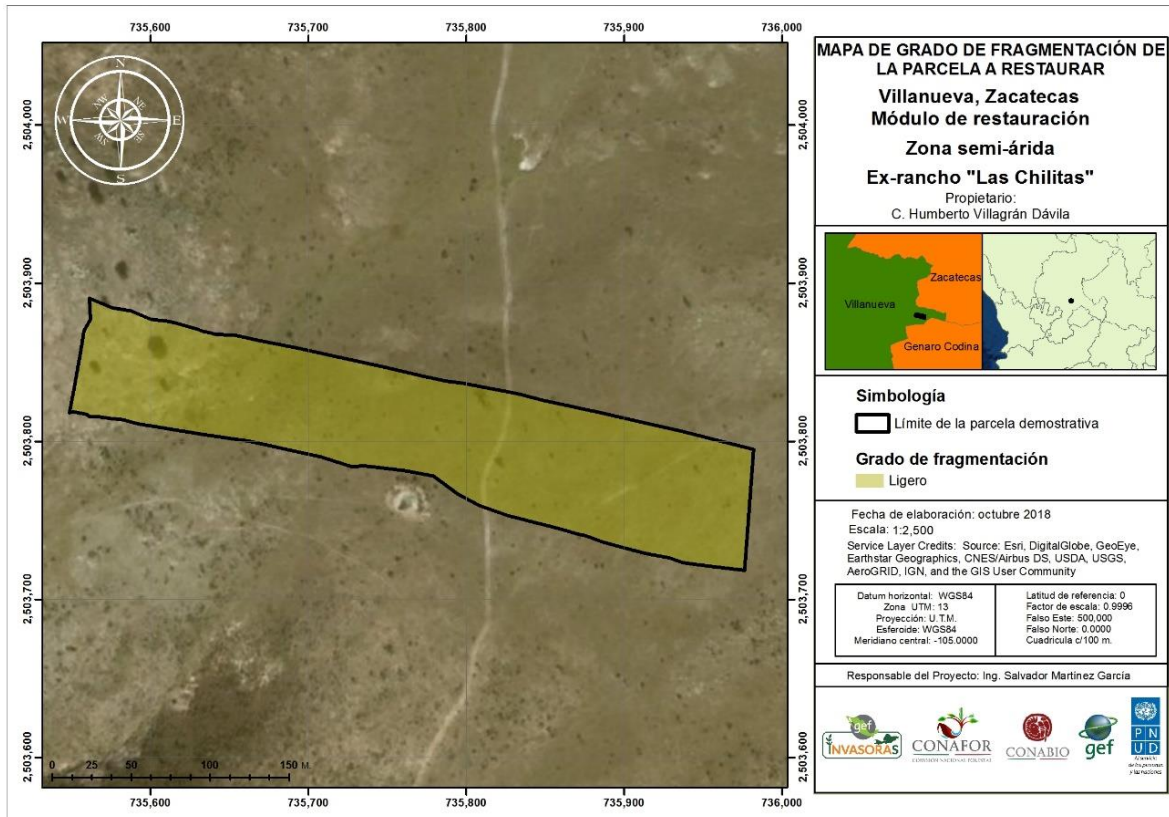


Ilustración 17. Grado de fragmentación en la parcela demostrativa.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

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 de Simpson

VIP= Valor asignado al índice de prioridad

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

$$IPR = \left(\frac{1}{3}(12) + \frac{1}{3}(9) + \frac{1}{3}(8) + 2 + 4 + 0 + 3\right)$$

$$IPR = 4 + 3 + 2.67 + 9$$

$$IPR = 18.67$$

Los resultados del cálculo indicaron que el índice de prioridad de restauración para el módulo semiárido corresponde al Nivel 1, es decir de mayor prioridad.

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.

El componente IPR diseñado con el propósito se asignar un mayor puntaje a los predios que se encuentran en las partes altas de la cuenca, o bien en la ladera siempre y cuando la parte alta se encuentre protegida (Tabla 10).

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

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 10. 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

Aplicando la fórmula a la parcela propuesta se puede observar que esta se encuentra en la parte alta de la cuenca, por lo que con base a la Tabla 10 se le asignó un valor de 3=UPC, mientras que el valor de $\theta i=4$. Este valor indica que la parte superior de la cuenca donde se ubica la parcela, no se encuentra protegida (Tabla 10), de tal manera que si se sustituyen los valores en la formula queda de la forma siguiente:

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

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

El dato que se obtiene es 12, el cual es considerado como un valor alto, pues representa que el predio en cuestión, por su ubicación dentro de la cuenca y por tratarse que tiene cierto grado de pendiente, debe intervenir mediante acciones o actividades de restauración, esto con la finalidad de fomentar los servicios ecosistémicos, principalmente el agua.

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

Para fines del presente proyecto se consideró la metodología de Vanegas (2016), donde se determinó el porcentaje de la cobertura vegetal por estratos, el primero estrato en ecosistemas de zonas áridas representa a los individuos menores de 3 m de altura, el segundo estrato a los individuos entre 3 y 9 m y el tercer estrato representa a los individuos mayores de 10 m; de esa forma se realizó un levantamiento de sitios donde los resultados indican que el Estrato I cubre entre el 31 al 60%, mientras que el Estrato II cubre del 0 al 30%, con ausencia del Estrato III.



Imagen 11. Clasificación de la vegetación por estratos.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

6.2.2.1 Evaluación de la estructura vertical del predio

Basado en el cuadro (Tabla 11) elaborado por Vanegas (2016) quien integra los criterios para calificar la condición de la estructura vertical del predio potencial para efectuar actividades de reforestación.

Tabla 11. 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

Ecosistema	Estrato I	Estrato II	Estrato III
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
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

Tomando en consideración los valores de la Tabla 11 se tiene que λ_j es el ponderador de los estratos encontrados, en este caso se obtuvieron dos estratos por lo que este valor se torna de la siguiente forma $\lambda_1=1.5$ y $\lambda_2=1$; V_{vj} =puntaje obtenido en los diferentes estratos, como se muestra a continuación: $V_{v1}=4$ y $V_{v2}=1$.

Ahora bien, sustituyendo los valores en la fórmula anterior queda de la siguiente forma:

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

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

$$IEV = 9$$

El rango de este índice va de 3 a 12, para la parcela de clima semiárido el valor es de 9, este valor entre mayor sea indica que la diversidad entre los estratos es baja o no existe, el análisis del índice vertical ayudará para la elección de las especies que sean tolerantes o no al sol, pues es aquí donde se pueden observar los estratos que se encuentran en un determinado lugar. Para este caso en específico se deberán utilizar especies que sean altamente tolerantes al sol.

6.2.2.2 Evaluación de la estructura horizontal del predio

La evaluación de la estructura horizontal servirá para poder determinar qué tan denso, en cuanto a vegetación, es la parcela con la que se está trabajando, de tal manera que este dato ayude a determinar dos aspectos importantes en una reforestación, el primero que tan degradado se encuentra un sitio determinado, y en segundo plano indicará el espaciamiento que deberá tener la reforestación que se pretenda realizar. Este valor es similar al anterior, visto desde otra perspectiva.

Para el cálculo de este índice se propone emplear la tabla 12.

Tabla 12. 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 %

El cálculo del índice de estructura horizontal utiliza la siguiente fórmula:

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

Dónde:

IEH= Índice de estructura horizontal

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

Ahora bien, en la parcela de clima semiárido se encontraron dos estratos: herbáceo y arbustivo, por lo que la calificación obtenida en los estratos quedaría de la siguiente forma: $Ce_1=0$, $Ce_2=4$, $Ce_3=4$, de tal manera que si sustituimos los valores en la fórmula obtendremos los siguientes resultados:

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

$$IEH = 0 + 4 + 4$$

$$IEH = 8$$

El rango de este índice es de 0 a 12, donde 8 indica que el lugar se encuentra casi o totalmente desprovisto de vegetación arbórea, encontrándose solamente algunas arbustivas y en su mayor parte herbáceas o pastizales.

6.2.2.3 Índice de diversidad de Simpson

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

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

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=1

n1=1

P1=1/1=1

Sustituyendo en la fórmula los valores

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

$$S = 1 - 1 = 0$$

S=0 indica que existe una mínima abundancia de la especie que se encontró, dado que sólo fue un individuo. Ahora bien, con base a lo anterior Vanegas (2016) propone la siguiente tabla para determinar el valor de prioridad de reforestación.

Tabla 13. 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

El valor que se le asigna para el concepto de prioridad de reforestación es de 2, pues es un valor de cero estimado para el índice de Simpson y la especie dominante no es representativa de la comunidad clímax del ecosistema ni es una especie clave.

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:

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

$$IE = 5/(10 + 40) * 100$$

$$IE = 0.1 * 100 = 10$$

Los resultados mayores a nueve son suelos estructuralmente estables, siendo que los suelos con un valor de 5 o inferiores indican suelos degradados.

Debido a la importancia del recurso suelo en la conservación de ecosistemas, en el índice de prioridad de restauración se asigna un puntaje mayor en la valoración general, con relación a la puntuación otorgada a los componentes analizados e incluidos en el índice general. Para esta valoración se utilizará la Tabla 14, donde identificamos el índice de Pieri como >9, por lo que se le asigna un valor de 4, obteniendo como resultado un suelo estructuralmente estable, debido esto posiblemente al desarrollo y descomposición de herbáceas, así como de microorganismos en el sitio, en virtud que en la presencia de especies arbóreas es casi nulo.

Tabla 14. 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

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, por lo que se utiliza la siguiente fórmula:

$$IS = VaPasi * \alpha_i$$

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 15:

Tabla 15. 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
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	

En específico, la parcela no tuvo ataque por plagas y/o enfermedades, ni presencia de plantas parásitas, sin embargo, en los recorridos del área relicto se encontraron algunas afectaciones como las que se muestran en la Imagen 2.

Por ellos los valores determinados de acuerdo con la Tabla 15 son:

VaPasi= 0

$\alpha_i=0$

$$IS = 0 * 0$$

Por lo que el valor del IS=0, lo que indica que se tiene un predio sin afectación de plagas y enfermedades y sin tratamiento alguno.



Imagen 12. Agente causal (en la imagen de la izquierda podemos apreciar una *Tillandsia recurvata* y en la imagen de la derecha alguna plaga y/o enfermedad, cuyos síntomas se ven reflejados en las hojas) encontrado en área relicto en Zacatecas. Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

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 16, asignando un valor (depende del tipo de suelo) para el índice de prioridad de restauración.

Tabla 16. 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
Tala clandestina o extracción de no maderables sin autorización legal	1.5
Agricultura	1.5
Ganadería	1.5
Minería	1.5

Uso de suelo	Ponderador (μ)
Sin uso por degradación	1.5

Posteriormente se aplica la siguiente formula 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 ganadería, 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 que las 3 hectáreas de superficie que abarca el polígono les corresponde 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 17).

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

$$ISAA = 3.0 - 3.0$$

$$ISAA = 0$$

Tabla 17. 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
ISSA $<$ 0	1	Menor prioridad de reforestación

Por lo tanto, el valor asignado es de 0, lo que no indica que este predio tiene una mayor prioridad de reforestación, y se le asignará un puntaje de 3, con base a la Tabla 17.

7 Metodología de restauración del sitio

De acuerdo con Cardoza *et al.* (2007), la importancia de realizar trabajos con enfoque en la cuenca radica en la posibilidad de evaluar los efectos de las diferentes actividades como: erosión, sedimentación, escurrimientos e infiltración. Dichas obras se determinan de acuerdo con las condiciones del terreno, tipo de clima, disponibilidad de material (como material vegetal muerto, piedra, etc.), también se debe considerar la cantidad y velocidad de escurrimientos.

Vanegas (2016), menciona los siguientes puntos a considerar antes de definir el tipo de obras para el sitio degradado:

- Es necesario recorrer todo el terreno degradado para visualizar las condiciones del terreno y la disponibilidad del material que podría emplearse a favor de las obras.
- Considerar el comportamiento de los escurrimientos a partir de la precipitación promedio, mínima y máxima.
- Identificar la vegetación nativa para considerar esas especies en las actividades de reforestación.
- Seleccionar las obras que puedan adaptarse y ser más funcionales en el sitio.

A continuación, se presenta la Tabla 18 con la clasificación de las obras de conservación.

Tabla 18. Tipos de obras.

Fuente: Cardoza *et al.* (2007).

Control de erosión en cárcavas	Obras en taludes	Control de erosión laminar		
		Terrazas	Zanjas	Prácticas vegetativas
Presa de malla de alambre electrosoldada o ciclónica	Cabeceo de cárcavas	Terrazas de muro vivo	Zanjas trincheras	Cortina rompevientos
Presa de morillos	Estabilización de taludes	Terrazas de formación sucesiva	Sistema de zanja bordo	Enriquecimiento de acahuales
Presa de ramas	Protección de caminos	Terrazas individuales	Zanjas derivadoras de escorrentía	Sistemas agroforestales
Presa de piedra acomodada	Conservación de caminos	Barrera de piedra en curvas a nivel	Bordos en curvas a nivel	Acomodo de material vegetal muerto
Presa de geocostales			Roturación	
Presa de llantas				
Presa de mampostería				
Presa de gaviones				

Por lo descrito anteriormente, se definieron las siguientes obras de rehabilitación, protección, restauración y mejoramiento de suelos, que se realizaron en el módulo semi-árido para la recuperación del sitio. En el anexo 2 se muestran los costos de las actividades mencionadas.

7.1 Obras para la rehabilitación, restauración y mejoramiento de suelos

En este apartado se describen las actividades desarrolladas en el módulo región semiárida, con las cuales se pretende mejorar la estructura del suelo, su capacidad de retención e infiltración y de igual forma ayudar en la conservación de sus propiedades químicas

Es importante mencionar que las obras de conservación de suelo se realizaron considerando las condiciones actuales del sitio, así como la información del Manual de la CONAFOR 2018, en donde se describen las características que debe tener el terreno y los materiales para poder establecer cada obra. Lo anterior se realizó debido a que en el Manual de mejores

prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias de Vanegas (2016), el autor solo con hace mención de las obras de manera general, sugiriendo el apoyo en el manual de la CONAFOR.

7.1.1 Roturación

La roturación de suelo o subsoleo consiste en la fragmentación del suelo en franjas, de la primera capa endurecida, generalmente se necesita de maquinaria especializada para poder realizar esta actividad, sin embargo, los tractores agrícolas pueden cumplir la misma función siempre y cuando se cuente con los implementos adecuados como lo son el ripper o un subsoleador (Imagen 13).



Imagen 13. Implemento agrícola denominando subsoleador para la roturación de suelo.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

Durante esta actividad se consideraron las recomendaciones de CONAFOR (2013):

- Cuando la maquinaria genere terrones grandes, deben ser desintegrados de manera manual para permitir un mejor desarrollo en la plantación.
- Para suelos que presenten poca fertilidad, se debe considerar la incorporación de algún elemento como abono, de preferencia orgánico para favorecer el crecimiento.
- Si en el área llegaron a existir materiales muy duros o algún conjunto de vegetación, se debe evitar pasar la maquinaria y continuar librando el espacio.

- Toda la maquinaria o herramienta utilizada debe ser lavada y limpiada después de cada uso para evitar la propagación por semilla, propágalos o fragmentos de especies exóticas invasoras de un área a otra.

Esta actividad está encaminada a facilitar la plantación de especies y la recuperación de la cobertura vegetal, es por ello por lo que solo se requiere de la labor en franjas sobre curvas de nivel (Imagen 14), las cuales son planeadas de acuerdo con la densidad de plantación que se desea. En este caso las franjas se hicieron cada 3 m (Imagen 15) para posteriormente tener una densidad de 722 plantas por hectárea (distancia entre plantas de 4 metros), siendo un total de 1,986 plantas en una superficie de 2.75 hectáreas destinadas a la reforestación (Imagen 16).

Esta actividad se realizó en un día (13 de agosto del 2018) con dos jornales, una de ellas marcando las líneas a curvas de nivel y la otra operando el tractor. Es importante mencionar que esta actividad requirió más tiempo de lo planeado, debido a que el suelo no tenía la humedad suficiente que permitiera tanto el adecuado subsoleo como la profundidad.



Imagen 14. Tractor agrícola abriendo líneas de subsoleo.
Fuente: toma propia SMG, 2018.



**Imagen 15. Subsoleo a tres metros de distancia entre línea y línea.
Fuente: toma propia SMG, 2018.**



**Imagen 16. Conclusión de subsoleo a curvas de nivel a cada 3 metros.
Fuente: toma propia SMG, 2018.**

Es importante mencionar que, de acuerdo con el perfil de suelo realizado dentro del predio (Imagen 17), se presentan suelos poco profundos, por lo cual la roturación se realizó a una profundidad de 0.40 m.



Imagen 17. Profundidad del suelo en el módulo región semiárido.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

Para los meses de octubre-noviembre se llevó a cabo una visita a la parcela de Zacatecas, en donde se observaron resultados a corto plazo (Imagen 18-19) como el aumento de retención de humedad lo que ayudó a la propagación de herbáceas.



Imagen 18. Condición actual del subsoleo en la región semiárida.

Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 19. Presencia de pasto en los canales del subsuelo.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

7.1.2 Cabeceo de cárcavas

Es el proceso en el cual se realizan labores en la parte inicial de la cárcava para evitar su crecimiento en longitud, así como prevenir el proceso de erosión. Esta actividad consiste en cubrir la parte inicial de la cárcava para amortiguar los escurrimientos con material como: piedras, cemento o material vegetal muerto (Imagen 20).



Imagen 20. Cabeceo de cárcavas con piedra en el módulo semiárido.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

Antes de comenzar estas actividades es necesario contar con los datos de la pendiente o grado de inclinación del talud, la profundidad de la cárcava y el tipo de suelo para determinar las medidas perimetrales de la cárcava, así como la inclinación más adecuada del talud. Posteriormente se lleva a cabo el despalme de manera manual, continuando con el recubrimiento de la cárcava.

Debido al estado en el que se encontró el módulo región semiárida se realizaron tres obras de este tipo; las medidas de cada cárcava se señalan en las siguientes tablas 19-20-21, por consecuente se recomendó el recubrimiento de las cárcavas con piedra:

Tabla 19. Primera cárcava: datos dasométricas.
Fuente: datos obtenidos en campo.

Cárcava 1			
Transecto	Longitud	Ancho (m)	Profundidad (cm)
0	0.0	0.50	0.38
1	1.8	1.40	0.20
2	4.0	4.60	0.10

Tabla 20. Segunda cárcava: datos dasométricas.
Fuente: datos obtenidos de campo.

Cárcava 2			
Transecto	Longitud	Ancho (m)	Profundidad (cm)
0	0.00	1.36	0.37
1	2.47	3.91	0.20
2	6.20	5.50	0.08

Tabla 21. Tercera Cárcava: datos dasométricas.
Fuente: datos obtenidos en campo.

Cárcava 3			
Transecto	Longitud	Ancho (m)	Profundidad (cm)
0	0.00	1.60	0.27
1	1.96	3.10	0.16
2	4.40	3.70	0.10

La CONAFOR (2013) recomienda prolongar el recubrimiento en la parte del fondo de la cárcava un tercio de la longitud del talud despalmado para amortiguar la caída directa de la corriente de agua sobre el suelo (Imagen 21-22).



Imagen 21. Proceso para la estructuración de cabeceo de cárcavas.
Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 22. Avance de recubrimiento de una cárcava con piedra.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

El cabeceo de cárcavas se realizó con cuatro jornales, las cuales se coordinaron para acarrear piedra y colocarla como se muestra en la imagen anterior. Esta actividad se ejecutó y concluyó en 5 días (10-15 de agosto del 2018).

Al realizar una visita en los meses de octubre-noviembre, se ha logrado ver algunos cambios en la obra, como es la aparición de herbáceas, lo que indica que la obra está teniendo un buen funcionamiento en la retención de suelo y humedad, además de propiciar el crecimiento de vegetación primaria (Imagen 23-24-25).



Imagen 23. Antes (izquierda) y después (derecha) de la cárcava ubicada en la parte alta de la parcela.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

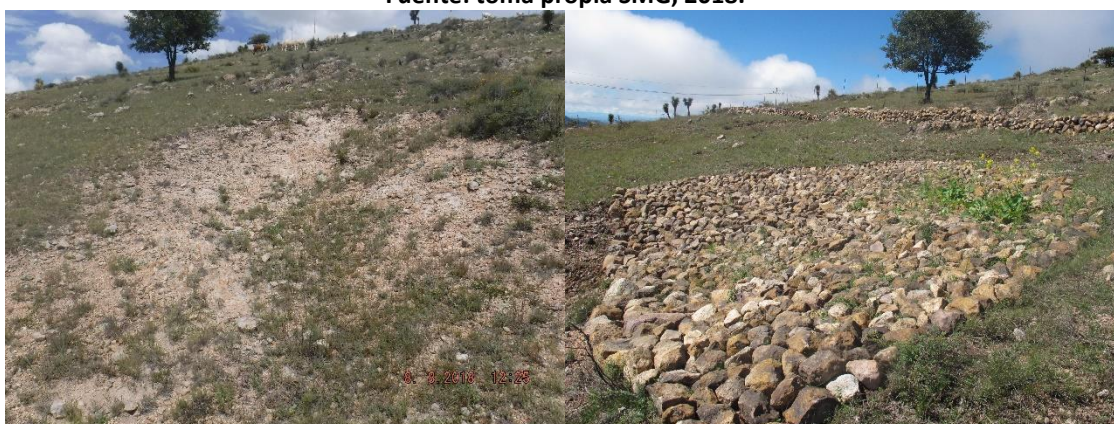


Imagen 24. Antes (izquierda) y después (derecha) de la segunda cárcava ubicada en la parte media de la parcela con pendiente pronunciada.
Fuente: toma propia SMG, 2018.



Imagen 25. Antes (izquierda) y después (derecha) de la tercera cárcava, ubicada en la parte baja.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

7.1.3 Barreras vivas

Las barreras vivas o cercos vivos son una opción para la restauración del suelo en las zonas áridas y semiáridas, que se pueden elaborar en suelos poco profundos y compactados. La obra consiste en la colocación de plantas en hileras sobre curvas de nivel para evitar el paso de escurrimientos y sedimentos, estas especies deben ser plantadas con alta densidad y el acomodo de ellas depende de sus características. La función general de dicha obra es disminuir la degradación del suelo al reducir la velocidad de esorrentía y ayudar a la infiltración (Bravo *et al.*, 2001).

Las especies para la barrera viva pueden variar, pero es conveniente utilizar especies nativas de fácil establecimiento y propagación que logren de forma natural restaurar las áreas degradadas y tener un aprovechamiento a futuro. Para el caso del módulo región semiárida se establecieron cladodios de nopal, debido a que en la región se presenta una cantidad elevada de individuos del género *Opuntia* que se han propagado de manera natural.

Para llevar a cabo la obra se hizo la recolección de los cladodios en la cercanía del predio, se cosecharon aproximadamente 1,000 unidades (Imagen 26) para cubrir una superficie de 200 metros.



Imagen 26. Transporte de cladodios del género *Opuntia* sp, para el establecimiento de barrera viva.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

Posteriormente en el área propuesta se marcaron cuatro líneas a curvas de nivel de barrera viva con las unidades recolectadas, estas líneas tienen una longitud de 50 m. Cada cladodio se estableció con una distancia entre ellas de 20 cm aproximadamente a una profundidad entre 10 y 15 cm (Imagen 27).



Imagen 27. Establecimiento de nopal en líneas, con una separación de 20 cm entre líneas.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

La presente actividad requirió de 4 jornales dispersas en la recolección, transporte y colocación de cladodios. Dicha obra requirió de 3 días de trabajo para concluirse (10-14 de agosto del 2018).

Durante la visita que se llevó a cabo a la parcela (en los meses octubre-noviembre) se encontraron individuos de nopal en estado de putrefacción (los cuales se retiraron para ser sustituidos posteriormente), debido a que se establecieron durante la temporada de lluvias (Imagen 28).



Imagen 28. Condición actual de la barrera viva.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

7.1.4 Barreras de piedra

Son un tipo de barreras muertas que también son conocidas como muros de piedra, acomodados a curvas de nivel con la finalidad de retener suelo en zonas con erosión laminar y disminuir la velocidad de los escurrimientos, reteniendo los nutrientes del suelo. Una de las ventajas de esta obra es el aprovechamiento de las piedras presentes en el terreno, lo que favorece y libera espacio para las demás actividades dentro del área.

De acuerdo con la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA, 2011) el muro de piedra se establece en pendientes entre 5 y 60% con dimensiones en altura de 50 cm y un ancho de 30 cm, sin embargo, cuando se hacen de tipo cimiento las dimensiones cambian, teniendo una profundidad de 10 cm por cada 50 cm de altura. CONAFOR (2013) menciona

que las dimensiones deben ser de 40 cm de alto y de 30 a 40 cm de ancho (varía de acuerdo con el material).

Esta obra se realizó en la parte alta del terreno donde presenta mayor daño ocasionado por los escurrimientos debido a la pendiente. Se elaboraron 3 líneas de piedra acomodada separadas cada 15 m, con dimensiones de 40 cm de ancho por 40 cm de altura para cubrir una superficie de 166 metros (Imagen 29-30). Se necesitaron dos jornales para realizarla en cuatro días (10-14 de agosto del 2018).



**Imagen 29. Estado actual de la barrera de piedra.
Fuente: toma propia SMG, 2018.**



Imagen 30. Establecimiento de líneas de piedra acomodada.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

La evaluación de esta obra para comprobar si cumple el objetivo que tiene (retención del suelo), se deberá realizar en un largo plazo, ya que su funcionamiento se puede observar de manera gradual, lo que indica que si se evalúa inmediatamente su funcionalidad será casi nula. En el 2014, la CONAFOR realizó un monitoreo en el cual evaluó las obras de conservación de suelo, estos datos fueron obtenidos de obras que llevaban más de un año de establecidas (Tabla 22), y en donde se puede ver que las barreras de piedra tienen el 72% de cumplimiento con su objetivo.

Tabla 22. Porcentaje de cumplimiento por obra de conservación de suelo.

Fuente: CONAFOR, 2014.

Tipo de obra	% de cumplimiento de obra
Acomodo de material vegetal muerto	69.5
Barrera de piedra	72.0
Bordo a curvas de nivel	85.0
Roturación	98.0
Zanja – bordo	51.6
Terrazas de formación sucesiva	46.2
Terrazas de muro vivo	83.9
Zanjas trincheras	92.0

En el mapa de la Ilustración 22 es posible apreciar la distribución de las obras de conservación de suelo en la parcela demostrativa.

7.2 Obras de protección

Una de las principales actividades económicas dentro de la zona como se muestra en la Imagen 31, es la ganadería extensiva, razón por la cual se contempla el cercado sobre periferia del módulo, así como la realización de brechas corta fuego para el caso de llegarse a presentar una conflagración (Imagen 32).



Imagen 31. Ganado bovino en los alrededores del módulo propuesto.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

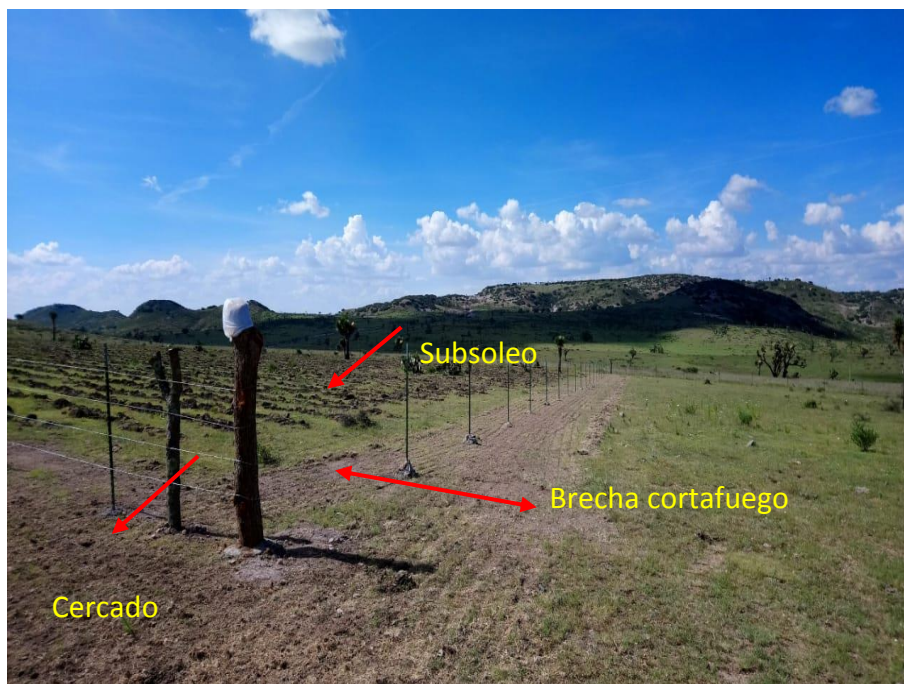


Imagen 32. Obras de protección ya concluidas para el módulo semiárido.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

7.2.1 Cercado

El cercado con alambre de púas se caracteriza por su rigidez, la cual deriva de la corta distancia entre postes y el uso de grapas, tubos o ángulos metálicos. Para el caso del módulo de la región semiárida se propuso cercado en la periferia, con postes metálicos de 1.8 m de alto, a una distancia de 4 m entre postes, además de una base de cemento para cada poste, esto para obtener firmeza y un mejor soporte.

Los postes se colocaron con una altura de 1.4 m desde la superficie del suelo con cuatro hilos de alambre de púas de calibre intercalado de 12.5 y 15 (Imagen 33). Para el caso de los quiebres que se tuvieron en el cercado se colocaron vigas de madera, los cuales dan una mayor resistencia y soporte en el momento de la tensión de los hilos de alambres.

Esta obra de protección fue la primera en realizarse ya que los postes al ser metálicos deben quedar estables antes de colocar los hilos de alambre de púas; para esta actividad se requirió de 6 jornales, cuatro de ellos haciendo los orificios en suelo y los otros dos realizando la mezcla y colocando los postes metálicos, en total se requirieron 5 días para poder concluir la actividad, la cual se realizó a partir del 08 al 13 de agosto del 2018.



Imagen 33. Cercado colocado para protección del módulo región semiárida.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

Para que el cercado tenga un buen funcionamiento se consideraron los siguientes aspectos:

- La primera actividad realizada, fue el diseño de una línea guía sobre la cual se establecieron los postes y la limpieza manual del área a trabajar (Ilustración 20).
- Para la colocación de los postes se consideró una profundidad de 40 cm, con la finalidad de que tuviesen un mejor anclaje. Dependiendo del material del que están hechos los postes, se puede considerar colocar una base de concreto, esto con la finalidad de dar mayor estabilidad. Para este caso en específico, los postes se colocaron con una base de concreto y piedras (Ilustración 21).
- Los diferentes tamaños de los animales que pudieran afectar la reforestación determinan el espaciamiento entre hilos, quedando con el siguiente arreglo: el primer hilo de alambre a 20 cm del suelo y los demás se colocan a una separación de 40 cm entre ellos.



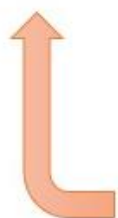
Marcaje de la línea del cercado



Colocación de postes metalicos



Colocación de durmientes



Excavación para colocar postes metálicos



Ilustración 18. Proceso para establecimiento de postes metálicos.

Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

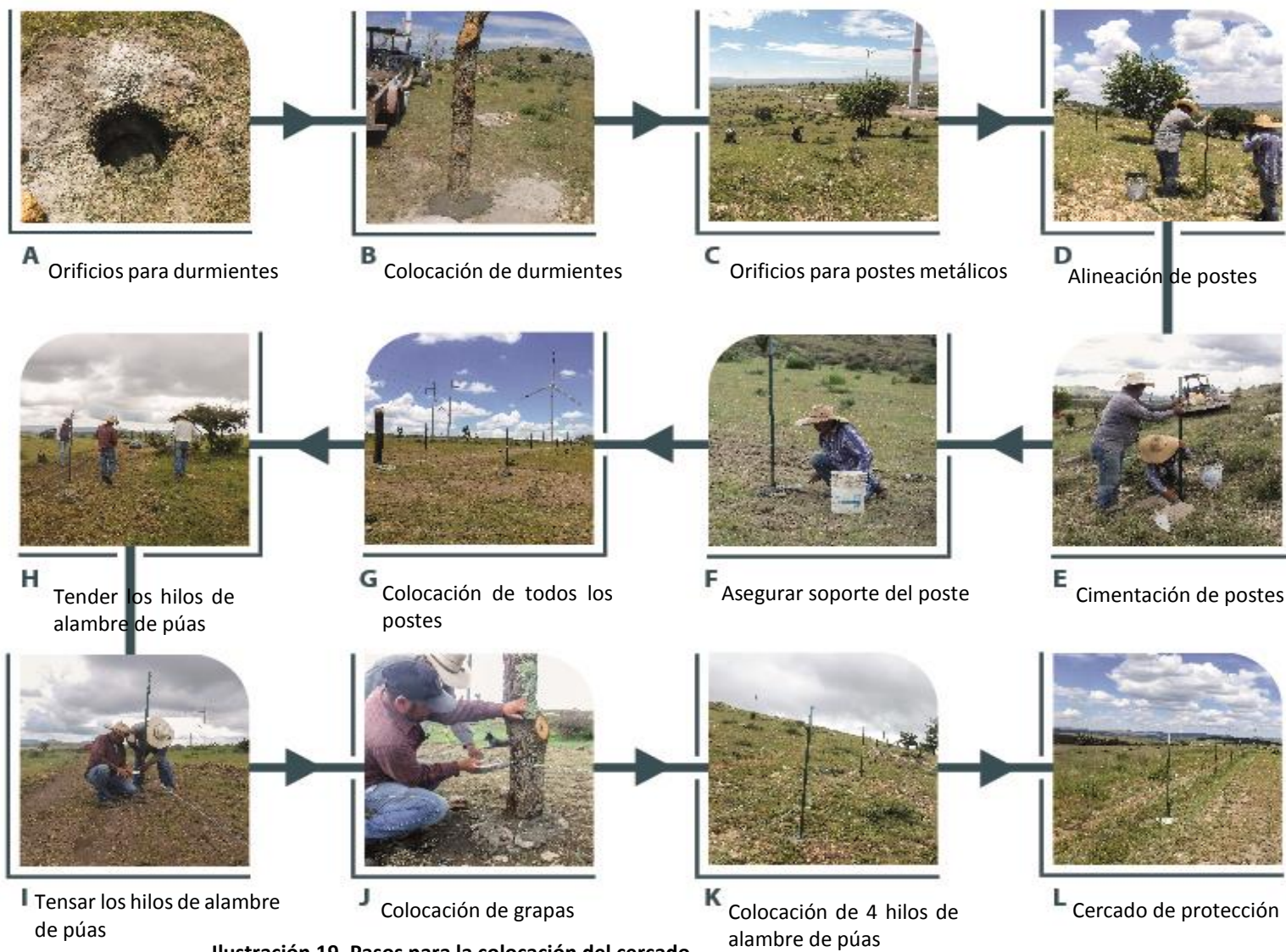


Ilustración 19. Pasos para la colocación del cercado.
Fuente: elaboración propia SMG,2018.

7.2.2 Brechas cortafuego

La apertura de brechas cortafuego es una medida que sirve para prevención y combate de incendios. Esta obra consiste en trazar líneas de tres a cuatro metros de ancho, dentro de la superficie reforestada, distribuyéndolas de manera estratégica, debe permanecer libre de materiales inflamables (Imagen 34) con el objetivo de evitar un incendio o romper la continuidad del fuego si es que llegara a presentarse.



Imagen 34. Apertura de brecha cortafuego con un ancho de tres metros.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

En el caso del módulo región semiárida, se realizó 1.1 kilómetros de brecha cortafuego distribuidos en toda la parcela, con un ancho de 3 metros como se muestra en la Imagen 35.



Imagen 35. Vista aérea del establecimiento de brechas cortafuego en el perímetro del módulo.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

Es importante mencionar que esta obra se realizó en agosto, es decir a mitad del periodo de lluvias, lo que provocó un crecimiento más rápido de las herbáceas y pastos al mover un poco el suelo en la periferia, tal como se muestra en la siguiente imagen, por lo que se tuvo que dar un mantenimiento para cumplir su función (Imagen 36).



Imagen 36. Mantenimiento de brechas cortafuego.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

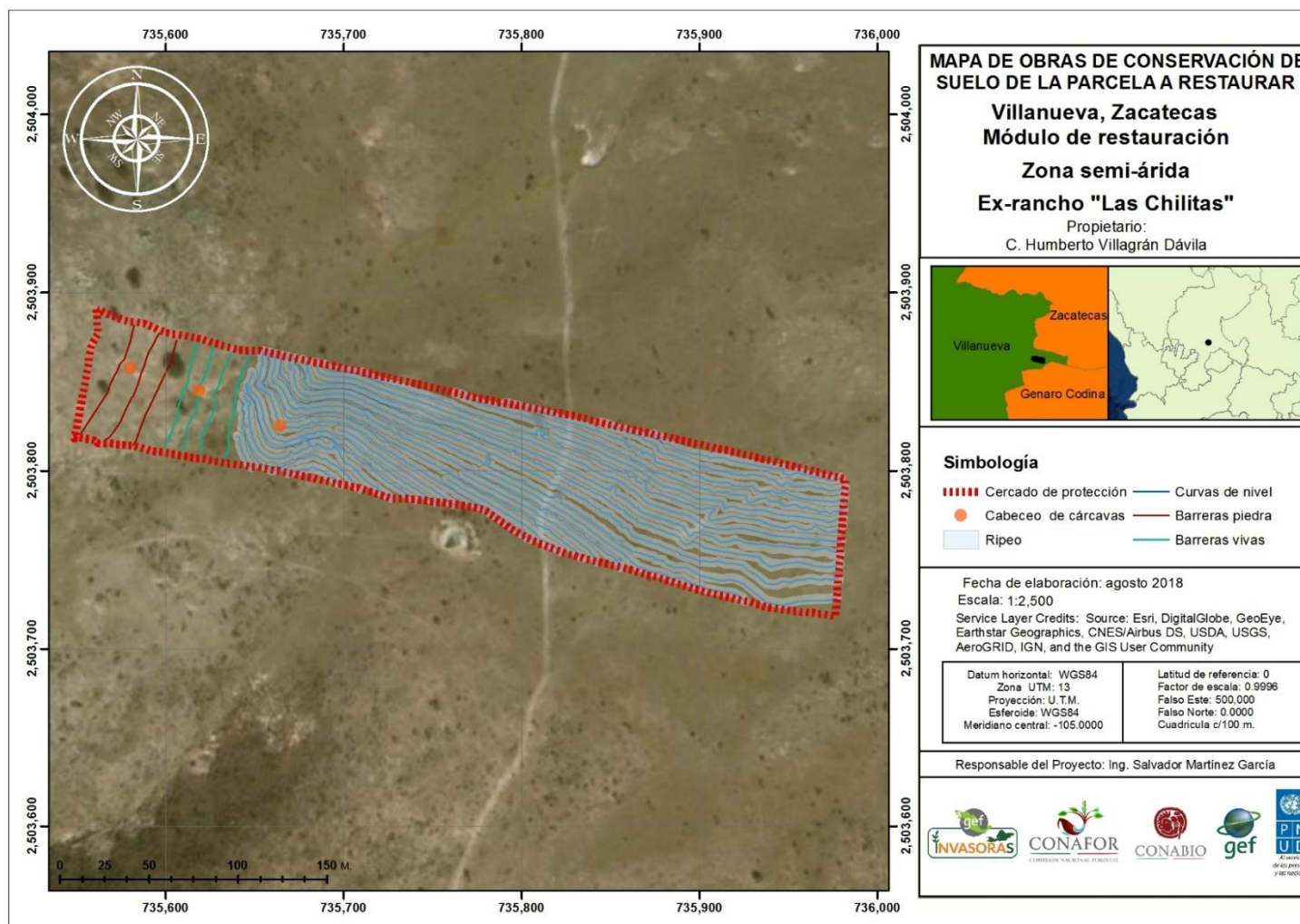


Ilustración 20. Distribución de las obras de conservación de suelo en el módulo semiárido.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.



Imagen 37. Estado anterior (izquierda) y actual (derecha) de la parcela demostrativa.

Fuente: toma propia SMG, 2018.

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

Arriaga *et al.* (1994) mencionan que, los resultados de las reforestaciones a nivel nacional indican el notorio comportamiento de las plantas al ser especies nativas, desarrollándose mejor y teniendo una sobrevivencia más alta. Estos autores hacen hincapié en utilizar especies adecuadas a las condiciones ambientales para asegurar el éxito de la reforestación, además de despertar el interés de la comunidad al obtener algún beneficio de esta actividad.

De igual forma Arriaga *et al.* (1994) mencionan que en México es muy común que la reforestación se realice en terrenos que han sido muy degradados a causa de las actividades agropecuarias que no han tenido un buen manejo a lo largo del tiempo y han ocasionado una textura inadecuada y poca profundidad de suelo, por lo que se incluye la posibilidad de combinar la reforestación con obras de conservación de suelo que ayuden a mejorar las condiciones del terreno.

En la elección de especies es preferente seleccionar las que se encuentran en sitios donde hay presencia de vegetación secundaria arbórea, puesto que estas especies son las que han mostrado resistencia, mayor crecimiento y se han adaptado a las condiciones ambientales actuales, además de presentar beneficios para la sociedad (forrajeras, leñosas, frutales).

Considerando los criterios anteriores y la tabla 23 donde se especifican las principales especies forestales utilizadas para reforestación en los diferentes tipos de clima.

Tabla 23. Especies forestales utilizadas para reforestación en los diferentes tipos de clima.
Fuente: UACH-CONAFOR (2015).

Especie	Grupo climático	Especie	Grupo climático	Especie	Grupo climático
<i>Abies religiosa</i>	Templado	<i>Pinus teocote</i>	Templado	<i>Pithecellobium dulce</i>	Tropical
<i>Alnus acuminata</i>	Templado	<i>Quercus arizonica</i>	Templado	<i>Sabal yapa</i>	Tropical
<i>Arbutus glandulosa</i>	Templado	<i>Quercus eduardi</i>	Templado	<i>Schizolobium parahyba</i>	Tropical
<i>Arbutus xalapensis</i>	Templado	<i>Quercus laurina</i>	Templado	<i>Swietenia humilis</i>	Tropical
<i>Cupressus forbesii</i>	Templado	<i>Quercus macrophylla</i>	Templado	<i>Swietenia macrophylla</i>	Tropical
<i>Cupressus lindleyi</i>	Templado	<i>Quercus potosina</i>	Templado	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	Tropical
<i>Dodonaea viscosa</i>	Templado	<i>Quercus resinosa</i>	Templado	<i>Tabebuia palmeri</i>	Tropical
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Templado	<i>Quercus rugosa</i>	Templado	<i>Tabebuia rosea</i>	Tropical
<i>Fraxinus uhdei</i>	Templado	<i>Quercus virginiana</i>	Templado	<i>Taxodium mucronatum</i>	Tropical
<i>Fraxinus velutina</i>	Templado	<i>Quercus xalapensis</i>	Templado	<i>Tecoma stans</i>	Tropical
<i>Juniperus deppeana</i>	Templado	<i>Acacia guatemalensis</i>	Tropical	<i>Thevetia peruviana</i>	Tropical
<i>Juniperus flaccida</i>	Templado	<i>Albizzia plurijuga</i>	Tropical	<i>Acacia farnesiana</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus arizonica</i>	Templado	<i>Brosimum alicastrum</i>	Tropical	<i>Acacia pennatula</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus ayacahuite</i>	Templado	<i>Bursera linaloe</i>	Tropical	<i>Agave angustifolia</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus chiapensis</i>	Templado	<i>Caesalpinia platyloba</i>	Tropical	<i>Agave Americana</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus devoniana</i>	Templado	<i>Cedrela odorata</i>	Tropical	<i>Agave atrovirens</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus douglasiana</i>	Templado	<i>Ceiba pentandra</i>	Tropical	<i>Agave cupreata</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus durangensis</i>	Templado	<i>Cordia alliodora</i>	Tropical	<i>Agave potatorum</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus engelmannii</i>	Templado	<i>Cordia dodecandra</i>	Tropical	<i>Agave salmiana</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus greggii</i>	Templado	<i>Cordia sebestena</i>	Tropical	<i>Capsicum annum</i>	Árido-Semiárido

Especie	Grupo climático	Especie	Grupo climático	Especie	Grupo climático
<i>Pinus jeffreyi</i>	Templado	<i>Crescentia cujete</i>	Tropical	<i>Ebanopsis ebano</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus lawsoni</i>	Templado	<i>Cyrtocarpa procera</i>	Tropical	<i>Pinus cembroides</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus leiophylla</i>	Templado	<i>Ehretia tinifolia</i>	Tropical	<i>Pinus maximartinezii</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus maximinoi</i>	Templado	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Tropical	<i>Piscidia piscipula</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus montezumae</i>	Templado	<i>Gliricidia sepium</i>	Tropical	<i>Prosopis glandulosa</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus oaxacana</i>	Templado	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Tropical	<i>Prosopis leavigata</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus oocarpa</i>	Templado	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	Tropical	<i>Rhus ovata</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus patula</i>	Templado	<i>Leucaena esculenta</i>	Tropical	<i>Washingtonia robusta</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Templado	<i>Leucaena leucocephala</i>	Tropical	<i>Yuca filifera</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>oaxacana</i>	Templado	<i>Lonchocarpus longistylus</i>	Tropical	<i>Yucca schidigera</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus quadrifolia</i>	Templado	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	Tropical		
<i>Pinus rudis</i>	Templado	<i>Lysiloma divaricata</i>	Tropical		

Antes de seleccionar la especie con la cual reforestar, es necesario considerar los requerimientos específicos de la misma. Dicho lo anterior y considerando la Tabla 23 y 24 se determinó *Acacia farnesiana* y *Pinus cembroides* como las especies adecuadas para el sitio a restaurar.

Tabla 24. Características específicas por especie.
Fuente: elaboración propia.

Características de la especie	<i>Acacia farnesiana</i>	<i>Pinus cembroides</i>
Origen	América tropical, naturalizada en todo el mundo tropical y en el Mediterráneo	Nativa de México
Altitud mínima (msnm)	0	400
Altitud máxima (msnm)	2,500	3,750
Temperatura mínima (°C)	13	-7
Temperatura máxima (°C)	28.5	42
Precipitación mínima (mm)	200	365

Características de la especie	<i>Acacia farnesiana</i>	<i>Pinus cembroides</i>
Precipitación máxima (mm)	1,500	800
Grupo climático	Árido-Semiárido	Árido-Semiárido
Tipo de suelo	Regosol, Leptosol, Fluvisol	Leptosol, Regosol, Pheozems y Gipsisol
Profundidad del suelo	Somero a profundo	Somero a profundo
Textura	Franco-arcilloso, franco-arenoso, arcilloso, arenoso	Areno-arcilloso, migajón-arenoso
Materia orgánica	Moderado a rico	Pobres a moderados
Asociación vegetal	Selva baja caducifolia, matorral xerófilo	Bosque de coníferas, bosque de latifoliadas
Usos	Artesanal, cosméticos, dendroenergético, forraje, industria	Construcción, dendroenergético, industrial

8.1 *Pinus cembroides* (Pino piñonero)

Árbol perennifolio, de 5 a 10 m (hasta 15 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de 30 cm (hasta 70 cm). Sus conos son subglobosos de 5 a 6 cm de ancho, presentan un color café-anaranjado o rojizo cuando el cono madura (CONABIO, 2009).

Considerando la ficha técnica de CONABIO (2009) esta especie es nativa de México y con alta distribución, en 19 estados principalmente al norte y centro de la República Mexicana. Se desarrolla en laderas de cerros y lomeríos, pendientes secas y rocosas con altitudes entre los 1,350 a 2,800 msnm y con precipitaciones anuales que van de los 365 a 450 mm (soportando los 800 mm). En cuanto a los requerimientos de temperatura su promedio es de 18 °C pero presenta un rango desde los 7 °C hasta los 40 °C (esta especie llega a soportar temperaturas mínimas de -7 °C y máximas de 45 °C).

Su propagación puede ser mediante cortes de tallo, estacas, cultivo de tejidos, semilla (plántulas) y regeneración natural (CONABIO, 2009).

De acuerdo con Gaytan (2001) esta especie es una de las utilizadas con mayor frecuencia para la reforestación, ya que presenta características que lo hacen tolerante a la sequía, aparte de que sus semillas son comestibles y su madera al ser dura se ha utilizado para construcción en los últimos años.



Imagen 38. *Pinus cembroides* (INyDES-JCM296)- Árbol completo.
Fuente: Árboles del Inventario Nacional Forestal 2013.

8.2 *Acacia farnesiana* (Huizache)

Arbusto o árbol pequeño, perennifolio o subcaducifolio, de 3 a 7 m y hasta 8 m de altura, con diámetros que pueden llegar a los 40 cm (CONAFOR, 2010b).

Es originaria de América tropical. Naturalizada en todo el mundo tropical y en el Mediterráneo. Se cultiva en Argelia y sur de Francia, principalmente en la región de Grasse. Se extiende del sur de Estados Unidos, pasando por México y Centroamérica hasta Argentina y Chile. También a lo largo de las Antillas, desde Bahamas y Cuba hasta Trinidad y Tobago, Curazao y Aruba; se ha naturalizado en los trópicos del Viejo Mundo.

Tiene una alta distribución en México ya que se encuentra presente en 28 estados, por sus requerimientos ambientales puede ubicarse desde los 36 a 1,500 (2,500) msnm, desarrollándose a la orilla de arroyos, parcelas, caminos y acahuales. Requiere de una precipitación anual de al menos 900 mm y temperaturas que van de 5 a 30 °C. Esta especie puede propagarse por estacas y/o por semilla (CONABIO, 2009).

La razón por la que se eligió esta especie en las actividades de reforestación radica en que presenta propiedades ideales para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos

debido a su asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno; también es una especie que tiene la capacidad de adaptarse a suelos pobres por lo que se considera útil para la estabilización de suelos degradados, siendo funcional para el control de la erosión (CONAFOR, 2010b)



Imagen 39. *Acacia farnesiana* (AMAREF-RRL56)-Árbol completo.
Fuente: Árboles del Inventario Nacional Forestal 2013.

9 Metodología de reproducción de las especies nativas que se emplearán

9.1 Producción de especies nativas en vivero

Arriaga *et al.* (1994) menciona que a través de las evaluaciones sobre las reforestaciones los resultados son desfavorables, lo cual deduce que debe existir un cambio en los procedimientos. El utilizar especies adecuadas a las condiciones del sitio que se pretende restaurar, asegura un mayor éxito en esta actividad y puede despertar el interés de los pobladores al reforestar con especies que a futuro tengan un beneficio económico para ellos.

De acuerdo con Meza, *et al.* (2009), para que las actividades de reforestación sean exitosas es necesario definir el objetivo de esta y seleccionar los sitios para llevar a cabo dicha actividad; posteriormente se requiere seleccionar las especies a establecer y describir las etapas de ejecución como son: colecta de semilla, producción de planta, preparación del sitio, establecimiento de la plantación, protección, mantenimiento y evaluación.

La CONAFOR (2010b) menciona que *Pinus cembroides* requiere de tratamientos pregerminativos, por lo que recomienda poner a estratificar en frío las semillas durante 30 días, o aplicar escarificación mecánica y posteriormente remojar las semillas en agua por 24 horas.

Los resultados del porcentaje de germinación de su semilla varían de 60 a 99%, lo cual se logra en un periodo de 17 días en promedio. De acuerdo con la ficha técnica de la especie, la siembra puede realizarse directamente en envases individuales, en camas de crecimiento o por almácigo. Cuando la siembra es directa se sugiere poner dos o tres semillas por envase, con una profundidad de siembra de 1 cm. Por otro lado, cuando el cultivo parte de almácigos el repique a los envases se realiza cuando las plántulas alcanzan 3 o 4 cm de altura y tenga la “cabeza de cerillo”.

Para *Acacia farnesiana* la CONAFOR (2010b) menciona tres tratamientos pregerminativos para la semilla, el primero es por abrasión mecánica que consisten en frotar las semillas sobre una lija de esmeril, siendo cuidadoso para no lesionar al embrión; la segunda opción es el calor húmedo, que consisten en sumergir las semillas en agua hirviendo durante 10 a 20 min; la última opción es por abrasión química, que consiste en sumergir las semillas en ácido sulfúrico concentrado durante una hora.

De los métodos descritos el que presenta un mayor porcentaje de germinación es la abrasión mecánica (90% a 98%), seguido de la abrasión química (65% a 70%), siendo el calor húmedo el método con mejor porcentaje de germinación (40 a 60%). Considerando la información de la ficha técnica de la especie, el tiempo necesario para que se inicie la germinación a partir de la siembra es entre 7 y 9 días, pero para finalizar el proceso de emergencia es de 12 a 15 días.

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 bueno y buena capacidad de retención de humedad. Para la producción de *Pinus cembroides* y *Acacia farnesiana* en el vivero seleccionado se utiliza el peat moss y la corteza compostada como sustrato.

9.2 Características generales de la planta

Aguilar *et al.* (2009) define la calidad de planta como la capacidad que tienen los individuos para adaptarse y desarrollarse en las condiciones que presenta el sitio. La

calidad de planta considera distintas características tanto morfológicas como fisiológicas. Estas características se describen a continuación:

Diámetro del cuello: Esta característica define la robustez del tallo y está asociado con el vigor y sobrevivencia. Para el caso de las 2 especies seleccionadas se requiere de un diámetro de cuello de 4 mm.

Altura de la planta: se recomienda que la planta debe tener entre 15 y 20 cm de alto para competir con la vegetación arbustiva que lo rodea. La altura puede variar de acuerdo con la especie, pero es indispensable que presente una altura mínima de 15 cm. Es por ello por lo que para *Pinus cembroides* se requiere la planta con una altura de 20 cm, mientras que para *Acacia farnesiana* se requiere una altura de 25 cm.

Relación altura-diámetro: Se ha considerado como un indicador de resistencia de la planta a la desecación por viento. En específico de las especies electas se determinó una relación entre 0.25 a 0.30.

Sistema radical: La raíz principal debe ser recta, con raíces secundarias fibrosas, con la finalidad de obtener una buena absorción de agua y nutrientes para favorecer el crecimiento. El sistema radicular de las especies debe estar entre 70 y 80%.

Estado sanitario: Las plantas utilizadas para las actividades de reforestación deben evitar tener heridas, plagas o enfermedades, para favorecer el desarrollo y sobrevivencia en campo.

Vigor: Esta característica se refiere a la apariencia física de la planta, el color del follaje debe ser uniforme, con tonalidades intensas, deben estar sanas, robustas y con la yema apical formada.

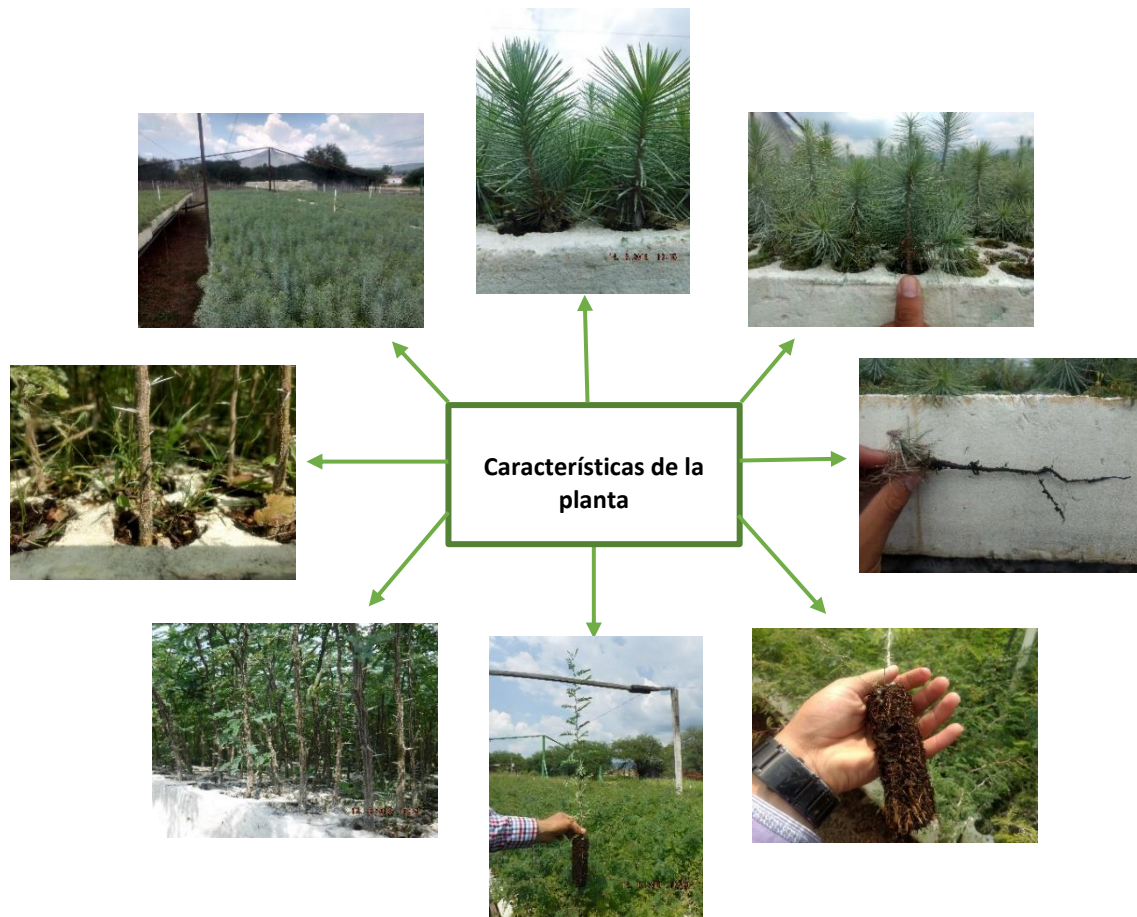


Ilustración 21. Características de la planta.
Fuente: elaboración propia SMG, 2018.

10 Aspectos importantes

10.1 Vegetación nativa

La sucesión ecológica es un proceso de cambio en los ecosistemas que tiene lugar en el tiempo; consiste en la sustitución de comunidades de especies, de manera que a través del tiempo las interacciones entre especies, aumentan la variabilidad (Flores, 2015). Por la importancia de esta sucesión ecológica en el módulo semi-árido se implementó realizar las actividades de roturación respetando la vegetación presente con la finalidad de conservar las especies que se han desarrollado y evitar dejar descubierto el suelo (Imagen 40), posteriormente cuando se realicen las actividades de reforestación la variabilidad de sitio aumenta y el riesgo de pérdida por plagas y enfermedades de una cierta especie pueden no afectar a otras.



Imagen 40. Vegetación actual presente en la parcela demostrativa.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

Dentro de la vegetación presente es posible apreciar algunas especies nativas como: mezquite (*Prosopis laevigata*), yucas (*Yucca filifera*), cuatro diferentes especies de nopal (*Opuntia* sp.), uña de gato (*Mimosa texana*), encino (*Quercus* sp.), entre otras especies arbustivas y herbáceas (Imagen 41).





Imagen 41. Especies presente en el sitio a restaurar. A: *Quercus eduardii*; B: *Yucca filifera*; C: *Dasyilirion cedrosanum*; D: *Opuntia leucotricha*; E: *Opuntia rastrera*; F: *Prosopis laevigata*; G: *Mammillaria* sp.; H: *Echinocereus enneacanthus*; I: *Mammillaria wagneriana*; J: *Agave* sp.; K: *Stenocactus dichroacanthus*. Fuente: toma propia SMG, 2018.

Durante los recorridos en campo, la ejecución de las obras y la evaluación de estas, se pudieron observar distintas especies de fauna dentro de la parcela (Imagen 42). Aguilar (2000) menciona que la fragmentación de la vegetación tiene como consecuencia la reducción del hábitat de las especies ya sea insectos, aves o mamíferos; ante esta situación es importante conservar la poca vegetación de la zona.



Imagen 42. Fauna presente en el módulo semiárido. A: *Buteo jamaicensis* (aguililla cola roja); B: *Kinosternon integrum* (tortuga pecho quebrado); C: *Phrynosoma orbiculare* (calameón de montaña); D: *Thamnophis cyrtopsis* (culebra lineada del bosque); E: *Sceloporus torquatus* (lagartija espinosa de collar). Fuente: toma propia SMG, 2018.

10.2 Producción de las especies propuestas

Las fechas que maneja el proyecto para la producción de la planta es complicado para el tipo de especies propuesta para el módulo semi-árido, pues para *Acacia farnesiana* CONAFOR (2010b) señala que la temporada para la recolección de la semilla (frutos) es durante los meses de febrero a mayo, preferentemente en la segunda quincena de febrero. Es por ello por lo que para fines del presente proyecto se requirió la compra de semilla certificada para comenzar la producción a principios de año.

Por otro lado, los ciclos de producción de *Pinus cembroides* requiere 16 meses en vivero para cubrir las características adecuadas para su establecimiento en campo. La CONAFOR (2010b) maneja que la maduración de frutos para esta especie es de noviembre a diciembre, razón por la cual también se requirió la compra de la semilla certificada para la producción, pues los tiempos que se manejan en el proyecto difieren del tiempo requerido para la especie.

10.3 Obras

10.3.1 Rippeo

La realización de actividades de conservación de suelo no deberá afectar la vegetación presente en los diferentes módulos propuestos (Imagen 43), es recomendable que las actividades propuestas para las áreas degradadas eviten eliminar la vegetación presente ya que esa misma contribuye a una mayor cantidad de retención de agua y sedimentos; de igual forma favorece la variedad de especies que posteriormente estarán en interacción con las establecidas en la reforestación, de manera que el suelo no se quede desprotegido.



Imagen 43. Actividades de subsoleo a curvas de nivel.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

10.3.2 Barrera viva

Como se ha mencionado anteriormente, las barreras vivas impiden que los flujos de agua de escorrentía ocasionen daños erosivos en el área, se deberán implementar especies con crecimiento denso, en este caso se realizó con nopal, sin embargo, se debe mencionar que los tiempos en que realizó la obra no son los adecuados.

De acuerdo con la Fundación Produce Sinaloa A. C. (2012), las plantaciones o establecimientos de nopal no se recomiendan en la época de lluvias ya que al aumentar la humedad y los cambios de temperatura ocasionan las condiciones favorables para el desarrollo de hongos y bacterias, los cuales penetran a través de las heridas durante el transporte (principalmente) ocasionando pudriciones, dañando el material vegetativo. Lo anterior descrito fue lo que paso en el módulo semiárido, la época de plantación no fue la adecuada por lo que la barrera viva de nopal comenzó a tener modificaciones vegetativas como la pudrición, quedando aproximadamente un 60% de la población que se estableció inicialmente (Imagen 44).



Imagen 44. Estado actual de la barrera viva.
Fuente: toma propia SMG, 2018.

La Fundación Produce Sinaloa A. C. (2012), recomienda que para las zonas comprendidas en el centro y norte del país donde se presentan precipitaciones menores, las plantaciones de nopal deben establecerse en los meses de marzo o abril (después de la última helada a finales de febrero y principios de marzo).

Algunas especies como el *Agave potatorum* (maguey mezcalero), *Agave salmiana* (maguey pulquero), el *Agave tequilana* (maguey tequilero) y el maguey forrajero, también son utilizadas en obras de barrera viva, a pesar de poder establecerse durante todo el año. Calderón *et al.* (2016) recomienda el establecimiento antes del periodo de lluvias.

11 Recomendaciones

En la propuesta de obras de conservación de suelo se deberán tener en consideración las siguientes características: la duración de las estaciones, el tipo de suelo, ubicación fisiográfica, estas como características principales para la determinación de obras en general, ahora bien, en la ejecución de las obras que se propusieron se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Cercado: es una de las obras que deberán implementarse desde el inicio del proyecto, esta es considerada como obra de protección, por ello es importante que sea realizada antes de que la temporada de lluvias se establezca pues su finalidad es la protección contra animales de porte mayor.
- Brechas cortafuego: para la ejecución de esta, se recomienda tener conocimiento pleno de la temporada de sequía 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: en las zonas áridas es altamente recomendable, por las condiciones de compactación en las que se encuentra el suelo, es por ello por lo que se sugiere que se realice esta obra después de tener de dos a tres días de lluvia seguidos.
- Cabeceo de cárcavas: deberá llevarse 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.
- Barreras vivas: estas se realizaron con individuos del género *Opuntia*, por lo que se recomienda que la realización de esta obra se lleve a cabo antes o una vez pasando la temporada de lluvias, ya que, por las características del género, en caso de tener un alto nivel de humedad se corre el riesgo de que se pudran.
- Barreras de piedra: estas al igual que el cabeceo de cárcavas tiene por finalidad evitar la erosión, por lo que se recomienda que sea llevada a cabo antes de la temporada de lluvias, se deberá realizar a curvas de nivel para poder obtener mejores resultados.

12 Conclusiones

De acuerdo con las actividades realizadas y según el contrato para los Servicios de Contratista Individual IC-2018-006, se realizaron las diferentes obras durante la temporada de lluvias. Esta condición no resultó del todo efectiva para el presente trabajo, pues de acuerdo con los objetivos de las diferentes obras para la rehabilitación, restauración y mejoramiento de suelos, y tomando en cuenta el manual de CONAFOR, 2018, estas se deben realizar antes de que inicie la temporada de lluvias, pues su función es detener la erosión por escurrimientos y para algunos casos más específicos ayudan a la infiltración del agua, sin embargo se prevé que para 2019 su efectividad se vea reflejada en buenos resultados de sobrevivencia al momento de realizar las actividades de reforestación.

El “Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias” considera de manera muy específica y detallada como determinar si un área es prioritaria o no para restaurar, asimismo es una excelente herramienta que de manera práctica define paso a paso todo el proceso desde el levantamiento de información en la fase de campo, su procesamiento con base al tipo de vegetación y su ubicación geográfica en la elección de especies nativas aptas para el sitio a restaurar, de la misma manera y con base en la información registrada en campo se obtiene con precisión el índice de prioridad de reforestación. Sin embargo, para la determinación de diferentes acciones de rehabilitación, restauración y mejoramiento del suelo, así como en las medidas para protección, el manual en mención no proporciona suficiente información acerca de la metodología a seguir para su elección ni las condiciones requeridas, tampoco menciona las características técnicas de las diferentes obras que se requieren o proponen en el predio elegido.

Ante la situación mencionada en el párrafo anterior, se recurrió al manual de “Protección, restauración y conservación de suelos forestales” de la CONAFOR en sus diferentes versiones, en los cuales se describe de manera detallada cada una de las obras propuestas y las condiciones técnicas bajo las cuales se pueden implementar estas obras. Por lo tanto, el “Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias” puede ser de mucha utilidad siempre y cuando se aplique la metodología en los programas de restauración forestal, para lograr una mayor efectividad y éxito desde el momento que se eligen los predios a restaurar. De tal forma que los tomadores de decisiones pueden focalizar los apoyos a aquellos predios donde su índice de prioridad para restaurar corresponda a los más altos.

Finalmente se concluye que la elección de los sitios con mayor nivel de prioridad, junto con las especies idóneas y con la correcta ejecución de las obras propuestas durante el periodo de tiempo adecuado, se puede asegurar el éxito en los proyectos de restauración forestal.

13 Literatura consultada

- Aguilar, C., L. Arriaga & Martínez, E. 2000. Deforestación y fragmentación de ecosistemas: qué tan grave es el problema en México. COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO). Biodiversitas 30:7-11.
- 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.

- Alanís, R. E., Ávila, F. D. Y., González, T. M. A., Jiménez, P. J. & Rubio, C. E. A. 2014. Diversidad y distribución vertical de especies vegetales mediante el índice de Pretzsch. Ciencia UANL. Núm. 65. Pp. 34-41.
- Alcocer, S. M. I., Batis, M. A. I., Gual, D. M., Sánchez, D. C. & Vázquez Y. C. 2001. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Arriaga, M. V., Cervantes, G. V. & Vargas, M. A. 1994. Manual de reforestación con especies nativas: Colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. Primera edición. México, Distrito Federal.
- Barkman, J. J. 1979. The investigation of vegetation texture and structure. In: M. J. WERGER (Ed.). The study of vegetation: 123-160. Junk. The Hague-Boston.
- Bautista, Z., Delfín, G. H. & Palacio, P. J. L. 2004. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Instituto de Ecología-Instituto de Geografía UNAM-UAY. 507 p.
- Bello, A. S., Blas, S. R., Julca, O. A., & Meneses, F. L. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. Universidad Nacional Agraria La Molina. Vol. 24 No. 1. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009
- Besacier, C., McGuire, D. & Sabogal, C. 2015. Restauración de bosques y paisajes: conceptos, enfoques y desafíos que plantea su ejecución. Revista Internacional sobre bosques y actividades e industrias forestales. Unasylva. Vol. 66. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. ISSN 0251-1584.
- Bravo, E. M., Loaeza, R. G., & Ruiz, V. J. 2001. Cubiertas vegetales y barreras vivas: Tecnologías con Potencial para Reducir la Erosión en Oaxaca, México. Disponible en: <https://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/1/art89-95.pdf>
- Calderón, P. G., Fernández, R. D. S., González, G. M. N. & Martínez, M. M. R. 2016. Barreras vivas de nopal y maguey. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.
- Cano, M., González, M. R. & López, C. R. 2012. *Acacia farnesiana* (L) Willd. (Fabaceae: Leguminosae), una especie exótica con potencial invasivo en los bosques secos de la Isla de Providencia (Colombia). Biota Colombiana, vol. 13, núm. 2. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt" Bogotá, Colombia.
- Cardoza, V. R., Cuevas, F. L., García, C. J. S., Guerrero, H. J. A., González, O. J. C., Hernández, M. H., Lira, Q. M. L., Nieves, F. J. L., Tejeda, S. D. & Vázquez, M. C. M.

2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Tercera edición, segunda reimpresión. Jalisco, México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Cartas climática escala 1:1,000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- 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.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). S. f. Fragmentación. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/fragmentacion.html>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2009. Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores. Primera edición. Jalisco, México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2010a. Prácticas de reforestación. Manual básico. Primera edición. Zapopan, Jalisco.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2010b. Fichas técnicas. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/reforestacion/fichas-tecnicas>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. Programa de restauración forestal en cuencas hidrográficas prioritarias. Gerencia de suelos. Primera edición, Zapopan, Jalisco, México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2013. Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales Manual de Obras y Prácticas. 4ta Edición. Zapopan, Jalisco, México. 286 pp.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2014. Monitoreo de Restauración Forestal y Reconversión Productiva 2014. Universidad Autónoma Chapingo.
- Dracup, J.A.; Lee, K. S. & Paulson Jr, E. R. 1980. On the definition of Droughts. Water Resources Research 16(2): 297-302 p.
- Enríquez, C. E., Parra, G. M. A. & Ramírez, M. F. 2008. Manejo y control de poblaciones de chírahui y vinorama en el Estado de Sonora. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo experimental Costa de Hermosillo. Sonora, México.
- Flores, O. 2015. Sucesión ecológica: la “evolución” de los ecosistemas. Portal de biología en teoría. Filosofía natural de la vida. Disponible en: <https://bioteoria.wordpress.com/2015/10/18/ecological-succession/>
- FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA (FHIA). 2011. Guía sobre Prácticas de conservación de suelos / Proyecto Promoción de Sistemas Agroforestales de Alto Valor con Cacao en Honduras. 2ª Ed. La Lima, cortés 22 pp. ISBN: 978-99926-36-29-9.

- Fundación Produce Sinaloa A. C. 2012. El nopal: propiedades y paquete tecnológico para su producción. Memoria de capacitación, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Culiacán, Sinaloa, México.
- 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.
- García, F., Hill, M., Kaplán, A., Ponce de León, J. & Rucks, L. 2004. Propiedades físicas del suelo. Facultad de agronomía. Universidad de la República. Disponible en: <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Gaytan- Mota, D. M. 2001. Prueba de germinación de *Pinus cembroides* var. Zucc en ocho sustratos diferentes. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Conjunto de datos vectoriales del continuo nacional, efectos climáticos regionales. Carta F13-6 de Clima NAD27, Zacatecas. Escala 1:250,000. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2004. Guía para la interpretación de cartografía edafológica.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2006. Modelo digital de Elevación. Carta f13b67 de Topográfica ITRF92, Zacatecas. Escala 1: 50,000. Serie III. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2007. Conjunto de datos vectoriales edafológicos. Continuo Nacional. Carta F13-6, Zacatecas. Escala 1:250,000, Serie III. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2014. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Carta F13-6, Zacatecas. Escala 1:250, 000. Serie VI. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Panorama sociodemográfico de Zacatecas 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. México. ISBN 978-607-739-890-5.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Zacatecas 2017. México. 533p.
- López B. W. 2012. Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de recursos naturales. Campo Experimental Centro de Chiapas de INIFAP. Chiapas, México.
- Martínez, A. 2018. Vegetación del Estado de Zacatecas. Portal para todo México. Disponible en: <https://www.paratodomexico.com/estados-de-mexico/estado-zacatecas/vegetacion-zacatecas.html> (Consultado el 05-09-2018).
- Mccabe, G. J. & 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.

- 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.
- National Geographic. 2010. Causas del calentamiento global. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/causas-del-calentamiento-global>.
- Ordoñez, G. J. J. 2011. Cartilla técnica: Aguas subterráneas – Acuíferos. Editado por la Sociedad Geográfica de Lima. Primera edición en Lima, Perú.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2009. Guía para la descripción de suelo. Cuarta edición. Roma, Italia.
- Rivera, C. P. 2007. La problemática ambiental en Zacatecas. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Rivera C. P. & Vázquez G. L. B. 2014. Entre crecimiento poblacional y deterioro ambiental: El caso de Zacatecas, Guadalupe y Fresnillo. Ra Ximhal, vol 10, núm. 6, pp 33-43. Universidad Autónoma Indígena de México.
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., & Breoderson, W.D. (Editors). 2002. Field Book for describing and sampling soils, version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Secretaría de Economía. 2018. Información económica y estatal de Zacatecas. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/303885/zacatecas_2018_02.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 del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2008. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Edición 2008.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2018. Glosario de recursos forestales. Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_GLOS_R_FORESTA&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. American Geographical Society 38(1): 55-94.
- Thornthwaite, C.W. & Matter, J.R. 1957. Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. Climatology 10(3):185-311.
- Universidad Autónoma Chapingo (UACH) & Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2015) Monitoreo de restauración forestal y reconversión productiva. 2014. México: CONAFOR.

- Unidad de Investigación, Capacitación y Evaluación para el Desarrollo Rural de la Universidad Autónoma Chapingo (UNICEDER-UACH). Evaluación del programa nacional de reforestación. Estado de Zacatecas. PRONARE 2000-2001. Comisión Nacional Forestal.
- 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.
- Vázquez, S. G. 2015. Estudio de disponibilidad y balance hidráulico actualizado de aguas superficiales de las cuencas de los ríos Verde y Juchipila. Disponible en: <https://docplayer.es/34286502-2-caracteristicas-generales-de-las-cuencas-de-los-rios-verde-y-juchipila.html>
- World visión. 2004. Manual de Manejo de Cuenca. San Salvador: Visión mundial El Salvador.
- Zaldívar, E. C. 2008. Prevención y combate de incendios forestales. Disponible en: http://www.repsa.unam.mx/documentos/Zaldivar-Edding_2008_incendios.pdf

14 Anexos

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

Tabla 25. Factor de corrección "L" por latitud

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	10.5	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
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
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

GRADOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
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
46	0.79	0.8	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 semiárido).

Tabla 26. Costos de preparación del terreno y transporte de planta.

OBRA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO UNITARIO	CANTIDAD/ ha	SUPERFICIE (ha)	CANTIDAD TOTAL	MONTO (MN)	OBSERVACIÓN
Roturación	Cepa común con medida de 30 x 30 cm.	m	\$0.30	2,500	2.50	6,250.00 m	\$1,875.00	La roturación se realizó con tractor agrícola y en líneas a cada 4 m.
Barrera viva		m	\$8.00	667	0.30	200.10 m	\$1,600.80	Se realizó a mano, el surco tuvo por lo menos 0.1 m de profundidad por 0.15 m de ancho. Incluye la planta de <i>Opuntia</i> sp. y su establecimiento.
Barrera de piedra acomodada		m	\$19.40	667	0.25	166.8 m	\$3,235.00	Líneas continuas de piedra a curva de nivel con piedra acomodada a una altura de 0.40 m y un ancho de al menos 0.4 m con empotramiento al menos a 0.05 m. Contempla construcción, trazo y marcado de curvas de nivel.
Cabeceo de Cárcavas		m ²	\$127.00	N/A	3.00	69.0 m ²	\$8,763.00	
Subtotal							\$15,473.80	
Transporte de planta (<i>Opuntia</i> sp.)		planta	\$1.00	3,335	0.30	1,001 plantas	\$1,001.00	
Transporte de planta (<i>Pinus cembroides</i>)		planta	\$1.00	460	2.5	1,150 plantas	\$1,150.00	
Transporte de planta (<i>Acacia farnesiana</i>)		planta	\$1.00	460	2.5	1,150 plantas	\$1,150.00	
Subtotal							\$3,301.00	

OBRA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO UNITARIO	CANTIDAD/ ha	SUPERFICIE (ha)	CANTIDAD TOTAL	MONTO (MN)	OBSERVACIÓN
Brecha corta fuego		km	\$6,694.00	N/A	3.00	1.1 Km	\$7,363.40	Se realizó en la periferia del módulo.
Cercado con poste de metal		km	\$42,000.00	N/A	3.00	1.1 Km	\$46,200.00	Cercado con alambre de púas calibre 12, a 4 hilos.
Subtotal							\$53,563.40	
Total							\$72,337.40	

Tabla 27. Costo de compra de planta.

	Estado	Especie	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Observaciones
Compra de planta para el establecimiento.	Zacatecas	<i>Pinus cembroides</i>	1,150	\$3.50	\$4,025.00	
		<i>Acacia farmeciana</i>	1,150	\$3.00	\$3,450.00	
		<i>Opuntia spp.</i>	1,001	\$2.30		Se colectó en zonas aledañas
	Total				\$7,475.00	



Al servicio
de las personas
y las naciones