

2022

Análisis de las prácticas de conservación de suelos para la
evaluación de la erosión hídrica en la subcuenca Presa Jalpan

Jazmin Bailon Linares



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

**Análisis de las prácticas de conservación de suelos para la
evaluación de la erosión hídrica en la subcuenca Presa
Jalpan.**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Jazmin Bailon Linares

Dirigida por:

M. en G. Hugo Luna Soria

Querétaro, Qro. a 15 de diciembre de 2022



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

**Análisis de las prácticas de conservación de suelos
para la evaluación de la erosión hídrica en la
subcuenca Presa Jalpan.**

Tesis

*Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas*

Presenta:

Jazmin Bailon Linares

Dirigida por:

M. en G. Hugo Luna Soria

SINODALES

M. en G. Hugo Luna Soria
Presidente

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López
Secretario

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero
Vocal

Dra. Diana Patricia García Tello
Suplente

M. en C. Enrique Montoya Morado
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
15 de diciembre de 2022
México

Dedicatorias

He aquí, hago algo nuevo, ahora acontece: ¿no lo percibís? Aun en los desiertos haré camino y ríos en el yermo.

Isaías 43:19

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios quién ha guiado cada una de mis decisiones para llegar finalmente hasta esta etapa de mi vida, donde cada esfuerzo ha rendido frutos.

Especialmente a tí Jazmín Bailón Linares, por tu dedicación y entrega, porque a pesar de las adversidades a las que te enfrentaste durante tu formación no dejaste de creer en tí. Que este sea un recuerdo de tu capacidad.

A mi madre Hortensia Linares Hernández por ser mi motivación en cada proyecto de mi vida, su amor ha sido la mejor medicina para mi alma.

A mis hermanos/as que con su amor incondicional me han motivado y levantado en los momentos más difíciles de mi vida. Especialmente a mi hermana Anita Bailón Linares que me ha apoyado en todo momento, su cariño y el de sus hijos me confortan.

A mi compañero de vida, por tu amor, comprensión y apoyo. Llenas de felicidad cada día de mi vida.

A mis fieles amigos/as, por sus consejos, compañía y ánimos que me brindaron.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), a través de la Facultad de Ciencias Naturales y la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (MAGIC) por la formación académica de calidad que recibí.

Al H. Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca asignada, sin duda fue determinante para mi permanencia en la maestría.

Al M. en G. Hugo Luna Soria, quien creyó en mí y me apoyo en cada etapa de mi formación, en él no solo encontré a un asesor, sino a un amigo y un mentor que tendrá mi admiración y respeto por siempre. Más allá de la disciplina que forja en sus estudiantes, sabe transmitir sus conocimientos de una forma tan clara y sencilla que el aprendizaje es tan placentero.

Al Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López, por su entusiasmo, experiencia y sabiduría, fue un pilar para no perder el rumbo de mi proyecto. Así también por su increíble capacidad de enseñanza y dedicación en cada duda que se me presentó. Su ánimo me acompañó en todo momento.

Al Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero, claro ejemplo de la pasión por la docencia, que con tanta humanidad, experiencia y sabiduría me guió paso a paso en mi investigación. Apreció enormemente el tiempo en sus revisiones y acertadas aportaciones.

Le agradezco a la Dra. Diana Patricia García Tello, por su valiosa ayuda, amabilidad y paciencia; por sus recomendaciones en el aspecto social, un verdadero reto para mí y que sin duda marcarán un parteaguas en mi formación académica.

Al M. en C. Enrique Montoya Morado, por sus valiosas observaciones y aportaciones, las cuales me sirvieron para reflexionar y enriquecer mi trabajo.

A la Mtra. Alba Aurora Díaz Pereira y Blanca Ramírez Labastida, por sus enseñanzas en el Laboratorio de Agua y Suelos de la Facultad de Ciencias Naturales durante el tratamiento de mis muestras de suelo, así como por sus sabios consejos de vida.

Al resto de mis profesores dentro del programa de la maestría, por compartir su experiencia y conocimiento.

Agradezco a mi compañera de maestría y amiga Gabriela Moya Montes, no solo nos acompañamos durante las clases y prácticas, tuvimos la oportunidad de apoyarnos en la parte de campo para el desarrollo de nuestras tesis. Las aventuras que pasamos quedarán siempre en nuestras memorias. Sin duda su calidad de persona y dedicación son de admirar.

A mis compañeros de maestría, los que se quedaron en el camino y los que finalmente lograron llegar hasta el final, por el respeto que nos tuvimos y el gran equipo que formamos al momento de realizar trabajos grupales.

A mi madre Hortensia Linares Hernández, a mis hermanos (as) Anita, Mireya, Sandra, David y Dalindo, quienes son mi fortaleza.

Te agradezco Martín O. por tu compañía en mis noches de desvelo y los gestos de amor y cuidado.

A mis amigas Nayeli G. e Iveth G., que siempre tuvieron muestras de afecto y palabras para motivarme.

Agradezco al técnico operativo de conservación y manejo del ANP Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, al jefe de departamento de la Promotoría de desarrollo forestal Jalpan de Serra, al jefe de proyectos forestales del Grupo Ecológico Sierra Gorda I.A.P y al jefe del distrito de Desarrollo Rural Jalpan de Serra de la SADER, quienes me brindaron valiosa información para el desarrollo de mi tesis.

A mi querida Sierra Gorda, que se ha convertido en mi hogar, con su tranquilidad y paisajes sin igual fue difícil no enamorarme. Gracias por ser el mejor laboratorio natural que pude elegir para el desarrollo de mi tesis.

“Nuevamente te agradezco Dios mío, por este logro y por mi vida llena de bendiciones”.

ÍNDICE

Universidad Autónoma de Querétaro	2
1 INTRODUCCIÓN	3
2 MARCO CONCEPTUAL	8
2.1 Cuenca hidrográfica.....	8
2.2 El suelo como subsistema de la cuenca.....	10
2.3 Degradación de suelos	11
2.4 Erosión hídrica.....	12
2.4.1 Medición de la erosión hídrica	15
2.5 Conservación de suelos con enfoque de cuenca	17
3 ANTECEDENTES.....	21
3.1 Medición de la erosión hídrica	21
3.1.1 Antecedente internacional.....	21
3.1.2 Antecedente nacional	23
3.1.3 Antecedente local	24
3.2 Evaluación del efecto de las prácticas de conservación en la reducción de la erosión hídrica.....	25
3.2.1 Antecedente internacional.....	26
3.2.2 Antecedente nacional	28
3.2.3 Antecedente local	29
3.3 Políticas y programas para la conservación de suelos en México.....	30
4 ZONA DE ESTUDIO	34
4.1 Caracterización socioambiental de la zona de estudio	37
4.1.1 Morfometría de la cuenca.....	37
4.1.2 Zonas funcionales.....	39
4.1.3 Caracterización del medio físico.....	40
4.1.4 Caracterización del medio biótico	55
4.1.5 Caracterización socioeconómica	58
5 MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	63
5.1 Etapa 1. Análisis de las prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio.	

5.1.1	Recopilación de información.....	64
5.1.2	Verificación y caracterización de los sitios con prácticas de conservación de suelos. 64	
5.2	Etapa 2. Determinación del efecto de las prácticas de conservación en la erodabilidad del suelo.....	67
5.2.1	Delimitación de parcelas pareadas para la estimación de la erodabilidad	68
5.2.2	Obtención de las muestras de suelo	70
5.2.3	Determinación de textura	71
5.2.4	Determinación de la estructura.....	74
5.2.5	Determinación de materia orgánica.....	75
5.2.6	Determinación de la permeabilidad.....	76
5.3	Etapa 3. Estimación de la erosión hídrica e Identificación de áreas prioritarias para su manejo.	78
5.3.1	Estimación de la erosión hídrica actual y potencial.....	78
5.3.2	Identificación de zonas prioritarias para el manejo de la erosión	85
5.4	Etapa 4. Determinación del aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan.....	85
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	88
6.1	Análisis de los sitios con prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio	88
6.1.1	Las prácticas de conservación desde la perspectiva de los actores institucionales.....	88
6.1.2	Verificación de la condición actual de las prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio	107
6.2	Efecto de las prácticas de conservación de suelos en la erodabilidad del suelo.	121
6.2.1	Consideraciones finales del apartado.....	124
6.3	Estimación de la erosión hídrica e identificación de zonas prioritarias para su manejo.....	128
6.3.1	Factor R.....	128
6.3.2	Factor K.....	129
6.3.3	Factor LS.....	130
6.3.4	Factor C.....	131
6.3.5	Factor P	133

6.3.6	Erosión potencial y actual en la subcuenca Presa Jalpan	135
6.3.7	Áreas de atención prioritaria.....	139
6.4	Entrega de sedimentos en la subcuenca Presa Jalpan.....	144
6.4.1	Consideraciones finales del apartado.....	146
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES	150
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154
9	ANEXOS.....	168

RESUMEN

El suelo es un elemento fundamental para cualquier ecosistema, cumple funciones en el ciclo hidrológico, los ciclos biogeoquímicos y es el soporte de diversas actividades sociales. No obstante, se encuentra bajo una creciente presión y deterioro debido a los patrones insostenibles de producción y consumo. El presente trabajo tuvo por objetivo evaluar la erosión hídrica y el efecto de las prácticas de conservación de suelos en la subcuenca Presa Jalpan, ubicada entre los municipios de Pinal de Amoles y Jalpan de Serra, al norte del estado de Querétaro. El trabajo se desarrolló en cuatro etapas: 1) Análisis de las prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio, donde se recopiló información a través de entrevistas semiestructuradas y se verificaron en campo los sitios intervenidos; 2) Determinación del efecto de las prácticas de conservación en la erodabilidad del suelo, para ello se tomaron muestras de suelo y mediciones *in situ* en parcelas pareadas de 9 sitios; 3) Estimación de la erosión hídrica e Identificación de zonas prioritarias para su manejo, aplicando el modelo USLE de Wischmeier y Smith (1978) y Sistemas de Información Geográfica, y 4) Estimación del aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan, mediante la metodología de Avendaño *et al.* (1994). Como resultado se localizaron dentro de la subcuenca Presa Jalpan un total de 40 polígonos con prácticas de conservación de suelos distribuidos principalmente en la zona funcional alta. Se analizaron 22 sitios, con 7 tipos de prácticas: reforestaciones con pino-cedro, líneas de maguey, terrazas agrícolas, barreras de piedra acomodada, presas de piedra acomodada, presas de mampostería, cordones de ramas y combinaciones de las mismas. Las prácticas estructurales se encontraron deterioradas, más del 30 % de ellas requieren mantenimiento y el 20 % se encuentran colmatadas. Las prácticas vegetativas han tenido poco éxito, reflejado en la baja densidad y sobrevivencia de la planta. Respecto a las evaluaciones de erodabilidad, en 8 de los 9 sitios evaluados, la susceptibilidad a la erosión fue menor en las áreas con prácticas de conservación que en las áreas de control. Las barreras de piedra acomodada resultaron ser las prácticas más eficientes (99 %) mientras que las reforestaciones con pino-cedro alternadas con líneas de maguey fueron las de menor impacto en la conservación del suelo (5 %). La erosión actual calculada para la subcuenca fue de 463,313.303 ton/año, solamente se logra evitar una pérdida de 803. 141 ton de suelo al año con las prácticas de conservación. Las zonas con mayores tasas de erosión (áreas prioritarias) se localizaron principalmente en la zona funcional media. Aplicando el método de Avendaño *et al.* (1994), la subcuenca presa Jalpan tiene un aporte de sedimentos de 46,306.42 m³ anuales (degradación específica). Este volumen puede considerarse como el máximo que puede ser aportado a la presa Jalpan debido a que es el punto de salida de la subcuenca.

Palabras clave: erosión hídrica, aporte de sedimentos, conservación de suelo, subcuenca hidrográfica

ABSTRACT

Soil is an essential element for any ecosystem, it fulfills functions in the hydrological cycle, biogeochemical cycles and is part of different social activities. However, it is under increasing pressure and deterioration due to unsustainable production and consumption patterns. The objective of this study is to evaluate water erosion and the effect of soil conservation practices in the Jalpan dam subwatershed, located between the municipalities of Pinal de Amoles and Jalpan de Serra, Querétaro state north side. This study was developed in four stages: 1) Analysis of soil conservation practices in the study area, where information was collected through semi-structured interviews and field verification; 2) Determination of the effect of conservation practices on soil erodibility, in which, soil samples and in situ measurements were taken using paired plots in 9 sites; 3) Estimation of water erosion and identification of priority zones for its management, applying the USLE model of Wischmeier and Smith (1978) and Geographic Information Systems; and 4) Estimation of sediment contribution to the Jalpan dam, using the methodology of Avendaño *et al.* (1994). A total of 40 polygons with soil conservation practices were located within the Jalpan Dam subwatershed, distributed mainly on the upland zone. Seven types of practices were analyzed on twenty-two sites: pine-cedar reforestations, maguey lines, agricultural terraces, stone barriers, stone dams, masonry dams, branch cordons and combinations of these. Structural practices were found to be deteriorated, more than 30% of them require maintenance and 20% were clogged. Vegetative practices have had little success, reflected in the low plant density and survival. Within 8 of the 9 erodibility evaluations sites, the susceptibility to erosion was lower over the conservation practices than the control areas. The stone barriers were the most efficient practices (99 %) while pine-cedar reforestations alternating with maguey lines had the least impact on soil conservation (5 %). The calculated erosion for the subwatershed was 463,313.303 tons/year, and only 803.141 tons of soil loss per year can be avoided with conservation practices. The zones with the highest erosion rates (priority areas) were located mainly in the middle functional zone. Applying the method of Avendaño *et al.* (1994), the Jalpan dam subwatershed has an annual sediment contribution of 46,306.42 m³ (specific degradation). This estimated volume is considered the maximum contribution to the Jalpan dam being the outlet of the subwatershed.

Keywords: water erosion, sediment input, soil conservation, subwatershed.

1 INTRODUCCIÓN

El suelo es un elemento esencial para el funcionamiento de cualquier ecosistema; ofrece soporte y suministro de nutrientes a los cultivos y a la cobertura forestal, además cumple otras funciones igualmente trascendentes como construir un medio filtrante y regulador del agua, en él se realizan los ciclos biogeoquímicos fundamentales para el reciclaje de nutrientes, y es el soporte de la infraestructura humana (SEMARNAT, 2015). A pesar de la importancia que tiene este elemento natural, se encuentra bajo una creciente presión y deterioro debido a los patrones insostenibles de producción y consumo a escala global, llevándolo a límites críticos (FAO y GTIS, 2016). Ello ha provocado alertas mundiales sobre las repercusiones de la degradación del suelo en la productividad agrícola y forestal y con ello la seguridad alimentaria; en el mantenimiento de la biodiversidad, del ciclo hidrológico de las cuencas, y la provisión de otros servicios ecosistémicos (Cotler *et al.*, 2007).

La degradación de los suelos es un proceso desencadenado por las actividades humanas que involucran la reducción de la complejidad biológica del suelo, su capacidad para llevar a cabo funciones de provisionamiento y regulación directamente relacionadas con el bienestar humano, como son la productividad agrícola y el mantenimiento de la calidad del agua y aire (Lal, 1998; SEMARNAT, 2015). Se reconocen dos tipos de procesos de degradación del suelo; aquellos donde se produce el desplazamiento de las partículas del suelo por la acción del agua (erosión hídrica) o viento (erosión eólica) y los que producen una degradación *in situ* del suelo (degradación física, química y biológica) (INECC, 2007). Estos procesos de degradación se encuentran estrechamente relacionados entre sí y suelen actuar de manera simultánea (Oldeman *et al.*, 1991; Garrido y Cotler, 2010).

La forma más común de degradación del suelo en el mundo es la erosión hídrica, estimada en el año 2012 en 35.9 mil millones de toneladas por año (Pg. año⁻¹) (Borrelli *et al.*, 2017). Se trata de un proceso natural que involucra el desprendimiento, transporte y posterior depósito de partículas de suelo por la acción del agua (Díaz, 2011). Sin embargo, las perturbaciones provocadas por el hombre y el uso insostenible del suelo aceleran las tasas de erosión anual, convirtiéndolo en un proceso destructivo, ya que agota la fertilidad y degrada la estructura del suelo (Bolaños *et al.*, 2016); contribuye con la sedimentación de lagos, ríos, lagunas y embalses; aumenta el riesgo de inundaciones; disminuye la capacidad de captación y recarga de mantos acuíferos; y tiene impactos negativos en la biodiversidad, cuyas consecuencias son la pobreza y migración de la población rural (CONAFOR, 2007). Estos procesos ocurren en diferentes escalas espacio-temporales dependiendo de su ubicación geográfica, de la dinámica propia del relieve, del régimen climático y del uso histórico y actual de la tierra, entre los factores más importantes (Garrido y Cotler, 2010).

Debido a la influencia que tiene la erosión hídrica en la funcionalidad de los ecosistemas y por su enorme relevancia para el ámbito productivo y ecológico, es pertinente estimar su severidad e identificar áreas de atención prioritaria para planificar eficientemente las diferentes acciones y prácticas de conservación de suelos, así como implementar medidas en otras funciones ecosistémicas relacionadas, como la provisión de agua (Garrido y Cotler, 2010; Barrientos, 2013). Estas medidas de manejo y conservación a menudo se vinculan con prácticas de gestión que promueven el uso productivo y sostenible de los suelos, incluyendo aquellas obras y/o prácticas correctivas que ayuden a disminuir los impactos derivados del mal uso de la tierra, expresada en los diversos procesos de degradación (Karlen *et al.*, 1997).

En México, la erosión hídrica afecta el 76 % de la superficie nacional, del cual el 37.06 % se presenta en grado leve y el 26.37 % en grado moderado (Bolaños *et al.*, 2016). Ante este escenario de degradación, en el país se implementan de forma extensiva prácticas de manejo y conservación de suelos, principalmente por parte de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en el caso de suelos forestales y por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, antes llamada SAGARPA) en el caso de los suelos agrícolas (Garrido y Cotler, 2010). Sin embargo, no se conocen con claridad los criterios de selección de los sitios donde se implementan y tampoco se conocen los efectos concretos de las prácticas de conservación sobre los procesos erosivos y las propiedades del suelo (Jiménez, 2010). La escasa evaluación y seguimiento de las prácticas de conservación son causa de una implementación generalizada que no considera de manera objetiva las condiciones geográficas y ecológicas específicas de cada sitio, ya que no se encuentran definidas las condiciones bajo las cuales pueden funcionar con mayor eficiencia y, al mismo tiempo, esta situación evidencia la debilidad de las políticas públicas aplicadas en la conservación del suelo (Cotler, 2015).

Un ejemplo relacionado en el contexto de México es el caso de Querétaro, especialmente los municipios que se ubican en la región Sierra Gorda como Pinal de Amoles, San Joaquín y Landa de Matamoros, donde se presentan los índices más altos de pérdida de suelo, con tasas de erosión superiores a las 200 ton/ha/año, seguidos de los municipios de Arroyo Seco, Peñamiller y Jalpan de Serra, con un riesgo de erosión entre 50 y 200 ton/ha/año (SEDESU, 2009). Solamente el 32 % de la superficie del estado presenta pérdidas inferiores a 10 ton/ha/año (SEDESU, 2009), considerada como la tasa máxima permisible de pérdidas de suelo, lo que significa degradación en gran parte del estado y la necesidad de aplicar medidas de conservación de suelo (CONAFOR, 2010).

La zona de estudio corresponde a la “Subcuenca Presa Jalpan”, localizada entre los municipios de Pinal de Amoles y Jalpan de Serra, al norte del estado de Querétaro,

siendo en Pinal de Amoles donde se encuentra el 87.15 % de su superficie. Se mencionó anteriormente que estos municipios presentan altos índices de riesgo por erosión hídrica. Así mismo, la subcuenca se localiza al interior del Área Natural Protegida (ANP) “Reserva de la Biosfera Sierra Gorda (RBSG)”, caracterizada por su excepcional riqueza de especies y diversidad de ecosistemas que en ella existen (INE, 1999), así mismo por tener un relieve accidentado y alta presión en sus recursos naturales (INE, 1999). Con base en el Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda publicado en el año 1999, importantes extensiones de bosque han sido deforestadas para su uso agrícola (INE, 1999, Batalla, 2013), pero también el crecimiento de asentamientos humanos y la apertura de caminos para conectar aquellas localidades emergentes o que se encuentran aún incomunicadas, ha contribuido al incremento de los procesos erosivos y arrastre de sedimentos a las corrientes (RAMSAR, 2003).

La superficie de la subcuenca Presa Jalpan está conformada por tres microcuencas que captan y concentran el agua de lluvia y la drenan por medio de las corrientes hacia la Presa Jalpan (punto de salida). Este embalse fue construido entre los años 1975 y 1976 para abastecer de agua potable a la población de Jalpan de Serra y para fines agrícolas (Batalla, 2013). A raíz de su construcción se desarrollaron otras actividades como el turismo, pesca a pequeña escala, acuacultura, entre otros. En 2004 fue declarada como humedal de importancia internacional por la convención RAMSAR debido a que es sitio de reproducción y refugio para más de 33 especies migratorias y residentes de aves (RAMSAR, 2003). Todas estas condiciones le confieren al embalse una importancia económica, social y ambiental en la región, sin embargo, debido a la deforestación y los procesos erosivos que se desarrollan aguas arriba, la presa recibe anualmente miles de toneladas de suelo en forma de sedimentos, por lo que rápidamente se está reduciendo su capacidad de almacenamiento de agua (RAMSAR, 2003). La Comisión Estatal de Agua (CEA) en 2010 estimó mediante un estudio batimétrico una cantidad de 24,688.924 m³ en volumen de sedimentos que está recibiendo la presa anualmente.

Debido a las consecuencias que genera el fenómeno de la erosión hídrica en los sistemas agrícolas y forestales de la zona de estudio, especialmente el aporte de sedimentos hacia la Presa Jalpan, es pertinente realizar una estimación actual de las tasas de pérdida de suelo por erosión hídrica, ya que los factores que determinan los procesos erosivos (clima, suelo, topografía, vegetación y prácticas de manejo) son componentes dinámicos (White, 2013). Ejemplo de ello es la tasa de transformación de la cobertura vegetal que sucede en la RBSG, estimada en 278 ha por año (Ríos, 2015).

Así mismo, es importante identificar áreas de atención prioritaria basado en los grados de erosión para el diseño de medidas y prácticas de conservación de suelos

que puedan reducir su impacto. Cabe decir que en la zona de estudio ya se han realizado acciones para la conservación de suelos y agua, principalmente prácticas mecánicas que actúan como reductores en las tasas de erosión al disminuir la velocidad del escurrimiento, así como prácticas vegetativas que involucran el establecimiento de reforestaciones con especies nativas. En estas acciones se suman los esfuerzos de la CONANP a través de la dirección de la Reserva, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la ONG local Grupo Ecológico Sierra Gorda I. A. P., la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), entre otras instituciones. Sin embargo, no se tienen claros los criterios de selección de los sitios intervenidos por los diversos programas ni se cuenta con una base de datos de acceso libre donde se encuentren localizadas y caracterizadas la obras, tampoco se han realizado evaluaciones sobre su impacto en la reducción de la erosión hídrica.

Ante esta problemática en el presente estudio se plantean las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuánto suelo se está perdiendo anualmente en la subcuenca presa Jalpan?, ¿Qué porcentaje de este suelo llega a la presa Jalpan en forma de sedimentos? ¿Qué tipo de prácticas de conservación se realizan en la zona de estudio?, ¿Qué condiciones presentan actualmente y quiénes las promueven?, ¿Qué impacto tienen las prácticas de conservación de suelo en la reducción de la erosión hídrica?, y ¿Qué otras medidas podrían realizarse para reducir las tasas de erosión en la zona de estudio? De estas preguntas surge el objetivo general de la investigación, el cual consiste en “Evaluar la erosión hídrica y el efecto de las prácticas de conservación de suelos en la subcuenca presa Jalpan”, para lograrlo se han definido los siguientes objetivos específicos: 1) Analizar las prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio; 2) Determinar el efecto de las prácticas de conservación en la erodabilidad del suelo; 3) Estimar la erosión hídrica en la zona de estudio e identificar áreas prioritarias para su manejo; y 4) Determinar el aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan.

Los resultados de este estudio pueden ser un referente para una mejor gestión del territorio y aplicación objetiva de los apoyos en materia de conservación de suelos en la zona de estudio, ya que se localizarán aquellas zonas con mayor grado de erosión hídrica las cuales requieren un manejo prioritario a través del uso productivo y sostenible del suelo y la incorporación de prácticas de conservación de suelos promovidas por instituciones gubernamentales, asociaciones civiles, así como iniciativas de los propios dueños de tierras afectadas por procesos erosivos. Por otro lado, el análisis del impacto de las prácticas de conservación de suelos que ya se están realizando en la zona, sin duda promoverá un proceso de autoevaluación y monitoreo de éstas por parte de las instancias promotoras, así como la incorporación de otras alternativas que puedan resolver de mejor manera la pérdida

de suelo, las cuales a su vez se adapten a las condiciones sociales y biofísicas del territorio e incluyan una participación más activa de los dueños del terreno.

Tener un panorama actual de la degradación de la subcuenca a causa de la erosión hídrica y el aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan, así como la localización de las zonas prioritarias de manejo, y la evaluación de las prácticas de conservación realizadas hasta el momento, sin duda, son elementos que pueden orientar a los programas de conservación que se llevan a cabo en la zona, en la integración de mejores estrategias para revertir los problemas de erosión, pero también pueden tener incidencia en las políticas de uso de suelo plasmadas en los planes de desarrollo urbano, programas de ordenamiento ecológicos aplicables, y en el programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, por ejemplo, en el establecimiento de zonas de protección y restricciones del crecimiento urbano en áreas con alto grado de erosión. También se pueden detonar acciones para mitigar los problemas de asolvamiento de la Presa Jalpan, y en general para mantener los servicios ecosistémicos que el suelo proporciona a la población de la subcuenca, como la producción de alimentos, captación e infiltración del agua, reservorio de carbono, entre otros.

2 MARCO CONCEPTUAL

Este apartado tiene la finalidad de presentar los conceptos a partir de los cuales se fundamenta la investigación, partiendo de lo general a lo particular. Se aborda en primera instancia a la cuenca como el escenario idóneo para el manejo y gestión de los recursos naturales, entre ellos el suelo, el cual se constituye como objeto de estudio de la presente investigación debido a las consecuencias de su degradación a nivel global causada por su uso insostenible. Con base en ello, se explica la importancia del suelo y se aborda la erosión hídrica como principal causante de la degradación de suelos, por lo que a partir de ahí se describen los factores que intervienen en este fenómeno, sus consecuencias y métodos de medición. Finalmente, se plantea como se ha abordado la conservación de suelos bajo el enfoque de cuencas y adentrándonos un poco, se señalan las medidas y prácticas de conservación que, comúnmente, se utilizan para mejorar la calidad del suelo y reducir problemas de erosión a nivel parcela y cuenca.

2.1 Cuenca hidrográfica

La cuenca se ha conceptualizado desde dos vertientes, la primera a partir de una aproximación física y la segunda como un sistema que considera un entramado de relaciones entre sus componentes o subsistemas (económicas, sociales y ambientales) (García *et al.*, 2015). Desde una aproximación física se define a la cuenca hidrográfica como una unidad natural, cuyos límites quedan establecidos por la división geográfica de las aguas, también conocida como “parteaguas”. Los parteaguas son las partes más altas de la montañas y cerros que ante la presencia de precipitaciones y de los flujos o caudales base permite configurar una red de drenaje superficial que canaliza las aguas hacia un punto terminal de salida, pudiendo ser este otro río, el mar o hacia lagos y embalses artificiales (Jiménez, 2005).

Desde esta concepción biofísica, la cuenca está compuesta por elementos bióticos (flora, fauna) y abióticos (agua, suelo, aire, ente otros) que se encuentran interrelacionados (García *et al.*, 2015) y generan una variedad de servicios ecosistémicos valorados por la sociedad, estos incluyen servicios de soporte (formación de suelo, reciclaje de nutrientes y producción primaria), provisionamiento de bienes y servicios (alimentos, agua, combustibles y materias primas), servicios de regulación (regulación climática, regulación de inundaciones, regulación de la calidad y cantidad de agua, regulación de la erosión hídrica, entre otros), y servicios

culturales como la recreación y desarrollo de actividades espirituales y religiosas (Millennium Ecosystem Evaluación, 2005; Flotermersch *et al.*, 2015).

En cuanto a su estructura, la cuenca se divide en tres zonas funcionales: zona alta, media y baja. La zona alta, permite la captación inicial del agua que precipita y el suministro de esta a las zonas inferiores durante todo el año; este flujo unidireccional del agua genera una especie de dependencia, ya que los procesos que se generan en las partes altas de la cuenca infaliblemente tienen repercusiones en la parte baja (García *et al.*, 2005). La zona media por su posición y pendiente, suelen ser áreas aptas para el almacenamiento hídrico pues la red de drenaje comienza a integrarse y a robustecerse debido a la confluencia de afluentes de órdenes mayores (Garrido *et al.*, 2010). Finalmente, la cuenca baja es la zona donde las corrientes comienzan a disminuir su velocidad y erosividad, transformándose en áreas de mayor estabilidad y depósito de sedimentos, así mismo es el área que desaloja el agua de todo el sistema hacia el mar o un cuerpo de agua interior (Garrido *et al.*, 2010). Las características de poca pendiente, cuerpos de agua y acumulación de nutrientes, promueven el establecimiento de asentamientos humanos y el desarrollo de actividades económicas como la agricultura (García *et al.*, 2015).

Desde el segundo enfoque, la cuenca es un sistema con entradas y salidas de materia y energía donde interactúan en tiempo y espacio los subsistemas biofísico, económico, social y cultural (Faustino y Jiménez, 2000). Desde el subsistema biofísico la cuenca es un espacio delimitado naturalmente con características específicas de clima, suelo, vegetación, red hidrográfica, usos de suelo, entre otros, que oferta una cantidad de servicios ecosistémicos (energía, insumos, alimentos, recreación, entre otros). Vista desde el subsistema económico la cuenca presenta disponibilidad de recursos susceptibles de aprovechar mediante diversas técnicas para producir bienes y servicios para la sociedad. Como subsistema social involucra los intereses de la población respecto al uso y apropiación del territorio, su estructura organizativa y actividades que causan impactos en el ambiente. Finalmente, el subsistema cultural refleja el conjunto de valores, tradiciones, normas de conducta y dogmas de las comunidades asentadas que influyen en las decisiones que se toman en materia de uso y manejo de los recursos naturales (García, 2002).

Independientemente del enfoque en que sea conceptualizada la cuenca, sea por las características naturales particulares que la definen, así como las relaciones entre sus habitantes debido a la dependencia común a un sistema hídrico compartido, pero también con los demás recursos como la vegetación y suelo que repercuten directamente en la disponibilidad y calidad del agua, se convierte en el escenario idóneo para la caracterización, diagnóstico, planificación, implementación,

ejecución, seguimiento y evaluación del uso de los recursos naturales (Jiménez, 2005).

Como se ha visto, el concepto de cuenca hidrográfica posee connotaciones amplias dependiendo de los objetivos que se persigan, dichos intereses determinan, de algún modo, su definición y caracterización, y por consiguiente la forma de cómo se planifica y maneja el territorio que encierra (García, 2002). Para efectos de la investigación, se entenderá a la cuenca como una superficie delimitada por una divisoria topográfica (parteaguas), que funciona como un gran colector, distribuidor, almacenador y vertedor de aguas superficiales, donde los elementos bióticos y abióticos que lo integran están en constante interacción generando una diversidad de servicios ecosistémicos. Asimismo, se considera a la cuenca como un sistema complejo, donde se incorporan aspectos de tipo económicos, sociales, culturales, políticos, institucionales, administrativos, además de los aspectos biofísicos, los cuales definen el destino de los recursos presentes. Bajo esta concepción se incluyen además las interacciones complejas entre subsistemas (biofísico, económico y sociocultural), la estructura de la cuenca (zonas funcionales) y sus funciones (de regulación, provisionamiento y soporte), las cuales permiten un manejo integrado de la cuenca.

Desde el planteamiento anterior, uno de los componentes del sistema cuenca con mayor relevancia es el suelo, debido a la presión que ejercen las actividades antrópicas mediante prácticas insostenibles y cuyos impactos se ven reflejados en la disminución de los servicios ecosistémicos que ofrece a la población.

2.2 El suelo como subsistema de la cuenca

El suelo es concebido como un recurso natural integrado por elementos y compuesto de naturaleza mineral y orgánica, incluyendo organismos vivos. Es el resultado de las interacciones entre los factores bióticos (organismos vivos) y abióticos (clima, agua, viento, relieve y tiempo) sobre un material parental que lo convierte en un sistema dinámico, multifuncional con la capacidad de generar servicios ecosistémicos de importancia vital para el desarrollo de las sociedades (Buol *et al.*, 2011; Bouma *et al.*, 2012), además, el sistema suelo, en conjunto de otros componentes como la geomorfología, el régimen climático, el tipo de cobertura vegetal o el régimen hídrico de los ríos, incide en la funcionalidad hídrica de una cuenca (Black, 1997; Garrido *et al.*, 2010).

Como parte de la funcionalidad y los servicios ecosistémicos que provee este sistema destaca el soporte y suministro de nutrientes a los cultivos y la cobertura

forestal, se constituye como un medio filtrante, regulador y suministrador del agua, en él se realizan los ciclos biogeoquímicos necesarios para el reciclaje de compuestos orgánicos, y tiene la capacidad de filtrar, amortiguar, degradar, inmovilizar y detoxificar materiales orgánicos e inorgánicos (Garrido y Cotler, 2010).

A nivel global se ha evidenciado la disminución de las funciones del suelo a causa del uso insostenible en las prácticas agrícolas, forestales y urbanísticas, las cuales han ocasionado pérdida de materia orgánica, salinización, compactación, pérdida de estructura y contaminación, lo cual puede afectar la funcionalidad de la cuenca y por lo tanto la oferta de servicios ecosistémicos valioso para la sociedad (Trujillo *et al.*, 2018). Esta situación ha provocado alertas mundiales sobre las repercusiones de la degradación de los suelos en la seguridad alimentaria, la mitigación de la pobreza, el mantenimiento de la biodiversidad, el mantenimiento del ciclo hidrológico en las cuencas, en la provisión del agua y la provisión de otros servicios ecosistémicos (Cotler *et al.*, 2007).

2.3 Degradación de suelos

La degradación del suelo es considerada como un grupo de procesos que ocasionan el deterioro del suelo, reflejado en una disminución de su productividad biológica o de su biodiversidad (CONAFOR, 2007). Los suelos degradados se encuentran en un estado que los imposibilita prestar servicios ecosistémicos a sus beneficiarios, como la provisión de alimentos, provisión de agua, mantenimiento de la calidad del agua y aire, reciclaje de nutrientes, captación de CO₂, por citar los más importantes (Garrido y Cotler, 2010).

A escala de cuenca la degradación de suelos, genera externalidades negativas, relativas a la sedimentación de cuerpos de agua, como son las presas, así como impactos a la biodiversidad y aumento de riesgos para la población humana por inundaciones y deslaves, por lo tanto, a escala de cuenca es importante conocer estos procesos de degradación como medida previa a la implementación de medidas de planificación y conservación de suelos, para mantener el flujo adecuado de servicios ecosistémicos (Garrido y Cotler, 2010).

Los procesos de degradación del suelo pueden obedecer a causas naturales como causas antrópicas; las perturbaciones naturales permiten al suelo adaptarse a las nuevas condiciones, sin embargo, las perturbaciones antrópicas son más rápidas y perturban el delicado balance entre el suelo y su medio ambiente (Espinosa *et al.*, 2011), por lo tanto, generan mayores impactos en periodos cortos, llevando al suelo a niveles críticos donde ya no puede recuperar su estado original (FAO y GTIS, 2016).

Los procesos de degradación causados por el hombre son consecuencia directa del acelerado crecimiento poblacional, aunado a las también crecientes expectativas de desarrollo que ejerce presión sobre el recurso suelo (Cotler *et al.*, 2007). Entre las principales actividades humanas que inducen la degradación de suelos en el campo se encuentran el desarrollo de sistemas agropecuarios insostenibles y los procesos de deforestación, mientras que, en las ciudades, la construcción de infraestructura urbana y el depósito de residuos sólidos generan también un drástico impacto sobre la calidad de dicho recurso (Cotler *et al.*, 2007).

De forma general, se distinguen dos tipos de procesos de degradación del suelo: aquellos donde el suelo es desplazado por acción de la precipitación (erosión hídrica) o del viento (erosión eólica). Por otro lado, se encuentran aquellos fenómenos que originan una degradación *in situ* del suelo y pueden ser procesos de degradación física (compactación, encostramiento, artificialización, entre otros) o química (acidificación, salinización, pérdida de materia orgánica y contaminación) (Oldeman, 1998; Garrido y Cotler, 2010).

De estos procesos de degradación, la erosión del suelo es considerada como la principal amenaza a nivel mundial, ya que afecta a más del 80 % de la superficie terrestre (Oldeman, 1998; Bolaños *et al.*, 2016) y se pierden 35.9 mil millones de toneladas de suelo por año (Pg. año⁻¹) (Borreli *et al.*, 2017). Misma situación ocurre en México, donde el 76 % de la superficie nacional presenta erosión hídrica (Bolaños *et al.*, 2016). Bajo este escenario se considera importante entender el comportamiento y las consecuencias de la erosión hídrica que puedan orientar medidas y prácticas para su control.

2.4 Erosión hídrica

La erosión puede considerarse de entrada como un fenómeno natural que implica el desprendimiento, remoción y transporte de partículas de suelo o material rocoso por agentes erosivos (agua, viento, gravedad) (Alatorre y Beguería, 2009). En su tasa de progresión natural es responsable de un proceso constructivo al contribuir con la formación de suelo, pero con una tasa acelerada provocada por la acción antropogénica, se constituye como un proceso de degradación que fomenta la pérdida de suelo (Lal y Stewart, 1990; Camargo *et al.*, 2017).

Se trata de un proceso que consiste en la remoción laminar o en masa de los materiales del suelo debido a la acción del agua de lluvia. Sus efectos se pueden dar de tres formas: pérdidas de suelo superficial, deformación de terrenos y efecto fuera del sitio (SEMARNAT, 2012). En el primer caso las consecuencias tienen que ver con la pérdida de las funciones del suelo como la remoción de nutrientes y

materia orgánica, la reducción de la profundidad del enraizamiento de las plantas y disminución en la capacidad de infiltración (Crosson y Anderson, 2000). Los otros dos casos están relacionados entre sí; cuando el suelo es arrastrado por el agua se llegan a formar canales y cárcavas, estas deformaciones en el terreno permiten el escurrimiento de una gran cantidad de agua y el arrastre de sedimentos que pueden llegar a ríos, presas, lagunas, entre otros cuerpos de agua, contribuyendo a su contaminación, azolvamientos e inclusive a que lleguen a desbordarse e inundarse zonas aledañas (SEMARNAT, 2012).

Debido a las situaciones mencionadas resulta conveniente identificar y monitorear los procesos de erosión hídrica y considerar la cartografía de erosión potencial de las cuencas para generar cualquier tipo de planificación territorial, ya que gozar de esta información, permite implementar prácticas que aumenten la consolidación de los suelos y disminuir su desprendimiento, así mismo, permite evitar la implementación de usos de suelo agresivos en áreas vulnerables, disminuyendo la posibilidad de incrementar superficies de suelos improductivos debido a este tipo de procesos erosivos, lo cual, resulta una situación de importancia en términos socioeconómicos (Dumas, 2012).

Para conocer estos procesos y generar información correspondiente, es necesario observar los factores que controlan la erosión hídrica, los cuales son: el clima, la cobertura vegetal, la topografía y las propiedades del suelo; el efecto combinado de estos factores determina la magnitud de la tasa de erosión (Camargo *et al.*, 2017). Mientras mayor sea la longitud e inclinación del terreno, el suelo será más afectado por la erosión y, por otra parte, cuanto mayor sea la capacidad de transporte del escurrimiento por una lluvia intensa, ello resultará en mayores pérdidas (Lal y Stewart, 1990; Camargo *et al.*, 2017). La estabilidad estructural, la textura, y el contenido de materia orgánica son variables que determinan la velocidad de infiltración del agua en el suelo y la escorrentía, por consiguiente, definen la susceptibilidad del suelo ante el poder erosivo (Zaccagnini *et al.*, 2014).

La vegetación por su parte influye de forma sustancial en la prevención de la erosión, mitiga el impacto del agua de lluvia a través de su follaje y material orgánico depositado en la capa superficial del suelo, al mismo tiempo que aumenta la rugosidad del terreno, disminuyendo la velocidad de escurrimiento del agua. Por su parte, mejores prácticas de manejo y obras de conservación de suelo logran disminuir las tasas de erosión; por ejemplo, toda práctica agronómica que tienda a incorporar restos vegetales en la superficie y aumente a largo plazo la porosidad total del suelo ayudará a disminuir el riesgo de erosión (sistema de labranzas conservacionistas) (Zaccagnini *et al.*, 2014); mientras que la construcción de

prácticas mecánicas acortan la longitud de la pendiente del terreno para que la velocidad del escurrimiento no llegue a valores erosivos.

Como se mencionó al respecto de la erosión hídrica en las cuencas, identificar de manera adecuada estos procesos dentro de sus límites físicos, pueden ayudar a determinar el grado de severidad y las acciones que pueden ayudar a su control. De manera general, la erosión hídrica se puede clasificar en erosión por salpicadura, erosión laminar, por surcos y en cárcavas:

- *Erosión por salpicadura*: es consecuencia del impacto directo de la gota de lluvia sobre el terreno, que rompe los agregados del suelo haciendo saltar las partículas y dejándolas listas para ser arrastradas por el agua (Bienes, 2006). Este tipo de erosión precede y condiciona los demás tipos, ya que al eliminar los agregados estructurales del suelo se elimina toda resistencia que presenta el suelo ante la erosión (Bienes, 2006).
- *Erosión laminar*: se presenta principalmente en laderas y donde el agua actúa superficialmente removiendo partículas más ligeras como el limo y las arcillas de su sitio y depositándolas en otros en forma de láminas (CONAFOR, 2007).
- *Erosión por surcos*: se produce debido a una mayor concentración del flujo sobre las secciones irregulares de los suelos (Suárez, 2001; Benites, 2017), generalmente aparecen en suelos con mayor pendiente ubicadas en media loma y genera grandes e irrecuperables pérdidas de suelo (Zaccagnini *et al.*, 2014).
- *Erosión en cárcavas*: son la expresión máxima del proceso erosivo; se presenta en sectores de concentración de escurrimiento, y pueden alcanzar varios metros de profundidad, afectando no solamente el suelo, sino al subsuelo y obras de infraestructura (Zaccagnini *et al.*, 2014).

Las consecuencias de la erosión hídrica pueden dividirse en dos tipos, aquellos de interés privado donde el dueño de la tierra es el principal afectado, y aquellos de interés público, donde el conjunto de la sociedad puede resultar perjudicada por los impactos negativos de este proceso (Cotler *et al.*, 2007). En el primer caso, a nivel parcela, los procesos de erosión hídrica afecta las propiedades del suelo (reduciendo la disponibilidad de agua y de nutrientes para las plantas y la profundidad de enraizamiento) y, por ende, menguando su productividad (Crosson y Anderson, 2000); cuando los procesos erosivos son severos (por ejemplo, erosión en cárcavas) se fragmenta la parcela e impide la operación adecuada de la maquinaria así mismo representa menos superficie disponible para el crecimiento de cultivos (Foth y Turk, 2003). A nivel regional, o fuera de la parcela, la erosión de los suelos origina problemas de sedimentación, contaminación difusa, azolves e inundación, entre otros, y a nivel global, este proceso contribuye al cambio climático,

a la pérdida de biodiversidad y a la modificación del régimen hidrológico de cuencas internacionales (Graaf, 2000; Cotler *et al.*, 2007).

2.4.1 Medición de la erosión hídrica

Muchos modelos han sido desarrollados para determinar las tasas de erosión del suelo (Wischmeier y Smith, 1978; Flanagan y Nearing, 1995; Mitas y Mitasova, 1998, Morgan *et al.*, 1998; Merritt *et al.*, 2003; Renard *et al.*, 1997), entre ellos existen los de tipo cualitativos y cuantitativos. Los métodos cualitativos evalúan el riesgo de erosión mediante la utilización de una cartografía temática de los factores que la controlan (erosividad de la lluvia, suelo, vegetación, topografía), con atributos de ajuste más subjetivos, o mediante el estudio de las formas erosivas (Vega y Febles, 2005). Por su parte, los modelos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión y pueden tener una evaluación directa o indirecta (Gaitán *et al.*, 2017).

La evaluación directa se desarrolla en el terreno, por medición en parcelas de erosión (p.ej. método de erosión por salpicaduras y método de clavos o varillas de erosión) o por la medición de variables como los sedimentos en cursos de agua y los simuladores de lluvia, cuyos datos son extrapolados a zonas homogéneas (Gaitán *et al.*, 2017). Si bien, las ventajas en términos de precisión que se obtienen de los métodos directos son muy claras, también es claro que existe una estrecha relación entre la precisión y la inversión económica para dotar de una mejor infraestructura para las mediciones y para la replicación de los experimentos (León, 2003).

En cuanto a los métodos indirectos, existen los de modelación matemática que pueden ser clasificados en tres categorías: métodos empíricos, conceptuales y de base física (Merritt *et al.*, 2003; Alatorre y Beguería, 2009). Los modelos empíricos son generalmente los más sencillos, basándose en el análisis estadístico de un conjunto de observaciones (Alatorre y Beguería, 2009). La gran mayoría de modelos de erosión de tipo empírico que se utilizan en la actualidad se derivan de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE por sus siglas en inglés), desarrollada en Estados Unidos por Wischmeier y Smith en 1965 y modificada en 1978. Esta ecuación está basada del análisis estadístico de datos obtenidos de 10,000 parcelas afectadas por lluvia natural y entre 1, 000 y 2, 000 parcelas/año con lluvia simulada (Gaitán *et al.*, 2017).

La USLE evalúa la pérdida de suelo promedio producida en un año principalmente por erosión laminar o erosión “entre surcos” y la erosión en surcos en forma conjunta, no así a la erosión por escurrimiento o “flujo concentrado”, cuya expresión

máxima es la formación de cárcavas (Marelli, 1988; Ramírez y Aparicio, 2009). La ecuación incluye seis factores: $A = R K L S C P$, donde A ($\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) es la pérdida de suelo promedio; R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) es el factor de erosividad de la precipitación; K ($\text{ton ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^1$) es el factor de erodabilidad del suelo; LS es el factor topográfico que incluye la longitud de la ladera (L) y la pendiente (S); C es el factor de manejo de suelo y cobertura vegetal, y P es el factor de las medidas y prácticas de conservación del suelo (Alatorre y Beguería, 2009). Al considerarse únicamente los factores R , K , L , S , se está representando las pérdidas suelo si este no contase con medidas de protección, tales como la cobertura vegetal y las prácticas de conservación, por lo que a este producto se le denomina erosión potencial (EP). De la misma manera el producto de todos los factores representa la erosión actual (EA).

El modelo USLE ha sido el modelo empírico más usado a nivel mundial para predecir la erosión de los suelos debido a que los requerimientos de datos de entrada son bajos, comparado con otros modelos (Alonso *et al.*, 2007), pero también ha sido sujeto a varias revisiones dando lugar a otros modelos derivados; USLE modificada (MUSLE por sus siglas en inglés; Williams y Berndt, 1972); USLE revisada (RUSLE por sus siglas en inglés; Renard *et al.*, 1997). Así mismo varios modelos hidrológicos han incorporado las citadas ecuaciones empíricas como método para estimar la erosión (Vega y Febles, 2005). Este modelo, a pesar de haber sido desarrollado para su uso a escala de parcelas, se ha incorporado en aplicaciones de modelación de erosión y transporte de sedimentos a escala de cuenca, demostrando alta fidelidad y aplicabilidad universal (Alonso *et al.*, 2007).

De acuerdo con la información expuesta sobre los métodos existentes para el cálculo de la erosión hídrica, puede deducirse que la elección de cualquier método tiene que basarse en los objetivos que persigue la investigación, la escala en la que se requiere trabajar (parcela, ladera, microcuenca o cuenca), así como la cantidad de datos disponibles que alimentan los modelos, y los recursos económicos con los que se cuenta, en este sentido, ningún método puede ser considerado como el mejor. Sin embargo, para calcular las pérdidas de suelo en la zona de estudio, resulta más práctico utilizar métodos indirectos toda vez que la superficie es muy grande y mediciones directas de la erosión implicarían el establecimiento de una gran cantidad de sitios para alcanzar un grado de confiabilidad aceptable, lo que involucraría a su vez mayor tiempo y recursos económicos.

Independientemente del método que sea utilizado, la relevancia de la estimación de la amplitud y severidad de la erosión hídrica a nivel cuenca, es que permite definir las medidas o prácticas para su control o reducción. Actualmente existe mucha información sobre la conservación de suelos que incluye acciones específicas para

el control de la erosión hídrica, para el caso particular de la investigación, se abordaran la conservación de suelo bajo el enfoque de cuencas.

2.5 Conservación de suelos con enfoque de cuenca

La conservación de suelos es concebida como “un conjunto de medidas para la prevención y control de la erosión o el mantenimiento de la fertilidad del suelo” (De Graaff, 1993; Barrientos, 2013) y en general del mantenimiento de los servicios ecosistémicos asociados a este como la provisión de agua y mantenimiento de la biodiversidad. Dichas medidas se vinculan con prácticas de gestión que promueven el uso productivo y sostenible del suelo, incluyendo aquellas obras y/o actividades que ayuden a disminuir los impactos derivadas del mal uso de la tierra, expresadas en los diversos procesos de degradación (Barrientos, 2013).

Las medidas de conservación de suelos deben incluir cuatro acciones básicas: 1) proteger al suelo contra el impacto de las gotas de lluvia; 2) incrementar la capacidad de infiltración para reducir el escurrimiento superficial; 3) mejorar la estabilidad de los agregados del suelo para que sea resistente ante la erosión por salpicamiento; y 4) aumentar la aspereza o rugosidad de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento (Morgan, 2005). Estas acciones se pueden lograr a través del manejo del terreno con prácticas agronómicas y vegetativas, tales como la preparación adecuada de terrenos agrícolas, rotación de cultivos, la aplicación de materia orgánica, la adición de abonos verdes, entre otros, así como prácticas mecánicas que tienen mayor incidencia en la velocidad de la escorrentía y transporte de suelo (Loredo, 2005). A continuación, se describe cada una de ellas:

a) Agronómicas. Se trata de técnicas que buscan mejorar las propiedades del suelo y la protección frente a la lluvia para aumentar su resistencia ante la erosión, así que actúan principalmente contra la desegregación del suelo. Su implementación busca además la fertilidad y la productividad. Ejemplos de estas medidas agronómicas que han sido aceptadas por los especialistas y los usuarios de la tierra son: compostaje, cultivos mixtos, cultivos de contorno, acolchado, entre otros (Barrientos, 2013).

b) Prácticas vegetativas. Sus objetivos principales son: i) establecer una buena protección con cobertura vegetal para evitar el desprendimiento de suelo por la acción erosiva de la lluvia; ii) frenar la velocidad de circulación del agua para reducir el transporte de partículas; y iii) mejorar las características fisicoquímicas del suelo a través de las raíces y aporte de materia orgánica, lo que favorece la infiltración y disminuye la formación de la escorrentía. Son muy efectivas tanto en el control de

la desegregación de las partículas como en la reducción de su transporte (Gisbert *et al.*, 2002).

c) *Prácticas mecánicas y/o estructurales.* A menudo implican estructuras ingenieriles que manipulan la topografía de la superficie, por ejemplo, construyendo terrazas, a fin de controlar la velocidad de la escorrentía e incrementar la humedad del terreno (Morgan, 2005). La particularidad que tienen las medidas estructurales como las terrazas, muros de contención y gaviones, es que son de larga duración y permanentes para resolver los problemas de erosión inmediatos, requieren importantes aportes de mano de obra y dinero, por lo que su ejecución debe ser mejor planeada para evitar que sean localizadas en sitios donde no tendrán efectos significativos.

Las medidas agronómicas combinadas con un buen manejo del suelo, así como las prácticas vegetativas, tienen influencia en la fase de desprendimiento y transporte del suelo, mientras que las prácticas mecánicas suelen ser más efectivas para controlar la fase de transporte, con escasa actuación en el desprendimiento. Por lo que se recomienda utilizar las prácticas mecánicas como un complemento a las prácticas agrícolas y vegetales, considerarlas de forma aislada podría generar resultados poco significativos en la reducción de la erosión. No obstante, generalmente se prefieren las medidas agronómicas porque resultan menos costosas y permiten de forma directa, reducir los impactos de la lluvia, aumentar la infiltración, reducir el volumen de escorrentía, además de que pueden ajustarse fácilmente a los sistemas agrícolas existentes y son más relevantes para restaurar la biodiversidad de plantas (Morgan, 2005).

La idoneidad de abordar la conservación de suelos con un enfoque de cuencas se debe a que esta unidad es un territorio unido natural y socialmente gracias al agua que escurre dentro del mismo (Barrientos, 2013), y, por lo tanto, las relaciones de apropiación y uso del territorio intervienen en la conservación y/o degradación de los recursos presentes, entre ellos el suelo (Cotler, 2006). En este sentido, las características de las localidades que se encuentran dentro de sus límites físicos, así como las actividades que realizan, reflejan la cantidad y calidad del agua que escurre desde el parteaguas hasta la desembocadura, la cantidad de suelo que se pierde en las laderas y los sedimentos que son aportados a los embalses.

Bajo el enfoque de cuencas es posible considerar la posición de los distintos actores y la interconexión que guardan respecto a las zonas funcionales, las cuales se basan en relaciones causa-efecto entre la parte alta, media y baja de la cuenca, es decir, todo lo que se haga o deje de hacer en las partes altas tiene repercusiones en las partes bajas, un ejemplo de ello es la pérdida de cobertura forestal en las montañas que se asocian a problemas de sedimentación aguas abajo (Musalem *et al.*, 2014).

La cuenca representa un marco apropiado para la cuantificación y evaluación de los diferentes impactos causados por las actividades del hombre como la erosión, sedimentación, contaminación, entre otros, pero también lo es para la planeación y aplicación de medidas destinadas a corregir dichos impactos. Tan es así que la CONAFOR (2007) considera a la cuenca como la unidad ideal para la planeación de los trabajos de conservación y restauración de suelos en México. Sin embargo, no se debe perder de vista lo indispensable que es focalizar los esfuerzos de intervención en las áreas donde la degradación del suelo es más intensa y bajo la premisa del impacto general que tendrán en toda la cuenca. Así mismo en la intervención a nivel parcela o finca deben integrarse los intereses de los dueños y crear mecanismos de acción participativa que permitan dar continuidad a los programas de conservación de suelo.

Consideraciones finales

Como se puede ver en este apartado, el recurso suelo dentro del sistema cuenca es de los más amenazados principalmente por la erosión hídrica vinculada al desarrollo de prácticas agrícolas, forestales y urbanísticas insostenibles. Se trata de un fenómeno dinámico y complejo que afecta la funcionalidad de las cuencas y por lo tanto genera reducción en el flujo de servicios ecosistémicos valiosos por la sociedad, situación que incide en la seguridad alimentaria y genera incremento de la pobreza, convirtiéndolo en una preocupación global que requiere de actuaciones urgentes para su control. Por lo tanto, existe una necesidad de entender cómo se comporta este fenómeno a través del tiempo y bajo diferentes escalas espaciales, en este caso a escala de cuenca. Para dicho propósito es importante conocer los métodos para la evaluación de este proceso, que, como se observó, existen en términos cualitativos y cuantitativos que difieren en complejidad y precisión. Debido a las características físicas de la zona de estudio (superficie y topografía) y recursos económicos disponibles para el desarrollo de la investigación, resulta más viable una evaluación cuantitativa y el uso de métodos indirectos para estimar las pérdidas anuales de suelo.

Finalmente, al generar información sobre el fenómeno, es posible diseñar estrategias o medidas para reducir las pérdidas de suelo, mantener la productividad, biodiversidad, y otros servicios relacionados con este componente de la cuenca. Estas medidas de conservación promueven el uso sostenido del suelo, pero también la realización de prácticas agrícolas, vegetativas mecánicas y/o estructurales que disminuyan sus pérdidas a través de su incidencia en la fase de desprendimiento y transporte. Cabe señalar que resolver problemas relacionados a la erosión hídrica, requiere trabajar bajo un enfoque integral que conjugue los factores abióticos y bióticos que afectan la dinámica natural del fenómeno, pero también que incluya a

la parte social como uno de los elementos fundamentales que influyen tanto en la degradación y como en la conservación del suelo. En este sentido el enfoque de cuencas resulta idóneo para abordar los trabajos de conservación de suelo relacionados con el control de la erosión hídrica, así como en la evaluación y seguimiento de las medidas implementadas.

3 ANTECEDENTES

En este apartado se expone las diversas metodologías que se han utilizado en estudios internacionales, nacionales, y locales para la estimación de la erosión hídrica. Incluyendo estudios de caso (internacionales, nacionales y locales) donde se han evaluado las prácticas de conservación de suelos con fines de reducir la erosión hídrica. De estos estudios se sintetiza el método que utilizaron, las técnicas y herramientas que son referentes para delimitar el marco metodológico del presente estudio. Para concluir el apartado se presentan las políticas, programas e instituciones que han impulsado trabajos de conservación de suelos en México, con la finalidad de tener un punto de partida para la localización y análisis de las prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio.

3.1 Medición de la erosión hídrica

El tema de la erosión hídrica del suelo ha sido preocupación global por lo que se han realizado numerosas investigaciones y trabajos a nivel nacional como en diferentes países del mundo, los cuales intentan describir la magnitud que representa la erosión hídrica en sus sistemas agrícolas y forestales, a menudo con la finalidad de desarrollar las mejores estrategias para contrarrestar su efecto. A continuación, se muestran estudios que tienen aporte en cuanto a metodologías aplicables o variables de análisis al tema de investigación.

3.1.1 Antecedente internacional

En España, Carvajal y Giráldez (2000), estimaron la erosión del suelo y la producción de sedimentos en la cuenca del río Cubillas-Colmera, a través de un modelo compuesto por la USLE y un coeficiente de entrega de sedimentos propuesta por Dickinson y Rudra (1990), el modelo fue abordado en un sistema de información geográfica. Se determinó que el método empleado estima bien los niveles erosivos de las cuencas y las cantidades de sedimentos aportados a sus respectivos embalses.

Dentro del mismo país, Bodoque *et al.* (2001), evaluaron la erosión hídrica y la degradación específica en la cuenca vertiente al embalse de Puente Alta (Segovia) a partir de métodos de estimación directos e indirectos. El método directo consistió en medir el volumen de aterramiento del embalse y a partir de éste la degradación

específica. Con el método indirecto se estimó la erosión hídrica y consistió en la combinación de la USLE y el coeficiente de entrega de sedimentos (CES), las variables que intervienen en la estimación fueron integrados en un Sistema de Información Geográfica (SIG). La comparación entre ambos métodos muestra una correlación alta en sus resultados, lo que pone de manifiesto la utilidad del procedimiento empírico para situaciones fisiográficas similares.

Febles y Vega (2016) estimaron el aporte de la erosión hídrica al azolve del embalse Mampostón, localizado en la provincia Mayabeque, Cuba. Se aplicó la metodología CORINE para obtener un mapa del Índice de Erosión Actual e identificar los sectores con categorías elevadas donde se trazaron perfiles para cuantificar, con el modelo MMF (Morgan, 2001), el volumen de sedimentos que llega al embalse. En la metodología CORINE se trabajan datos espacialmente distribuidos de la cobertura edáfica, del relieve, precipitaciones y del uso del suelo, en el ambiente de un SIG. El MMF posee las facilidades de un enfoque empírico, expresa mejor las características del proceso erosivo dividido en dos fases: una hídrica y otra de sedimentos.

Bonilla *et al.* (2010), estimaron la erosión hídrica en el condado de Santo Domingo, Chile, a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) integrada a un SIG para evaluar el efecto de distintas combinaciones de cubierta vegetal en las tasas de erosión. La implementación de RUSLE en el SIG requirió la caracterización de suelos, clima, relieve y uso actual del territorio, dicha información se compiló en grillas con celdas de 25 x 25 m así mismo el valor de los parámetros de la ecuación se asignó por cada celda. El estudio permitió seleccionar un escenario de cobertura para reducir la erosión y no amenazar el potencial productivo de los suelos.

En Venezuela, Mejía *et al.* (2010) llevaron a cabo una evaluación cualitativa y cuantitativa de la erosión hídrica en la microcuenca Aguas Calientes, ubicada en el estado de Mérida. Para la evaluación cualitativa de la erosión se utilizó el modelo paramétrico de Albaladejo *et al.* (1988) el cual se basa en la delimitación de unidades fisiográficas homogéneas, en las que los factores condicionantes de los procesos de erosión muestran homogeneidad. En la evaluación cuantitativa se estimaron los factores que condicionan la erosión contemplados en la USLE, y algunos de ellos se calcularon con las adecuaciones realizadas a la ecuación (RUSLE).

Benites (2017), en su tesis de licenciatura analizó la erosión hídrica obtenida por métodos indirectos (USLE) y a través de una medición directa utilizando varillas en zonas de alta erosión. En el primer caso se tuvieron dos escenarios: 1) aplicación del modelo USLE con la determinación de sus parámetros clásicos; y 2) aplicación de la USLE con las mejoras dispuestas en sus diferentes parámetros, como la

inclusión de las cuatro restricciones del nomograma del factor erodabilidad (k). El escenario dos presentó mayor confiabilidad respecto a los valores observados en varillas, concluyendo que el modelo es aceptable para zonas de erosión alta y muy alta.

3.1.2 Antecedente nacional

Respecto a los estudios nacionales, se tiene el trabajo de Bolaños *et al.* (2016), quienes elaboran un mapa nacional de erosión (escala 1:50 000), el cual considera cinco grados (extrema, fuerte, moderada, leve y suelo estable) y tres formas de erosión hídrica (lineal, planar y masiva). Este trabajo consolida un esfuerzo de varios años en la compilación de diversas fuentes de información para que mediante técnicas de fotointerpretación de imágenes de satélite de alta resolución, cartografía especializada e información tomada en campo (perfiles de suelo y fotografías panorámicas georreferenciadas, estudios y descripciones de campo sobre erosión) se concrete un mapa nacional donde se muestra que el 76 % de la superficie nacional tiene algún grado de afectación por erosión hídrica.

De forma regional, Prado *et al.* (2017) calibraron los modelos de pérdida de suelo por erosión hídrica USLE y MUSLE con información experimental en la microcuenca El Malacate, ubicada en Pátzcuaro, Michoacán. Como resultado, se encontró que el modelo USLE no logró representar las características de la cuenca ya que los resultados de la tasa de entrega de sedimentos reportada en cuencas similares no se asemejan al valor obtenido en la cuenca de estudio. En cambio, el modelo MUSLE se calibró satisfactoriamente mediante el ajuste del factor K calculado con datos experimentales. Por lo cual se llegó a la conclusión de que el modelo calibrado MUSLE puede utilizarse para estimar la producción de sedimentos en cuencas de condiciones similares cuando no se cuenta con suficiente información hidrométrica y de precipitación.

Colín *et al.* (2013), realizaron una evaluación de la tasa de erosión hídrica en la cuenca del río Pichucalco, localizada en los estados de Chiapas y Tabasco, para ello utilizaron la USLE y SIG. Para determinar el uso y cobertura del suelo emplearon imágenes de satélite Rapid Eyes (2009), resolución de 5 m; crearon *raster* para cada componente de la ecuación y se multiplicaron con la herramienta Álgebra de mapas de ArcGIS. Las tasas de erosión resultantes sirvieron para recomendar prácticas de conservación de suelo en zonas con alto valores de erosión. Con el mismo método Castro (2013) estimó la pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca de presa Madín, ubicada en la zona metropolitana del México, en dicho

estudio se encontró que el efecto de la cobertura (factor C) es determinante ya que al contemplarla la erosión en su condición severa pasa a una incipiente.

Bajo un enfoque participativo, Ramírez *et al.* (2011) llevaron a cabo una evaluación de la degradación del suelo en predios ganaderos de la Reserva de la Biosfera Mapimí. Se realizaron diagnósticos participativos para identificar los recursos y las necesidades existentes en las áreas degradadas basado en la herramienta propuesta por Geilfus (2001). La información recabada fue utilizada para la definición de criterios de selección de predios para implementar actividades de investigación-acción relacionada con la degradación de los suelos, basados en los criterios de evaluación recomendados por De Shutter (1983).

3.1.3 Antecedente local

Son escasos los estudios que se han realizado en la zona para evaluar la erosión hídrica, el más reciente fue el de Batalla (2013), que como parte de su tesis de maestría titulada “Efecto del cambio de uso de suelo en el aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan, Reserva de la Biósfera Sierra Gorda Querétaro”, determinó las pérdidas de suelo en las microcuencas aportadoras a la Presa Jalpan empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). El resultado fue una pérdida de 232 kg/m² al año para toda la zona de estudio. En este estudio también se generaron escenarios hipotéticos de pérdida de suelo, utilizando diversas coberturas de suelo, intensidades de lluvia y simulando la aplicación de prácticas de conservación.

Otros estudios realizados en zona de estudio y que de alguna forma se vinculan a los procesos erosivos, son los siguientes:

Ríos (2015) estimó la tasa de cambio de las cubiertas del suelo en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, en apego al protocolo para la Evaluación del Uso de Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México. El análisis se realiza mediante el tratamiento de imágenes de satélite de alta resolución (Landsat, SPOT5, SPOT6) utilizando un método híbrido o mixto que incluye técnicas de tratamiento digital y de interpretación visual a escalas finas, así como la verificación en campo y el uso SIG. Como resultados se obtuvo una tasa de transformación de cobertura y uso de suelo para el periodo de 2000-2010 de 278 ha por año; en el caso del uso forestal se perdieron un total de 2,775 ha, siendo la selva baja caducifolia y el bosque de encino los ecosistemas más afectados por deforestación para pastizales y áreas agrícolas.

Ramos (2014), en su trabajo titulado “Propuesta de norma para el monitoreo participativo de calidad de agua en ríos usando macroinvertebrados acuáticos”, encontró datos importantes de la calidad del agua en los ríos Escanela y Jalpan, los cuales están directamente relacionados con las actividades de los asentamientos humanos aledaños, la deficiencia del drenaje y tratamiento de aguas residuales. Un trabajo similar lo realizó Torres (2018), quién a través del concepto de integridad ecológica, evaluó las condiciones del río Jalpan, buscando la relación de la calidad del agua con la forma de división y manejo del territorio. Por otro lado, Durán (2018) realizó un estudio integrado para el manejo de moluscos acuáticos exóticos en la microcuenca del río Jalpan, con la intención de buscar un mercado para regular sus poblaciones y guardar el equilibrio del ecosistema. Cabe mencionar que estos trabajos se desarrollan bajo un enfoque de cuencas y aportan en la caracterización de la zona de estudio.

De las investigaciones anteriores se rescata que la erosión hídrica es un tema de interés a nivel global por las consecuencias que trae en los ecosistemas forestales y agrícolas. Las distintas propuestas de cuantificación de la erosión presentan grandes diferencias en cuanto a las variables contempladas, complejidad matemática, en los procesos que describen o intentan simular, el tratamiento espacial y temporal de la información y los resultados finales que arrojan. En general la dificultad y costo de mediciones directas de las pérdidas de suelo hace más viable el uso de métodos indirectos para su estimación, utilizando en su mayoría modelos predictivos de tipo empíricos que usualmente se vinculan con el uso de Sistemas de Información Geográfica. En este sentido, conocer las diversas metodologías para estimar la erosión hídrica permite elegir el método, herramientas y variables que mejor se adaptan al objetivo de la investigación y a las condiciones ambientales de la zona de estudio.

3.2 Evaluación del efecto de las prácticas de conservación en la reducción de la erosión hídrica.

Las prácticas de conservación de suelo han evolucionado paulatinamente para dar respuesta a los problemas de degradación que ocurren en todos los continentes, sin embargo, los trabajos usualmente se quedan en la etapa de ejecución y pocos trascienden hacia el seguimiento y evaluación de su eficiencia, ello resulta en que se sigan reportando elevadas tasas de pérdida de suelos. Los estudios que se presentan a continuación son algunos de los esfuerzos que se han encontrado a nivel internación, nacional y local, donde evalúan el efecto de las prácticas de conservación en la reducción de la erosión hídrica, aunque son pocos, constituyen una base importante con la que se puede contrastar los resultados del presente

estudio, así mismo son un referente para la propuesta de mejores prácticas de conservación.

3.2.1 Antecedente internacional

Xiong *et al.* (2018) realizaron un estudio para evaluar los efectos de diversas tecnologías de conservación de suelo (SCT) en el control de la erosión hídrica y escorrentía, a través de un meta-análisis en 1589 parcelas de medición distribuidas en 22 países. Las tecnologías identificadas se dividieron en tres grupos: técnicas biológicas (TBs) que utilizan el efecto protector de las plantas para reducir la erosión, técnicas de manejo del suelo (STs) para mantener la fertilidad y estructura del suelo, y técnicas de ingeniería (ETs) que controlan el movimiento del agua. Los resultados del estudio muestran que las técnicas de conservación del suelo en general son más efectivas en reducir las pérdidas de suelo anuales (84 %) que en la reducción de la escorrentía anual (53 %). Las TBs y ETs fueron más efectivas que las STs en controlar las pérdidas de suelo, mientras que las ETs fueron menos eficientes que las BTs y STs en reducir la escorrentía. Del análisis del efecto de las SCT en diferentes usos de suelo se obtuvo que estas son más eficientes en huertos, seguido de aquellas aplicadas a suelos desnudos y tierras de cultivo y estos a su vez varían con la pendiente. Así también comparando la eficiencia en zonas climáticas, se determinó que las SCT son más efectivas en terrenos de cultivo en zonas templadas y sobre suelos desnudos en zonas tropicales.

Vásquez y Tapia (2011), en su artículo titulado “Cuantificación de la Erosión Hídrica Superficial en las Laderas Semiáridas de la Sierra Peruana”, evaluaron el efecto de las zanjas de infiltración en el control de la erosión hídrica. Se instalaron parcelas con varillas de erosión en áreas tratadas con zanjas de infiltración y en áreas contiguas sin actuación bajo las mismas condiciones biofísicas (parcelas pareadas). La lectura de las varillas se realizó durante un año después del cese de la última lluvia. Los promedios de erosión con zanjas de infiltración y sin zanjas fueron de 24.44 y 45.04 t/ha/año respectivamente, llegando a la conclusión de que las zanjas de infiltración son una práctica efectiva para el control de la erosión y la captación de agua de lluvia en laderas de zonas semiáridas.

Olivares *et al.* (2015), evaluaron la bondad en la estimación de la erosión hídrica del modelo USLE bajo diferentes situaciones de manejo de suelo en la Región San Pedro de Melipilla, Chile. Primero evaluaron las pérdidas de suelo con datos de sedimentos tomados en parcelas experimentales con tratamientos de subsolado, zanjas de infiltración y un tratamiento testigo llamado pradera natural. Los valores medidos en las parcelas de erosión se compararon con los valores estimados con

el modelo USLE aplicando dos adaptaciones en el factor R; la primera fue desarrollada por el ICONA y la segunda, mediante una ecuación con el Índice de Fournier Modificado (IFM). La comparación entre métodos se realizó con el sistema computarizado IRENE. Como resultado se obtuvo que el modelo USLE fue capaz de establecer aproximaciones con relación a la tendencia de los datos tomados en las parcelas experimentales. El tratamiento de pradera natural (testigo) presentó valores de erosión menores a los tratamientos de subsolado y zanjas de infiltración lo cual evidencia que dichas prácticas de preparación del suelo y conservación no tienen un efecto significativo en cuanto a la disminución de la cantidad de sedimentos registrado en la zona de estudio.

En países de la Unión Europea (UE), Panagos *et al.* (2015) modelaron el efecto de las prácticas de soporte (factor P) en la reducción del riesgo de erosión hídrica. Las prácticas contempladas fueron agricultura en contorno, muros de piedra y las franjas de hierba, incluidas en la política agrícola de estos países. El efecto de la agricultura en contorno se estimó en función de la pendiente del terreno y valores tabulados propuestos por Morgan (2005). El impacto de los muros de piedra se determinó con un modelo que contempla cuatro escenarios donde se combinan diversos usos del suelo, erosividad pluvial, erodabilidad del suelo, condiciones topográficas y diferentes densidades de muros. También se consideró el impacto general de los muros de piedra sobre las pérdidas de suelo a través de sitios experimentales. El impacto de las franjas de hierba se obtuvo mediante la consulta de valores ya tabulados en la literatura, de acuerdo con las densidades de franja. Para evaluar el impacto general de los muros de piedra y franjas de hierba en toda la Unión Europea, se requirió de la interpolación con el método *Kriging* usando como base las observaciones terrestres de Land Use and Cover Area frame Surve (LUCAS) 2012. Las prácticas en conjunto lograron reducir en un 3 % el riesgo de la erosión estimada para la UE. La práctica con mayor impacto en la reducción del riesgo de la erosión fueron las franjas de hierba (57 % de la reducción total).

En Colombia, Cortés y Vargas (2017) estudiaron la efectividad que tienen las barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración y terrazas en laderas, para controlar las pérdidas de suelo y la escorrentía en el municipio Guasca. Implementaron un sistema de parcelas completamente al azar en las áreas donde se encuentran instaladas las cuatro estrategias de conservación de suelo (tratamientos) y un testigo. En cada parcela se estimó el volumen de agua escurrido mediante colectores y registros de precipitación por medio de pluviómetros y en laboratorio se separó el material sólido para obtener las pérdidas de suelo. Se llevó a cabo un análisis estadístico para encontrar diferencias significativas entre tratamientos. El resultado de la investigación fue que las zanjas de infiltración son las más efectivas en el control de agua de escorrentía con pérdidas de 13,8 mm y

pérdidas de sedimentos de 428kg/ha, en comparación con los tratamientos testigos en los cuales se obtuvieron pérdidas de 15,4 mm y 3757 kg/ha respectivamente.

3.2.2 Antecedente nacional

Jiménez (2010) llevó a cabo la evaluación de cinco tipos de obras de conservación de suelos (terrazas, bordos, zanjas bordo, tinas ciegas y roturaciones) en el distrito de Coixtlahuaca, Oaxaca, México. En dicha evaluación se analiza la influencia de las obras en los procesos erosivos, sus beneficios con relación al coste, y sus repercusiones socioeconómicas, culturales y ambientales. Se desarrolló una metodología que incluía el análisis visual *in situ* de su efecto sobre los procesos erosivos (establecimiento de parcelas pareadas), el análisis en laboratorio sobre los cambios del suelo, un estudio de coste de ejecución y entrevistas con agricultores, autoridades locales, entidades no gubernamentales y habitantes en general del distrito, así como una revisión documental histórica. Atendiendo únicamente al criterio del control global de los procesos erosivos, los mejores resultados los obtuvo los sistemas de terrazas (eficiencia muy alta) y los bordos para agricultura (eficiencia alta).

Camas *et al.* (2012) en su investigación “Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México” evalúan los sistemas de manejo de tierras tradicionales como el cultivo de maíz intercalado con árboles frutales (MIAF); maíz con barreras de muros vivos (MBMV) y maíz con labranza de conservación (MLC), en relación con el escurrimiento superficial, entrega de sedimentos y pérdida de nutrientes. Para evaluar el escurrimiento superficial y la pérdida de suelos, se instalaron en la salida de cada microcuenca equipo especializado (vertedor tipo H, leveloggers Solinst y rueda muestreadora tipo Coshocton). La entrega de sedimentos de cada evento de lluvia se determinó con la toma de muestra de agua con sedimentos totales en suspensión. Los resultados mostraron que el coeficiente de escurrimiento y la degradación específica de suelo fueron similares y más bajos en las microcuencas MIAF y MBMV que en la microcuenca con MLC.

Por otro lado, Cotler *et al.* (2015), llevaron a cabo una investigación titulada “Evaluación de las prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera”. En este estudio se evaluaron las zanjas trincheras en 28 sitios distribuidos en siete estados (Baja California Sur, Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, Michoacán, Tlaxcala y Veracruz). Se establecieron sitios de control (áreas no influenciadas por las zanjas) y sitios con zanjas trinchera, donde se evaluaron las siguientes variables: estabilidad de agregados, carbono orgánico, Infiltración y humedad a capacidad de campo. También se realizaron entrevistas a las personas que participaron en la construcción de las zanjas para conocer su

percepción de estas. Los resultados de su investigación arrojan que esta práctica no resulta recomendada para la retención de suelos, no mejora las condiciones de retención de humedad y no son adoptadas por la población, además de que generan pérdida de suelos a consecuencia de la excavación.

Andrade *et al.* (2017) en su libro titulado “Evaluación, protección y conservación de suelos agropecuarios en el norte de Tamaulipas”, presentan la metodología utilizada para evaluar las prácticas de conservación de suelo y agua que ellos mismos realizaron, con la finalidad de presentar a los agricultores y a los habitantes de las comunidades involucradas, el beneficio de poner en práctica dichas acciones de conservación y producción. De las obras de conservación evaluadas, los diques, mostraron muy buen comportamiento en la captación de agua *in situ*, reduciendo significativamente el escurrimiento en las parcelas. Las cortinas rompeviento fueron la práctica más aceptada por parte de los productores. El subsolado es una práctica poco generalizada, pero resulta adecuada para atenuar el proceso de erosión hídrica.

3.2.3 Antecedente local

Parte del estudio de Batalla (2013) fue la modelación de la erosión hídrica en las microcuencas tributarias a la presa Jalpan, utilizando la USLE bajo un escenario real y escenarios hipotéticos con diferentes intensidades de lluvia, cobertura vegetal y aplicación de prácticas de manejo. Las prácticas de conservación (Factor P), tienen una función importante en la reducción de las tasas de erosión potencial, pero en la estimación de Batalla (2013) no se pudo contemplar su impacto real en los procesos erosivos ya que actualmente no se ha realizado una localización y caracterización de las prácticas con esta finalidad, dentro de la región.

No se encontraron otros estudios que aborden el tema en la zona de estudio, por lo que la presente investigación aportaría información valiosa sobre la situación actual de las prácticas de conservación promovidas por diversas instituciones gubernamentales y no gubernamentales, así como el impacto que tienen en la reducción de la erosión hídrica.

3.3 Políticas y programas para la conservación de suelos en México

En México, a raíz de vislumbrar las consecuencias ambientales, económicas y sociales que acarrea la degradación de los suelos, se han impulsado leyes, políticas y programas en materia de conservación de suelos. A pesar de ello, los costos que adquiere la degradación son cada vez más altos. Esto se debe en gran parte porque la respuesta institucional ante la degradación del suelo sigue siendo débil y dispersa. De las leyes que regulan este recurso, sólo la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), considera al suelo como un recurso natural que debe ser sujeto a un aprovechamiento sustentable y que debe conservarse (Cotler *et al.*, 2007).

Las acciones de conservación en México se iniciaron en la década de 1940, con la creación del primer Departamento de Conservación de Suelos quien tenía la función de llevar a cabo programas de conservación de suelos en áreas agrícolas, sin embargo, en las siguientes décadas este esfuerzo de conservación perdió fuerza debido a la presión que ejerció la revolución verde donde se priorizó el incremento de la producción agrícola sobre el tema de conservación de suelos (González *et al.* 2020).

Fue hasta el 2001 con la creación de la CONAFOR cuando se volvieron a retomar los trabajos de conservación de suelo de manera significativa, atendiendo las zonas forestales del país mediante la puesta en marcha del *Programa Nacional de Suelos Forestales* (que comenzó a operar hasta el 2002) a través de dos subprogramas: el de Protección (acciones de prevención) y el de Conservación y Restauración de Suelos Forestales. Durante el periodo de 2001 a 2009 se atendió una superficie de 509 209 ha con el discurso de conservación de suelos (SEMARNAT, 2014).

En la actualidad, los temas ambientales aún cuentan con escaso peso político, ello reflejado en el presupuesto que se le asigna en cada sexenio, tan sólo del año 2019 al 2020 la protección ambiental tuvo una disminución presupuestaria de -2,647.4 millones de pesos (Ríos, 2020). La ausencia de estímulos para la investigación científica en materia de degradación y conservación de suelos lleva a mantener un conocimiento general y poco preciso de las causas y consecuencias de este proceso en México, a su vez se refleja en el diseño de acciones de conservación poco eficientes (Cotler *et al.* 2007). Adicionalmente otra de las limitantes que presenta la conservación de suelos es la falta de apropiación de las prácticas por parte de los dueños del terreno; y la falta de seguimiento y evaluación de los programas de conservación que permitan mejorarlos.

A nivel federal la competencia más importante para regular e intervenir en materia de suelos, la tiene la SEMARNAT que, a su vez está regulada por la LGEEPA. Otras secretarías que inciden en el manejo del suelo son la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (antes llamada Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) y la Secretaría del Bienestar (antes llamada Secretaría de Desarrollo Social). Entre las dependencias federales que tienen atribuciones administrativas que inciden sobre los suelos están la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Actualmente, los programas gubernamentales dedicados al control de la erosión de suelos son impulsados principalmente por la CONAFOR cuando se trata de suelos forestales y por SADER cuando son suelos agrícolas (Garrido y Cotler, 2010). De forma particular, la CONAFOR, durante el periodo 2013-2015 intervino 581,665 hectáreas con prácticas de conservación de suelos (Tejeda, 2016).

CONAFOR a través del programa de apoyo para el desarrollo forestal sustentable (PADFS), históricamente con distintas denominaciones (Figura 1), apoya la ejecución de acciones y proyectos para la recuperación de la cobertura forestal, y la conservación y restauración de suelos ubicados en cuencas con terrenos forestales en proceso de degradación. De forma particular, en el componente IV del PADFS correspondiente a “Servicios ambientales (SA)”, se apoya un conjunto de acciones destinadas a mantener los ciclos hidrológicos y procesos hídricos, entre ellas evitar la erosión del suelo a través de prácticas mecánicas y vegetativas. Por años la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda se encuentra sujeta al pago por estos servicios ambientales como lo muestran las áreas legibles en las reglas de operación que se actualizan año con año (CONAFOR, 2022).

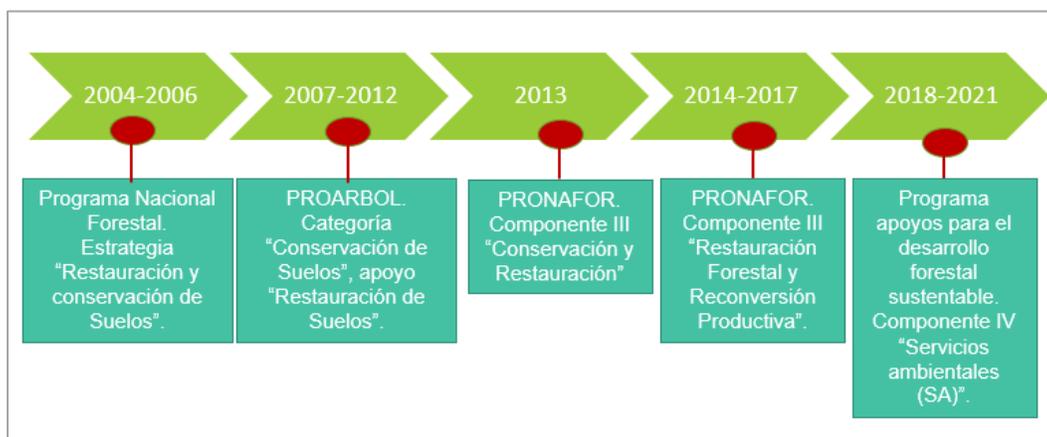


Figura 1. Línea de tiempo de los programas de la CONAFOR para el fomento de la conservación de suelos. Elaboración propia con datos de la CONAFOR (2020).

Por otra parte, con recursos de la federación, el ANP Reserva de la Biósfera Sierra Gorda, ejecuta el “Programa para la protección y restauración de ecosistemas y

especies en riesgo (PROREST)”, cuyo componente “Restauración Ecosistémica”, apoya la restauración de suelos degradados en sitios con alto grado de erosión para conservar el suelo fértil, así como la retención e infiltración de agua a través de obras y prácticas de conservación de suelos (acomodo de material vegetal muerto en curvas de nivel, presas filtrantes de piedra acomodada, presas de morillos y/o ramas, obras de conservación de suelo en cárcavas, barreras de piedra en curvas a nivel, cercos vivos, cortinas rompevientos, presas vegetativas, terrazas individuales para renuevos de pinos, frutales y/o cultivos de café, entre otras).

Además de los anteriores programas gubernamentales, en la zona de estudio se han sumado esfuerzos de diferentes organizaciones no gubernamentales, como la asociación civil “Grupo Ecológico Sierra Gorda I. A. P. (GESG)”, fundada en 1987. Sus primeros esfuerzos estaban concentrados principalmente en la reforestación y en la construcción de barreras física que detuvieran el suelo. A medida que creó alianzas con otras organizaciones nacionales e internacionales es como diversificó sus actuaciones en pro de la conservación de los suelos; por ejemplo, la fundación mexicana Gonzalo Río Arronte le ha proporcionado fondos para los trabajos de conservación de suelos y cuencas en la reserva durante los últimos años (GESG I. A. P., 2020).

Los programas de manejo y conservación de suelos que se realizan en la zona de estudio y en general en todo el territorio nacional, no cuentan con acciones de monitoreo de sus resultados, por lo tanto, no se conoce a ciencia cierta su eficiencia ni eficacia. De las pocas evaluaciones que se han realizado a los programas, el éxito lo han considerado en función del número de obras construidas o superficie beneficiada y no en términos más integrales, como la recuperación de la calidad del suelo o disminución de los procesos erosivos. La escasa evaluación y seguimiento de las prácticas de conservación de suelo son causa de una implementación generalizada que no considera de manera objetiva las condiciones geográficas y ecológicas específicas de cada sitio, ya que no se encuentran definidas las condiciones bajo las cuales pueden funcionar con mayor eficiencia, al mismo tiempo, esta situación evidencia la debilidad de las políticas públicas aplicadas en la conservación del suelo (Cotler *et al.* 2015).

Consideraciones finales

Los estudios de estimación y evaluación de la erosión hídrica son muy amplios a nivel mundial y nacional, la mayoría de los métodos y técnicas que fueron revisados en este apartado hacen uso de modelos empíricos basados en la USLE y el uso de tecnologías de la información geográfica (SIG y teledetección). En contraste, las

investigaciones para evaluar el efecto de las prácticas de conservación en la reducción de la erosión hídrica son escasas, sobre todo a nivel local.

Con base en estos aportes, la elección del modelo USLE como método para estimar la erosión hídrica en este estudio, se debe a la factibilidad para la estimación de sus variables, a su alta fidelidad y aplicabilidad en superficies grandes como la de la zona de estudio, lo cual ya se ha demostrado en una gran cantidad de trabajos realizados a escala global con fines científicos y de planificación. Sin embargo, el argumento de mayor peso para su empleo tiene que ver con su aplicabilidad para modelar el impacto de las prácticas de conservación de suelos en la reducción de la erosión hídrica, atendiendo así uno de los objetivos de la investigación.

La aplicación del modelo USLE en el presente estudio tiene la peculiaridad de que las variables que la integran se estimarán con mayor grado de detalle comparado con otras evaluaciones que se han realizado en la región, y en el caso del factor P se hace una previa localización y análisis *in situ* de las prácticas de conservación de suelos en la subcuenca para asignar valores reales, ya que generalmente en muchos de los estudios suele omitirse el factor P (se asigna valor de 1) debido a que no se cuenta con una base de datos de las prácticas de conservación sobre todo en áreas extensas, o simplemente no existen tales prácticas. Por lo tanto, el aporte de este estudio es presentar un análisis de las prácticas de conservación que realizan diversas instancias gubernamentales y otras asociaciones de la sociedad civil, así como generar una propuesta para el manejo de erosión en zonas con mayor grado de riesgo, lo cual favorece a tomar mejores decisiones para reducir los procesos erosivos.

4 ZONA DE ESTUDIO

Las dimensiones de una cuenca hidrográfica lo dan los límites de los parteaguas que encierran al escurrimiento principal y que corresponden a las elevaciones de mayor altitud donde los afluentes se vierten en sentidos contrario, es decir que drenan hacia una cuenca vecina (Novoa, 2011). En este caso, el área de estudio ha sido definida como la subcuenca Presa Jalpan, conformada por tres microcuencas: Ahuacatlán de Guadalupe, Pinal de Amoles y El Ranchito (Figura 2), las cuales funcionan a manera de un solo sistema conductor de los flujos superficiales de agua que convergen en la presa Jalpan. Bajo este límite físico se pueden comprender mejor los procesos erosivos, de transporte y sedimentación que influyen directamente en la capacidad de almacenamiento del embalse.

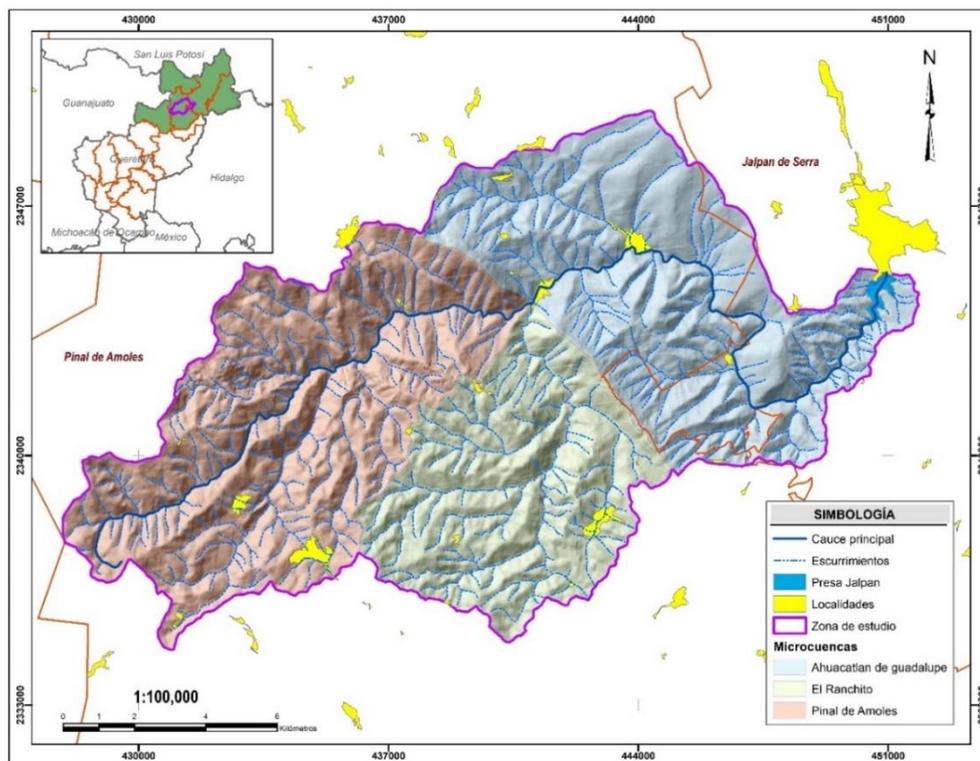


Figura 2. Localización de la zona de estudio. Elaboración propia con datos de FIRCO (2005) e INEGI (2021).

La zona de estudio cuenta con una superficie de 189.68 km², una extensión perimetral de 78.18 km y un rango altitudinal que abarca desde los 759 a los 3100 msnm. El 87.04 % (165.10 km²) de la superficie se encuentra en el municipio de Pinal de Amoles y el 12.96 % (24.57 km²) en el municipio de Jalpan de Serra. Sus coordenadas extremas (UTM ITRF92 zona 14 N) son: 2349744.35 N, 2334566.68 S, 451884.76 E y 427913.25 W.

En términos hidrológicos, la zona de estudio se localiza dentro de la región RH26 Río Pánuco, en la cuenca del Río Tamuín, subcuenca denominada Río Santa María Bajo. Fisiográficamente forma parte de la provincia V Sierra Madre Oriental, subprovincia Karst Huasteco Norte. Así mismo, se encuentra al interior del ANP de competencia federal denominada “Reserva de la Biosfera Sierra Gorda” (Figura 3), decretada el 19 de mayo de 1997 debido a su importancia biológica, grado de conservación de sus elementos y por la gran variedad de ecosistemas presentes (DOF, 1997). Específicamente se localiza en la zona de amortiguamiento cuya función es proteger a las zonas núcleo (zonas mejor conservadas o no alteradas) de los impactos provocados por el desarrollo de actividades antropogénicas que realizan las comunidades circundantes (INE, 1999).

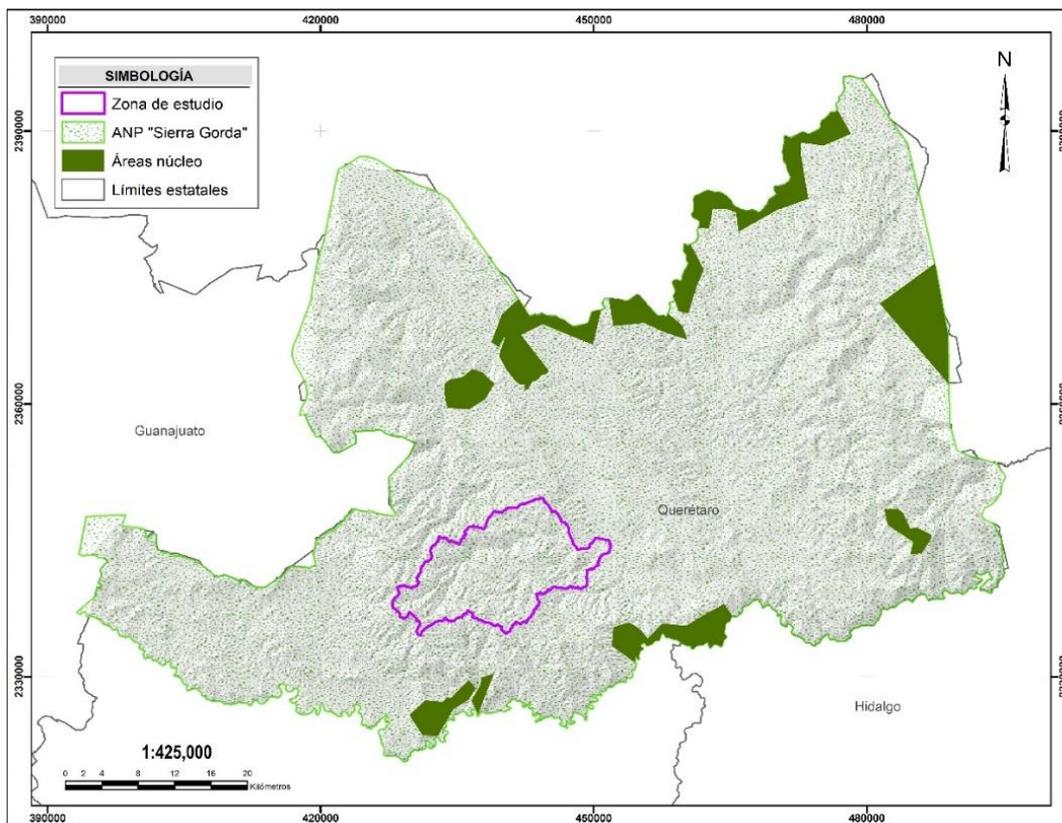


Figura 3. Localización de la zona de estudio respecto a la “Reserva de la Biosfera Sierra Gorda”. Elaboración a partir de datos espaciales de las Áreas Naturales Protegidas Federales de la República Mexicana CONANP (2017).

En relación con las áreas de importancia para el conocimiento y conservación de la biodiversidad de México instrumentadas por la CONABIO, como lo son las Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP), las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) y las Áreas de Importancia para la Conservación de Aves (AICA). La zona de estudio se localiza dentro de la RHP- 71 “Confluencia de las Huastecas”, clasificada como región de alta biodiversidad (AAB) y región amenazada (AA) (Arriaga *et al.*, 2002).

Así mismo, se encuentra inmersa en la RTP-101 “Sierra Gorda – Río Moctezuma”, cuya importancia radica en su alta diversidad de tipos de vegetación y endemismos (Arriaga *et al.*, 2000). Además, se localiza en el AICA C-06 “Reserva de la Biosfera Sierra Gorda”, sitio importante para el refugio de aves como *Crax rubra*, *Penelope purpurascens*, *Amazona viridigenalis* y *Dendrortyx barbatus*, entre otras (CONABIO, 2015).

Cabe mencionar que la presa Jalpan, sitio donde desemboca toda la red de drenaje de la zona de estudio, es considerado como un humedal de importancia internacional, designación recibida el 02 de febrero de 2004 por la convención RAMSAR, por ser una zona de refugio y alimentación de aves migratorias y residentes (CONANP, 2020).

Así también en el 81.67 % de la superficie de la subcuenca se localizan áreas elegibles (prioritarias) de pago por servicios ambientales, definidas en las reglas de operación del “Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable”, operado por la CONAFOR (Figura 4). Son apoyos que se dan para mantener los ciclos hidrológicos y procesos hídricos (áreas de pago, 1, 2 y 3), tales como: la recarga de acuíferos y evitar la erosión del suelo; así como el uso sustentable de la biodiversidad en ecosistemas forestales (área de pago 4, 5 y 6) (CONAFOR, 2022).

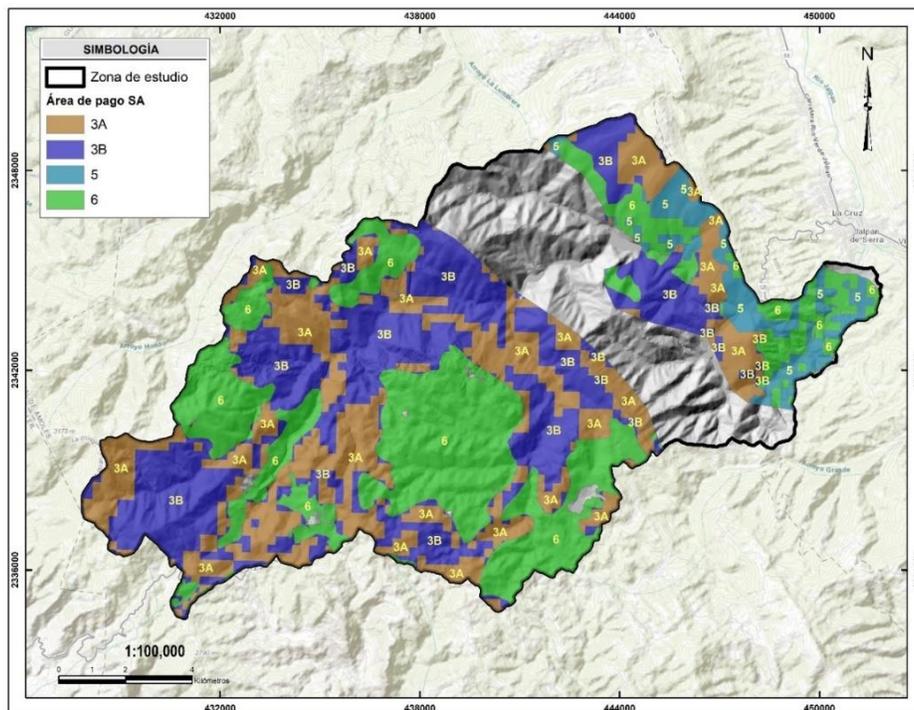


Figura 4. Áreas elegibles para el pago por servicios ambientales. Elaboración propia con datos de la CONAFOR (2022).

4.1 Caracterización socioambiental de la zona de estudio

4.1.1 Morfometría de la cuenca

La subcuenca Presa Jalpan presenta un área de 189.68 km², un perímetro de 189.68 km², pendientes que van de los 0° a 75.96°, y altitudes entre los 760 a los 3100 msnm. Los indicadores de forma catalogan a la subcuenca como alargada, con fuertes relieves y pendiente pronunciada, lo cual a su vez indican que tiene menor probabilidad de presentar crecidas y por lo tanto existe menor riesgo de inundaciones en las partes bajas (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores de forma en la subcuenca Presa Jalpan

<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Característica en la cuenca</i>
Coeficiente de compacidad o índice de gravelius(K)	1.60	Forma oval oblonga a rectangular
Factor de forma (Rf)	0.32	Cuenca alargada
Relación de elongación (Re)	0.64	Relieve fuerte y pronunciado
Índice de alargamiento (Ia)	1.62	Moderadamente alargada
Índice de homogeneidad (Ih)	0.52	Moderadamente alargada

Fuente: elaboración propia.

El relieve de la cuenca se describió mediante la curva hipsométrica y pendiente, los cuales están directamente relacionadas con su evolución geológica. El sistema de microcuencas presenta una pendiente media de 47.98 % (24.43°), indicando un relieve “Muy fuerte”, y, por lo tanto, predomina la erosión y transporte de materiales que se depositan en la parte media y baja de la misma. La curva hipsométrica clasifica a la subcuenca como madura, esto quiere decir que los procesos erosivos y de sedimentación se encuentran en equilibrio (Figura 5).

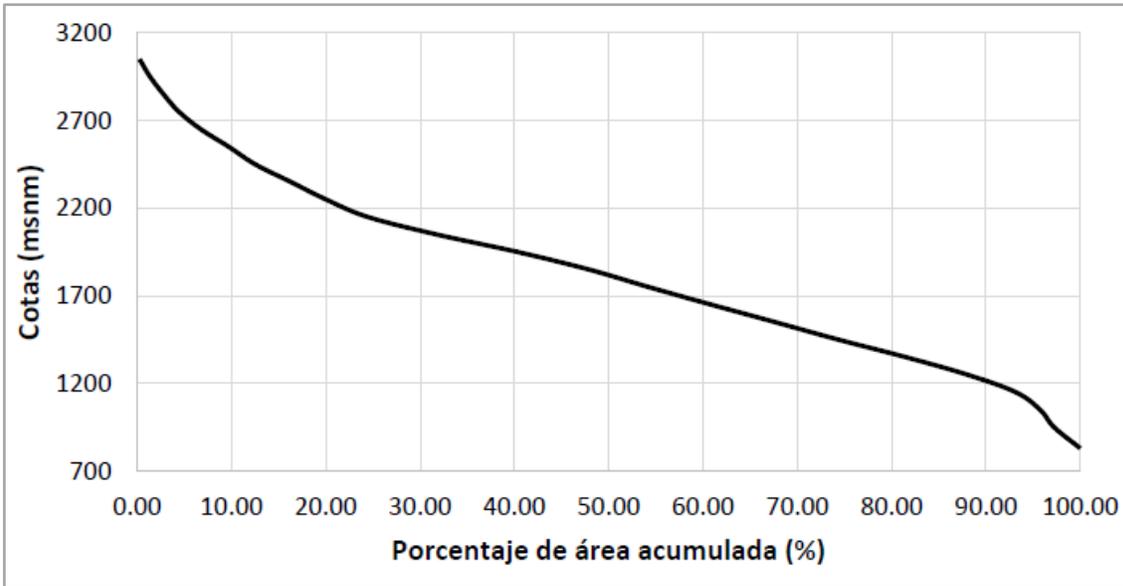


Figura 5. Curva hipsométrica de la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia.

A través de los indicadores morfométricos sobre el drenaje, la subcuenca se clasifica como exorreica con drenaje dendrítico, el cual es colectado por el cauce principal que presenta una longitud de 36.88 km y pendiente media de 8.35 % (Figura 6).

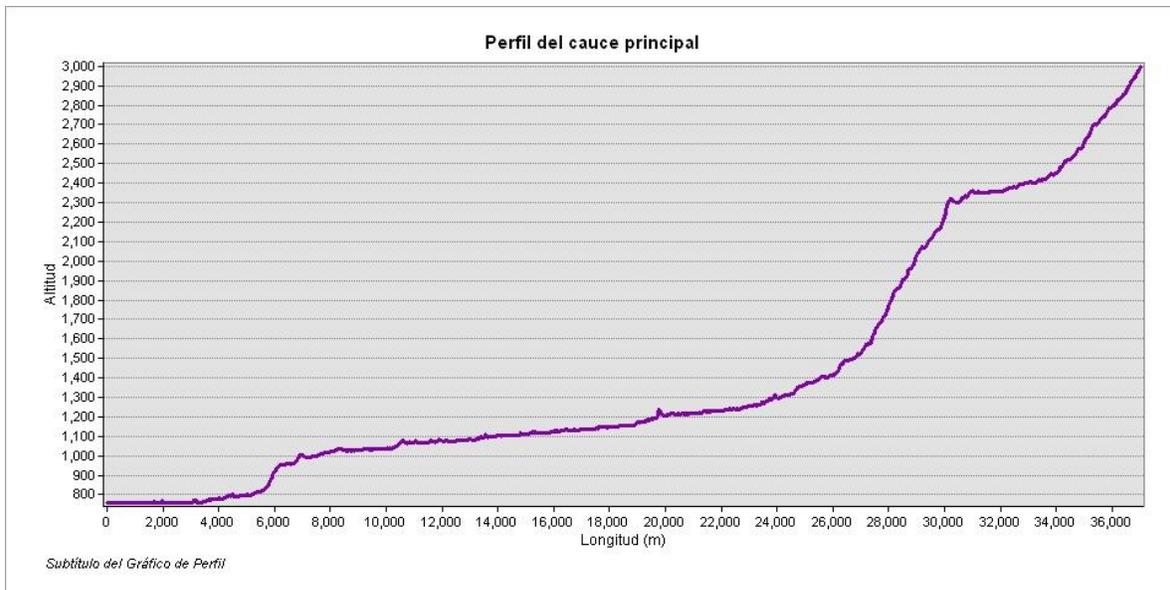


Figura 6. Perfil longitudinal del cauce principal de la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia.

El cauce principal es alimentado por corrientes perennes, intermitentes y efímeras que clasifican a la cuenca con una red hídrica de sexto orden (Figura 7), con relación de bifurcación de 3.37, densidad de drenaje alta de 2.49 km/km²; y densidad de

corrientes de 4.38 corr/km². Así también presenta un drenaje cuyo tiempo de concentración es de 0.24 horas (14.41 minutos).

De acuerdo con Kanth y Hassan citado por López y Martínez (2012), los parámetros morfométricos lineales como densidad de drenaje y relación de bifurcación son directamente proporcionales a la erosionabilidad (valores altos de estos parámetros indican mayor erosionabilidad); esto tiene que ver con que existe mayor superficie propensa al poder erosivo de las corrientes. La subcuenca presenta valores altos en estos parámetros por lo que puede considerarse propensa a la erosión.

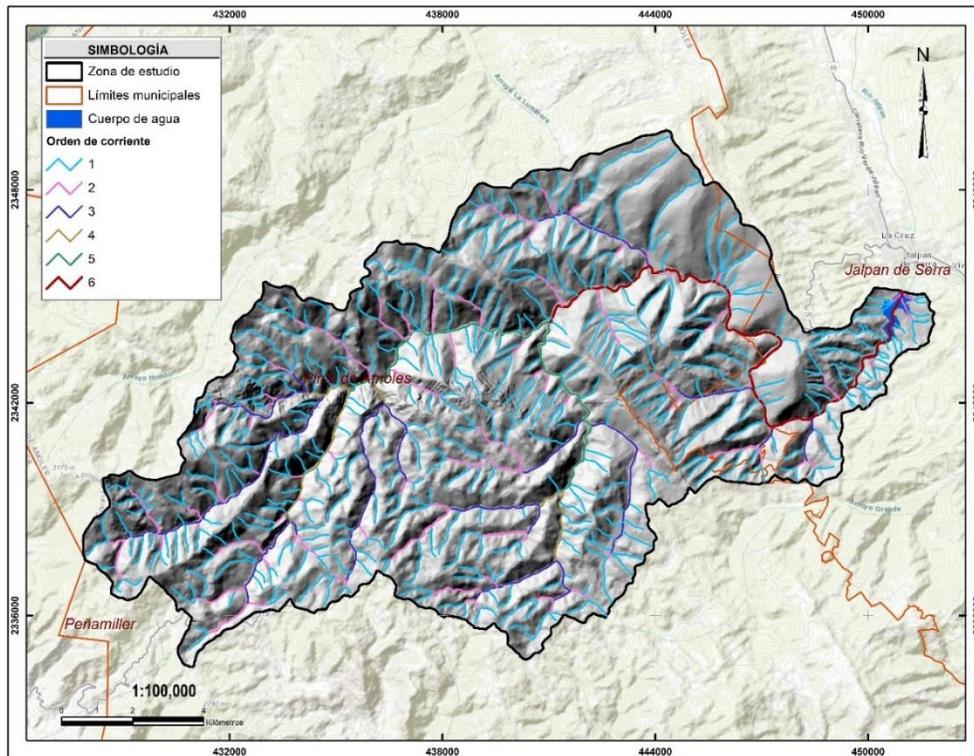


Figura 7. Orden de las corrientes en la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración a partir del conjunto de datos vectoriales de información topográfica F14C47 y F14C48 del INEGI (2015).

4.1.2 Zonas funcionales

La zona funcional alta o de captación se encuentra limitada entre los 2200 a 3100 msnm, tiene una superficie de 46.55 km², lo que corresponde al 24.54 % de la subcuenca; la zona media o de transporte se encuentra entre los 1200 a 2200 msnm abarca el 63 % de la subcuenca (120.56 km²) y de los 759 a 1200 msnm se tiene la zona baja o de sedimentación abarcando una superficie de 22.54 km² (11.89%) (Figura 8).

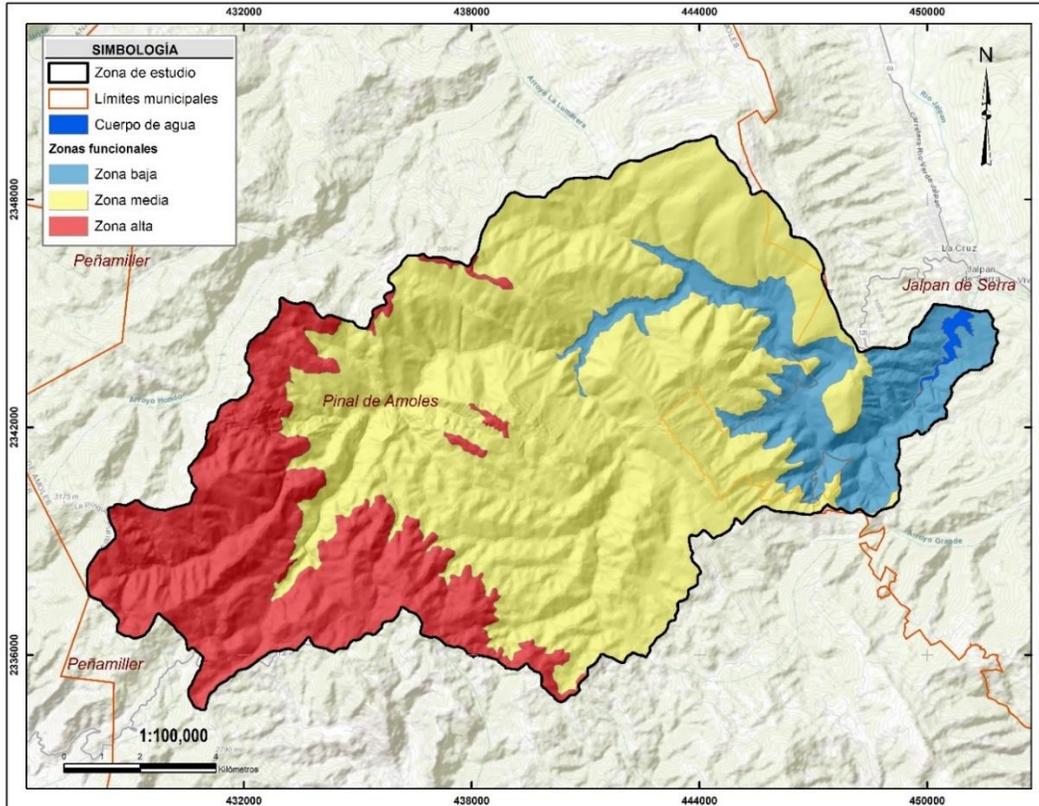


Figura 8. Zonas funcionales de la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia a partir del DEM con resolución de 15 m del INEGI (2013) y datos vectoriales de información topográfica F14C47 y F14C48 del INEGI (2015).

4.1.3 Caracterización del medio físico

4.1.3.1 Clima

En la zona de estudio predomina el clima (A)C(w₀) (w) (Figura 9), que corresponde a un semicálido subhúmedo del grupo C, con temperatura media anual entre 18° y 22° C. Precipitación del mes más seco menor a 60 mm; lluvias de verano con índice P/T menor a 43.2 y porcentaje de lluvia invernal menor al 5 % del total anual. Este tipo climático se distribuye en la parte media y baja de la cuenca, ocupando el 62.95 % (119.407 km²) de la superficie.

En la parte alta de la subcuenca se presenta un clima C (w₂) que corresponde a un templado subhúmedo, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 % al 10.2 % del total anual. Este tipo climático ocupa el 31.93 % (60.556 km²) de la superficie.

El tipo (A)C(w₁), es el clima con menor porcentaje de distribución en la zona de estudio con tan solo el 5.12 % (9.714 km²) de la superficie. Corresponde a un semicálido subhúmedo, con temperatura media anual entre 18° y 22° C. Precipitación del mes más seco menor a 60 mm; lluvias en verano con índice de P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 % al 10.2 % del total anual.

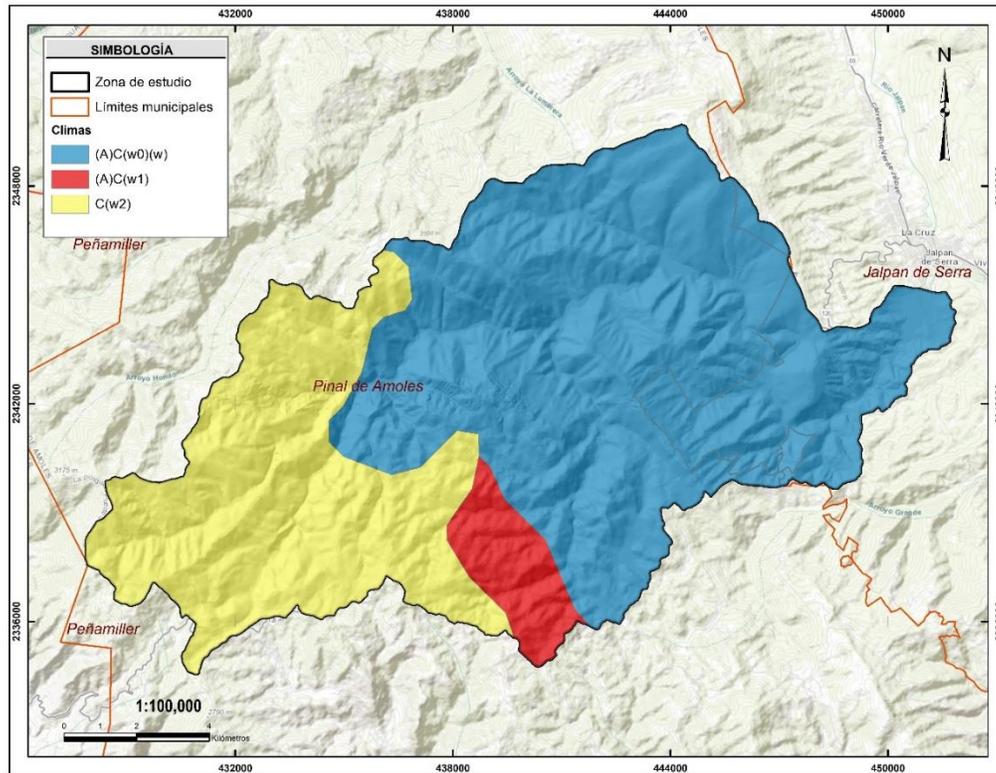


Figura 9. Climas existentes en la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia con base en el conjunto de datos vectoriales de unidades climáticas, escala 1: 1, 000, 000 del INEGI (2008).

❖ Precipitación

La estación climatológico Pinal de Amoles (Clave 22064), es la única que se localiza al interior de la zona de estudio, sin embargo, no se encuentra habilitada, por lo que se emplearon los datos de la estación Jalpan DGE (Clave 22007), localizada en las coordenadas UTM (datum ITRF92) X: 451566.38 y Y: 2346202.11, a una altitud de 760 msnm.

La estación Jalpan DGE (Clave 22007) reporta una precipitación media anual de 869.2 mm teniendo una mínima de 7.6 mm que corresponde al mes de diciembre, mientras que la máxima la encontramos en el mes de septiembre con 186.4 mm (Tabla 2).

Tabla 2. Precipitación normal entre el periodo de 1981 al 2010, reportados en la estación 22007 Jalpan (DG).

Mes	Precipitación (mm)	Mes	Precipitación mm)
Enero	14.0	Julio	185.4
Febrero	11.8	Agosto	143.5
Marzo	11.8	Septiembre	186.4
Abril	29.5	Octubre	77.5
Mayo	42.5	Noviembre	23.0
Junio	136.2	Diciembre	7.6
		Anual	869.2

Fuente: Elaboración propia con datos del Servicio Meteorológico Nacional (1981-2010).

De acuerdo con las isoyetas de CONABIO (2008), la precipitación media anual se presenta en rangos que van desde los 700 mm a los 1050 mm (Figura 10). Mostrándose las precipitaciones más bajas en la parte alta de la subcuenca en las localidades de La Barraca, La Cañada y San Gaspar, las cuales están cercanas a los límites con el municipio de Peñamiller; también se registran precipitaciones bajas en la salida de la subcuenca, en la localidad de Jalpan de Serra. Las precipitaciones más elevadas se registran en la parte media de la subcuenca, en las localidades de Escanelilla, Ahuacatlán de Guadalupe, Tonicaco y El Ranchito.

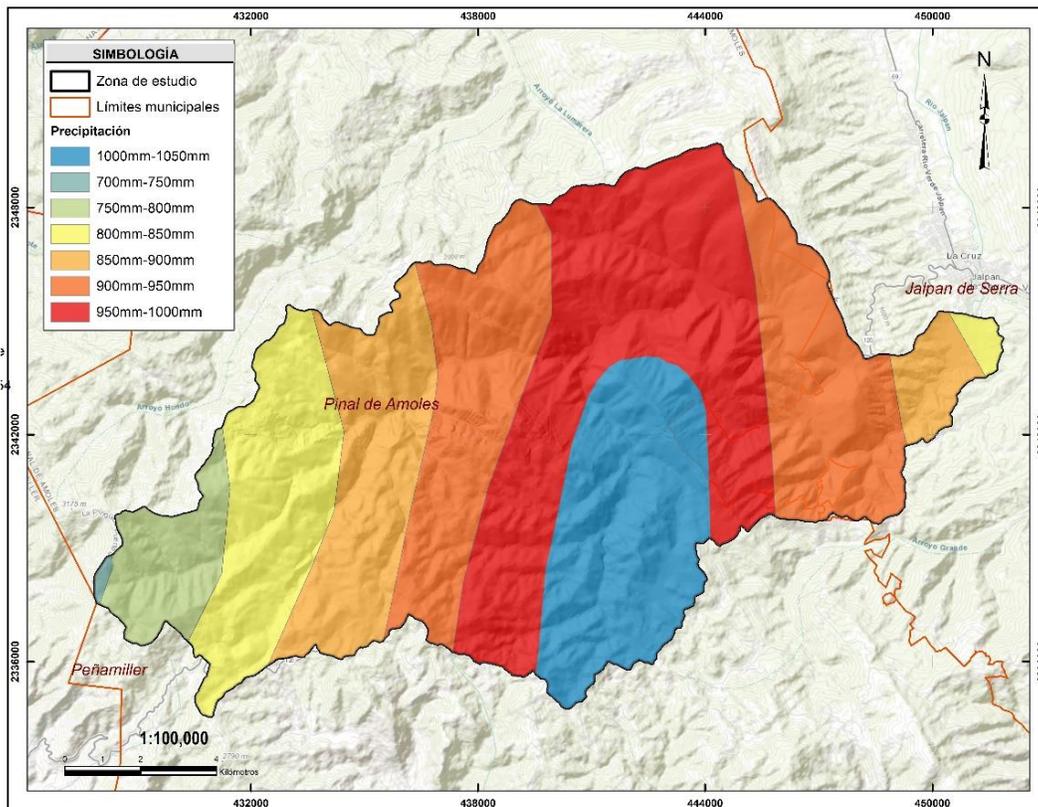


Figura 10. Rangos de precipitación en la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia con datos de Isoyetas Medias Anuales, escala 1:1, 000, 000 de CONABIO (2008).

❖ Temperatura

En la reserva, las temperaturas mínimas se dan en los meses de diciembre y enero, las máximas en abril y mayo. De acuerdo con las isothermas de CONABIO (2008), el promedio anual varia de 16 °C en las zonas altas de Pinal de Amoles a 24 °C en las regiones más bajas como Jalpan (Figura 11). Observándose por la tanto la estrecha relación que existe entre la temperatura y los rangos altitudinales, siendo que a media que disminuye la cota altitudinal, disminuye la temperatura. Lo que a su vez determina el tipo de vegetación asociada.

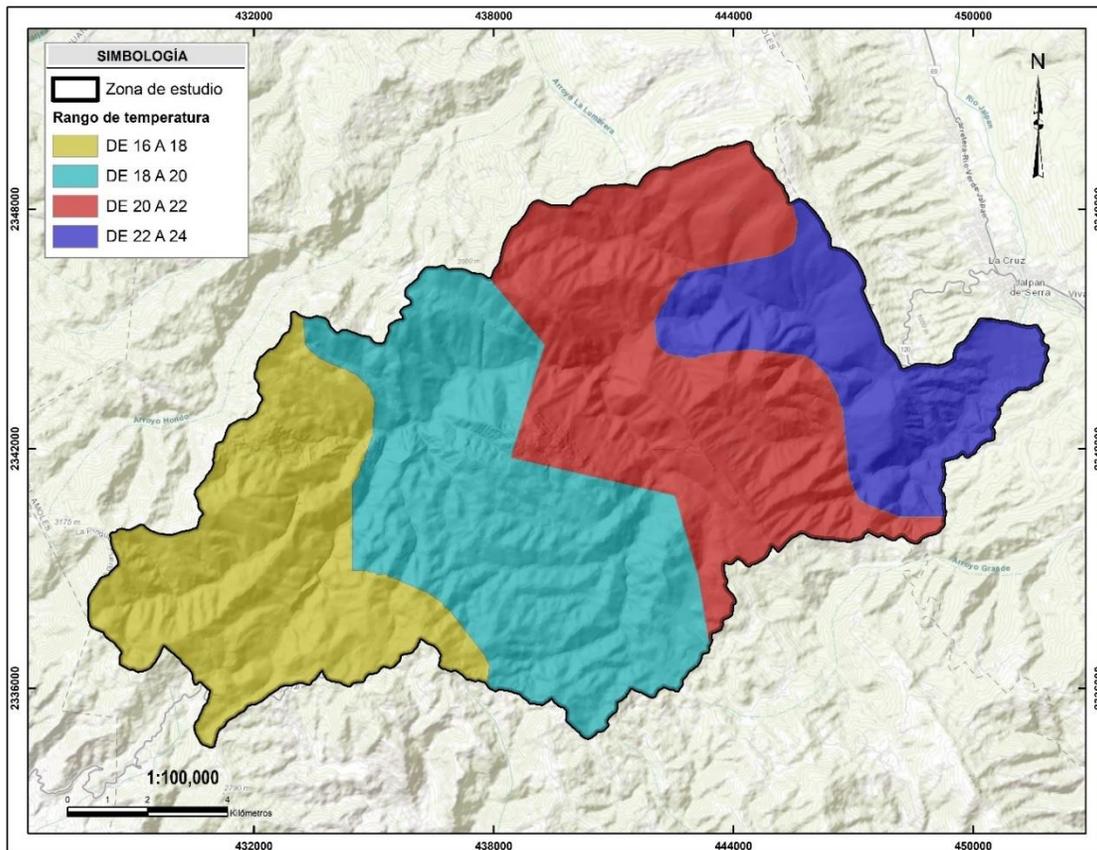


Figura 11. Rangos de temperatura en la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia con datos de Isothermas Medias Anuales, escala 1:1, 000, 000 de CONABIO (2008).

En cuanto a la información de la estación meteorológica Jalpan, la temperatura media anual es de 23.6 °C, siendo diciembre el mes más frío con una temperatura promedio mensual del periodo de 18.7 °C, mientras que la temperatura más alta se presenta en el mes de mayo con un promedio mensual de 28.0 °C, tal como lo muestra la siguiente tabla (Tabla 3). La zona no presenta fenómenos

meteorológicos extremos, sin embargo, algunos días de la época de estiaje pueden ser un poco agresivos en su temperatura, alcanzando incluso los 47 °C.

Tabla 3. Temperatura media normal entre el periodo de 1981 al 2010, reportados en la estación 22007 Jalpan (DG).

<i>Mes</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Mes</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
Enero	18.5	Julio	25.6
Febrero	20.5	Agosto	25.6
Marzo	23.5	Septiembre	24.9
Abril	26.2	Octubre	23.1
Mayo	28.0	Noviembre	21.1
Junio	27.1	Diciembre	18.7
		Anual	23.6

Fuente: Elaboración propia con datos del Servicio Meteorológico Nacional (1981-2010).

4.1.3.2 *Relieve y topografía*

La zona de estudio se localiza al interior de la provincia fisiográfica V Sierra Madre Oriental, subprovincia Carso Huasteco. En la Sierra Madre Oriental las montañas están constituidas principalmente por rocas calizas y lutitas, principalmente de la era mesozoica. En la subprovincia Carso Huasteco dominan rocas calizas que al ser disueltas por el agua originan rasgos de carso-pozos, dolinas y grutas. Otra de las características de esta unidad fisiográfica es una topografía abrupta, constituida casi exclusivamente por sierras, sólo se encuentran algunos cañones, valles y llanuras.

La línea del parteaguas de la zona de estudio quedó definida a partir de los cerros de mayor elevación: Cerro la Pingüica (3100 msnm), Cerro la Calentura (3060 msnm), Cerro el boludo (3020 msnm), Cerro el piñón (2980 msnm) Cerro la cuchilla (2780 msnm), Cerro Puerto el Pino (2640 msnm) y Cerro Puerto el Loro (2580 msnm).

A partir de la información obtenida en la elaboración del mapa hipsométrico es posible identificar que el territorio presenta gradientes altitudinales variados (Figura 12). La altitud máxima es de 3100 msnm cercano a la localidad Cerro de la Pingüica. La altitud mínima es de 760 msnm la cual se localiza en el área de la presa Jalpan, en el punto de salida de la red de drenaje.

Las topoformas que caracterizan la zona de estudio son: Sierra alta escarpada y Sierra alta de laderas convexas, esta última domina el 83.29 % de la superficie total (Figura 13).

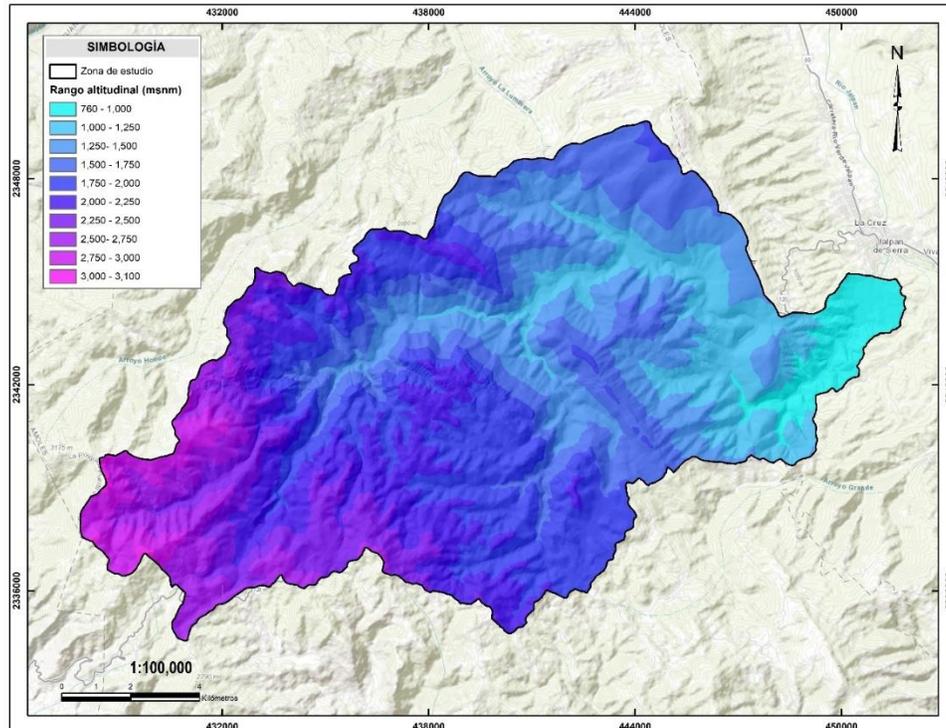


Figura 12. Mapa de rangos altitudinales en la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia a partir del MDE resolución de 15 m del INEGI (2013).

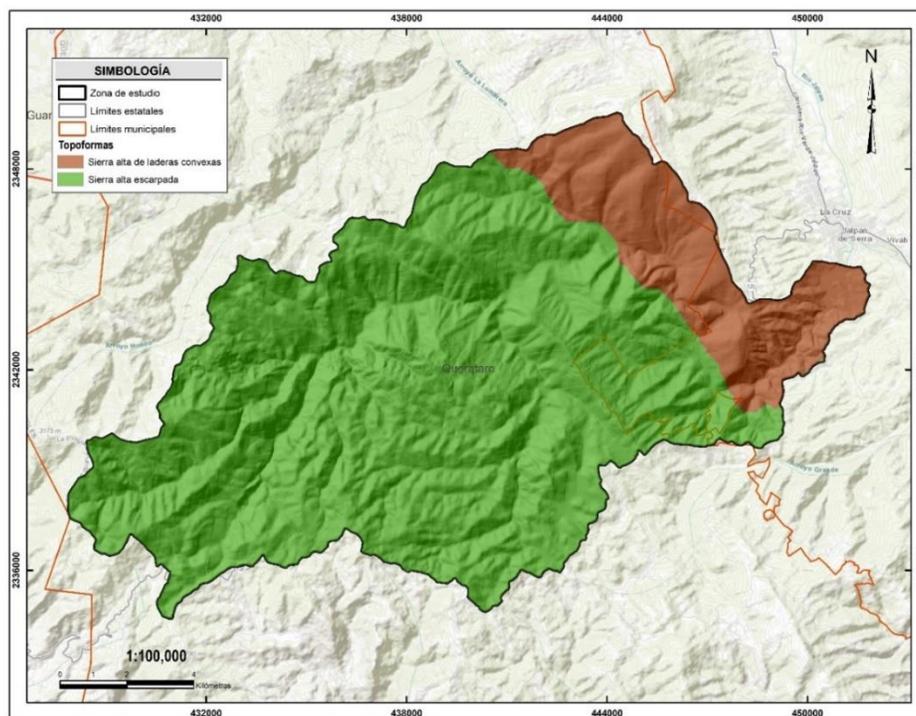


Figura 13. Mapa de topoformas en la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia a partir del conjunto de datos vectoriales fisiográficos (Sistema de topoformas), serie I, escala 1: 1, 000, 000 del INEGI (2001).

❖ Pendientes

La inclinación del terreno constituye un factor esencial que controla o interviene en fenómenos de erosión e inestabilidad de laderas. En la zona de estudio las pendientes van de los 0 a 75.96°, con una pendiente media predominante de 24.47° (Figura 14).

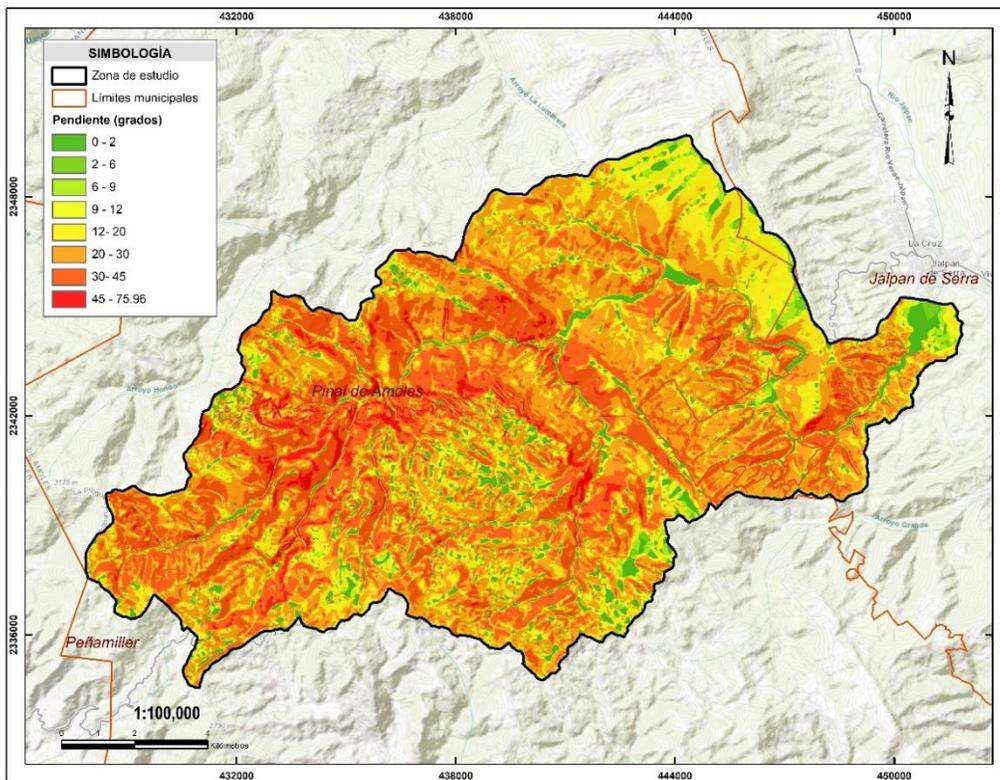


Figura 14. Mapa de pendientes en la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia a partir del MDE resolución de 15 m y reclasificado de acuerdo con las recomendaciones de Lugo (1988).

De acuerdo con los criterios propuestos por Palacio (1983) y Zuidam (1986) referentes a la susceptibilidad ante procesos erosivos gravitacionales asociados a la pendiente (Tabla 4), el 65 % de la superficie de la zona de estudio presenta pendientes abruptas con riesgo de erosión gravitacional “Muy alta”. En algunos sitios se presentan laderas escarpadas con inclinaciones mayor a los 45 °, cuyo riesgo de erosión es intenso (Figura 15).

En la parte baja de la zona de estudio se localizan sitios con pendiente plana, principalmente sobre lechos de ríos, valles intermontanos o zonas de relleno aluvial. Estos sitios presentan un riesgo de erosión nulo o muy débil, más bien se trata de sitios donde predominan procesos sedimentarios.

Tabla 4. Superficie de riesgo ante erosión gravitacional en la zona de estudio

Pendiente (grados)	Riesgo de erosión	Superficie (km²)	Porcentaje de la subcuenca
0 - 1.5	Nula	12.00	6.33
1.5 - 3	Muy débil	1.25	0.66
3-6	Débil	2.35	1.24
6-12	Moderada a alta	10.51	5.54
12-20	Alta	34.34	18.11
20 - 45	Muy alta	123.34	65.03
> 45	Intensa	5.86	3.09

Fuente: elaboración propia utilizando los rangos recomendados por Palacio (1983) y Zuidam (1986).

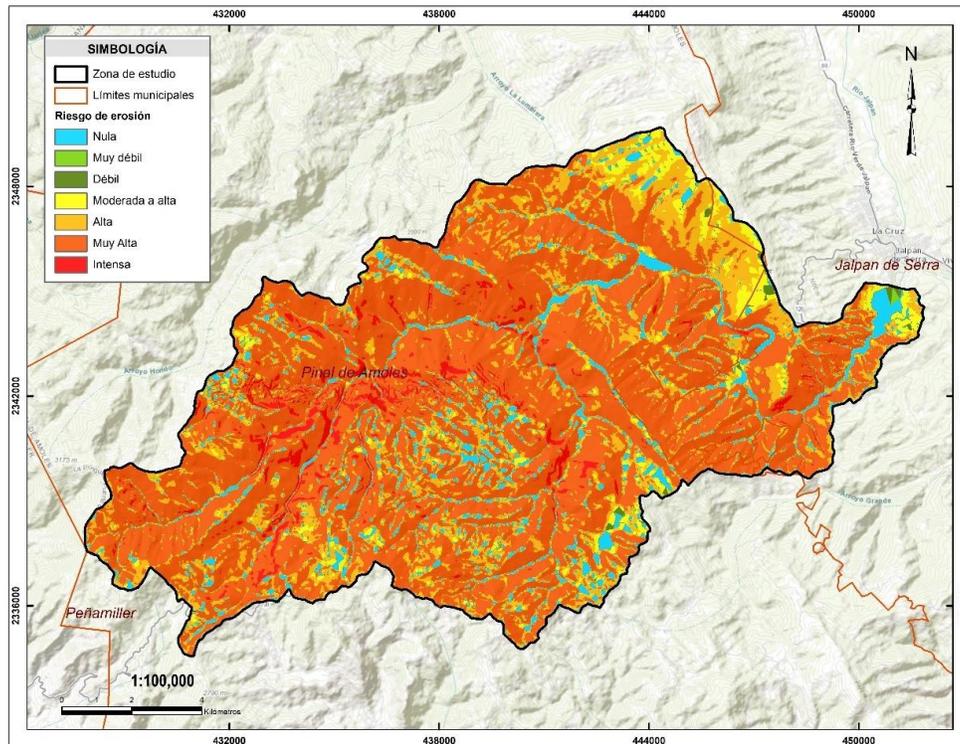


Figura 15. Mapa de riesgo de erosión gravitacional en la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia a partir de la reclasificación del mapa de pendientes, utilizando los rangos recomendados por Palacio (1983) y Zuidam (1986).

4.1.3.3 Geomorfología

Son ocho las geformas que dominan el paisaje, cuyo origen es sedimentario. En la parte alta al oeste se tienen laderas montañosas plegadas de calizas masivas con estratos de tipo arrecifal. En la parte media dominan las laderas montañosas de pliegues recostados de calizas con alta disección fluvial y elevaciones de rocas marinas alternando calizas-lutitas y calizas margas. Sobre el cauce principal se

encuentra un valle intermontano con lecho en “U” con márgenes inestables de acumulación. En la salida del sistema de microcuencas de estudio encontramos la planicie aluvial, ahí se encuentra la presa Jalpan, dominada por un paisaje plano donde se depositan los materiales sedimentarios desde las partes altas de las microcuencas (Figura 16Figura 19).

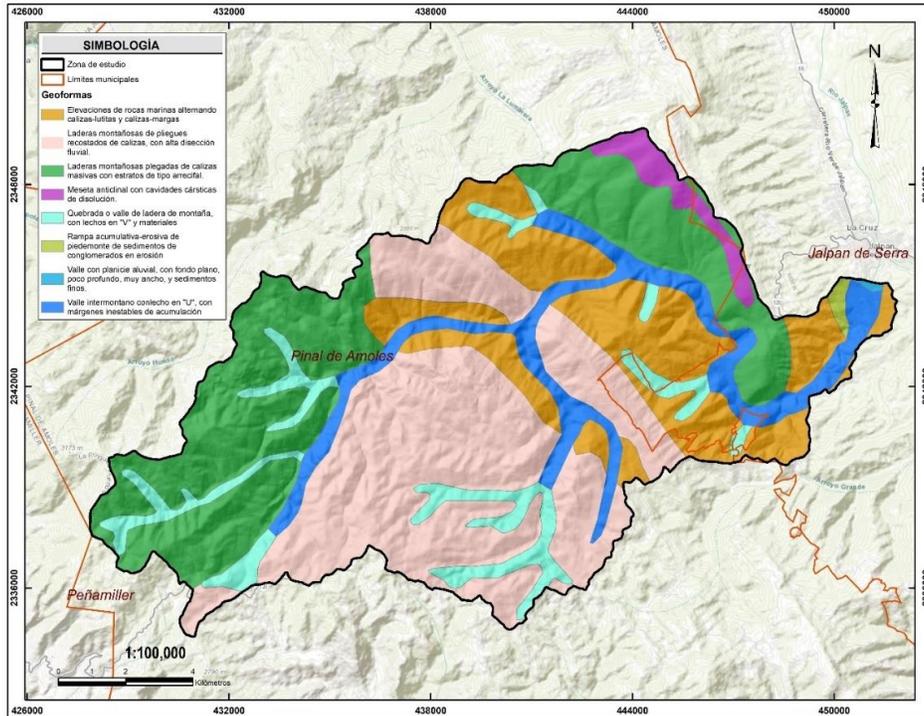


Figura 16. Mapa de geofomas en la subcuenca Presa Jalpan. Elaboración propia con datos vectoriales de SEDESU (2010).

4.1.3.4 Geología

En la zona de estudio predominan rocas sedimentarias del cretácico inferior de la era Mesozoica formaciones compuestas por rocas calizas y calizas-lutitas (Tabla 5). Con una superficie de 131.585 km² (69.37 %) las rocas Ki(cz) Calizas del cretácico inferior dominan en la subcuenca; estas rocas son consideradas de mayor dureza que las Ks(cz-lu) Calizas-lutitas, las cuales se distribuyen en la parte baja ocupando el 28.84 % de la superficie (Figura 17).

Tabla 5. Rocas que se distribuyen en el área de estudio

Clave	Roca	Era	Edad	Superficie (km ²)	Porcentaje
Ki(cz)	Caliza	Mesozoico	Cretácico inferior	131.585	69.37
Ks(cz-lu)	Caliza-Lutita	Mesozoico	Cretácico superior	54.706	28.84
Q(al)	Aluvial	Cenozoico	Cuaternario	0.891	0.47
T(D)	Diorita	Cenozoico	Terciario	2.495	1.32
Total				189.676	100

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (s/f)

En general las calizas se caracterizan por estar compuestas por calcita (carbonato de calcio, CaCO_3), la cual cuando se calcina da lugar a la cal (óxido de calcio, CaO), dentro de este tipo de roca se pueden encontrar las siguientes variedades: la caliza cristalina metamórfica conocida como mármol y la creta que es una variedad porosa y con grano fino, entre otras.

Las rocas sedimentarias de litología aluvial formadas en el fondo de un valle, relleno de arena, grava y barro, formadas cuando los ríos que fluyen a lo largo de un valle se desbordan fuera de su cauce y depositan sus sedimentos en la llanura adyacente, abarcan una superficie mínima en la zona de estudio (0.47%).

Debido a la naturaleza calcárea de la región, así como la influencia de otros factores de tipo geológico, climático y geográfico, las rocas presentan procesos de disolución determinando la presencia de distintas formas de relieve cárstico como son dolinas, simas, cavernas y poljés, entre otros (INE, 1999).

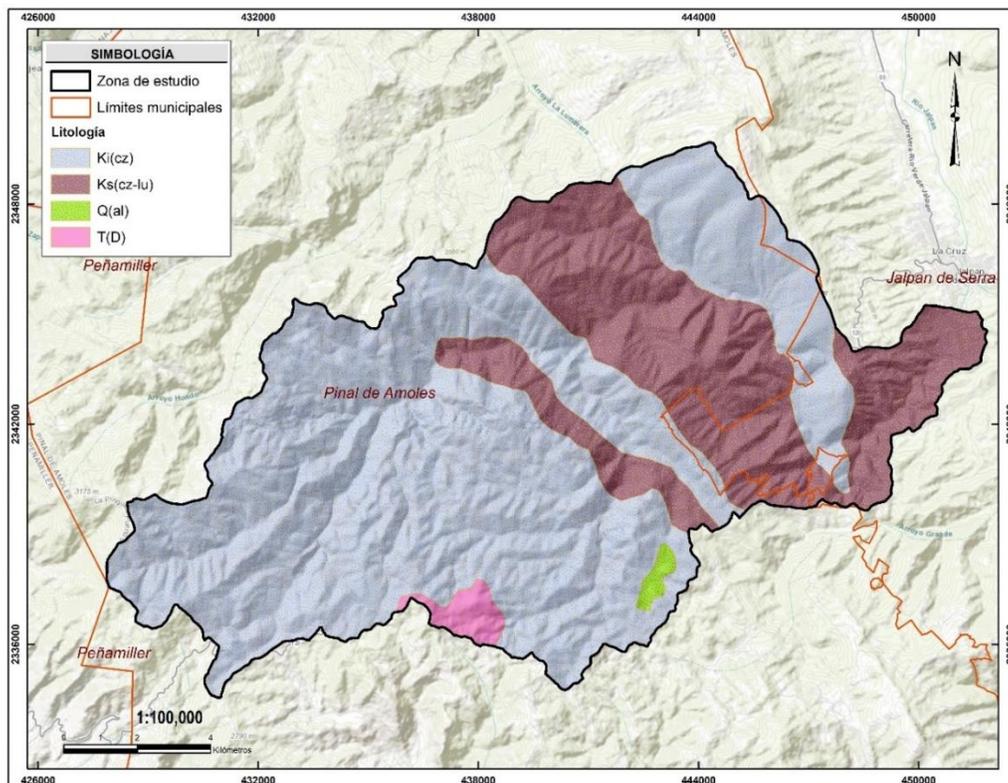


Figura 17. Mapa de rocas en la subcuenca Presa Jalpan. Elaboración propia con base en el Conjunto de datos vectoriales Geológicos. Continuo Nacional, escala 1:250 000, INEGI (s/f).

4.1.3.5 Edafología

En la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda predominan suelos derivados de calizas, constituidas mayormente por carbonato de calcio, con alguna proporción de arcillas, limo, hierro y otros compuestos, son rocas muy solubles al agua. La formación de suelo a partir de estas rocas ocurre por disolución del carbonato de calcio dependiendo de la naturaleza de los otros componentes. Este tipo de rocas también puede contener minerales de hierro, como la hematita, lo que da lugar a suelos color rojo ladrillo en zonas húmedas y con buen drenaje.

Las unidades edafológicas que domina en la zona de estudio son la combinación de LVcrhu+LVha+LPeuli/3 (Luvisol crómico húmico + Luvisol háplico + Leptosol éútrico lítico), localizándose en la zona funcional media de la cuenca y ocupando el 36.12 % de su superficie. Por su parte, la combinación de RGhulep+LPeu+FLeuhu/2 (Regosol húmico epiléptico + Leptosol éútrico + Fluvisol éútrico húmico, ocupan el 32.30 % de la superficie, ubicándose en una porción de la zona media y baja de la subcuenca. En la zona funcional alta de la subcuenca domina la unidad edafológica LPhurz+LVcrhu+CMcrhu/3 (Leptosol húmico Leptosol húmico réndzico + Luvisol crómico húmico + Cambisol crómico húmico) (Ver Figura 18). La mayoría de los suelos presentan una textura fina (Tabla 6).

Tabla 6. Descripción de los tipos de suelo en la zona de estudio.

<i>Clave (WRB)</i>	<i>Descripción</i>	<i>Textura</i>	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Porcentaje</i>
PHIvlep+LVcrhu/3	Phaeozem lúvico epiléptico + Luvisol crómico húmico	Fina	0.006	0.003
LPcarz+LPcali/3	Leptosol calcárico réndzico + Leptosol calcárico lítico	Fina	0.035	0.018
CMSkca+LVhuca/3r	Cambisol esquelético calcárico + Luvisol húmico calcárico	Fina	1.791	0.944
LPeuh+RGeulep/3R	Leptosol hiperéútrico + Regosol éútrico epiléptico	Fina	8.273	4.362
LPeuli+LPhumo/2	Leptosol éútrico lítico + Leptosol húmico mólico	Media	9.228	4.865
LPhurz+LVcrhu+CMcrhu/3	Leptosol húmico réndzico + Luvisol crómico húmico + Cambisol crómico húmico	Fina	40.566	21.387
RGhulep+LPeu+FLeuhu/2	Regosol húmico epiléptico + Leptosol éútrico + Fluvisol éútrico húmico	Media	61.269	32.302
LVcrhu+LVha+LPeuli/3	Luvisol crómico húmico + Luvisol háplico + Leptosol éútrico lítico	Fina	68.509	36.119
Total			189.68	100.00

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (2007).

Los luvisoles en la reserva se caracterizan por tener un color rojizo o pardo amarillentos ácidos, con pedregosidad superficial, los cuales se desarrollan en zonas con clima templado subhúmedo o húmedo (Pinal de Amoles) (INE, 1999). Son dependientes del clima y vegetación ya que en un microclima suficientemente húmedo se favorece la pérdida de minerales solubles y la oxidación de compuestos de hierro. Estos suelos son frágiles ante la erosión, particularmente cuando se ha alterado la cubierta vegetal.

Los regosoles son suelos jóvenes con capa superficial de color grisáceo oscuro; su textura es de migajón arcilloso cuando están asociados con fluvisol éutrico de textura fina (al sur del cañón del río Jalpan); son generalmente delgados y cuando son profundos presentan pedregosidad superficial con cantidades altas de calcio, potasio y magnesio (INE, 1999). Los regosoles son particularmente comunes en zonas áridas, en el área de estudio se encuentra principalmente en laderas bajas en el valle de Jalpan, asociados a vegetación de Selva Baja Caducifolia. Debido a que se trata de suelos someros y pobres en materia orgánica, condicionan la baja productividad agrícola y son altamente erosionables, sobre todo donde no hay cobertura vegetal de protección.

Los suelos Leptosoles son los más comunes en la reserva sobre todo los Leptosoles Réndzicos (INE, 1999). Se trata de suelos arcillosos, oscuros y delgados sin desarrollo de horizonte B, los cuales se presentan en una gran variedad de relieves y climas. En la zona de estudio se distribuyen en la parte alta de la subcuenca al oeste del municipio de Pinal en colindancia con Peñamiller.

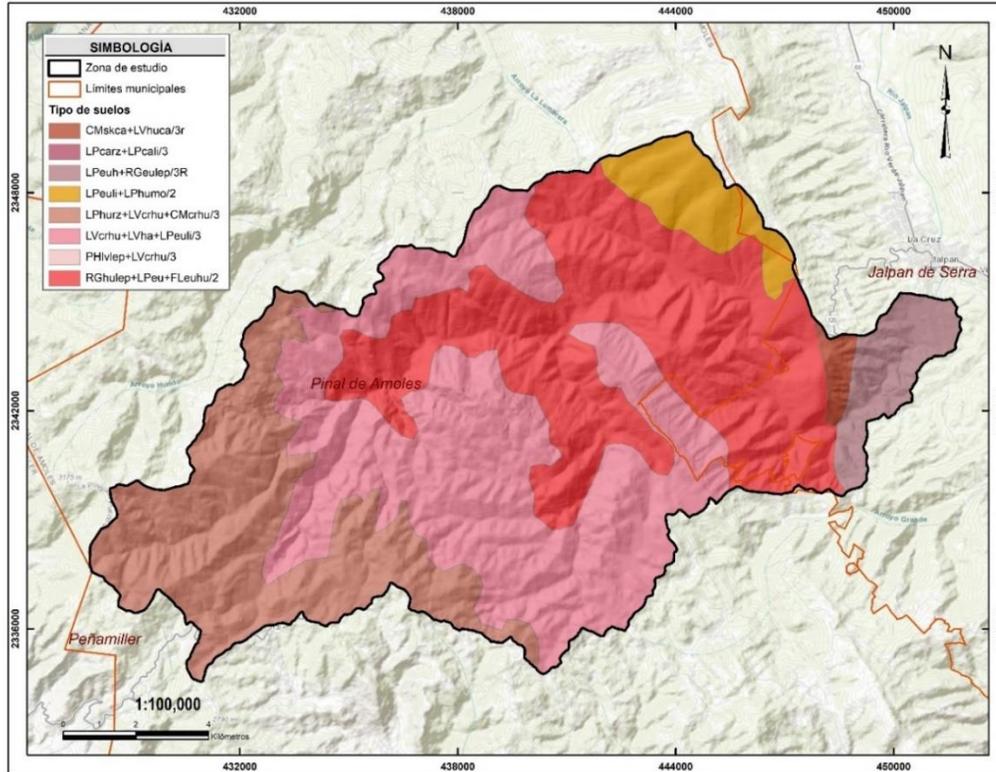


Figura 18. Mapa de tipo de suelos en la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia a partir del conjunto de datos vectoriales edafológicos, escala 1:250 000, serie II, del INEGI (2007).

4.1.3.6 Hidrografía superficial

La zona de estudio se sitúa hidrológicamente en la subcuenca Río Santa María Bajo, correspondiente a la cuenca del Río Tamuín en la Región Hidrológica Pánuco. Comprende la unión de tres microcuencas: Pinal de Amoles, Ahuacatlán de Guadalupe y El ranchito. Dichas microcuencas funcionan como un solo sistema colector de las aguas superficiales que convergen hacia la presa Jalpan (Figura 19).

La red de drenaje al interior de la zona de estudio está compuesta principalmente por escurrimientos superficiales de tipo temporal y cortos en longitud, forman una red de tipo dendrítico o de forma de árbol. Dentro de los escurrimientos perennes se encuentra el Río Escanela que tiene origen en la zona boscosa de Pinal de Amoles, al seguir su curso por la parte media de la subcuenca adquiere el nombre de Arroyo Jalpan de Serra y es captado en la parte baja por la “Presa Jalpan”, punto donde culmina la zona de estudio. Aguas debajo de la presa el arroyo Jalpan sigue su curso hasta desembocar también en el Río Santa María.

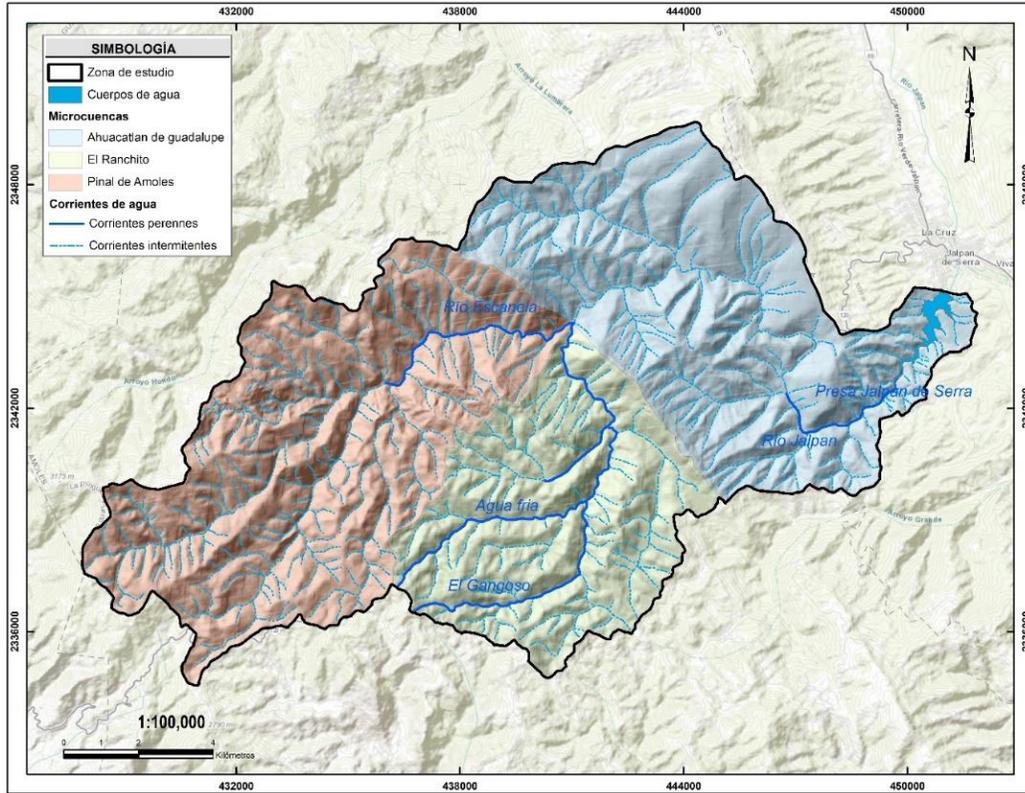


Figura 19. Hidrología superficial de la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración a partir del conjunto de datos vectoriales de información topográfica F14C47 y F14C48 del INEGI (2021).

❖ Presa Jalpan

En cuanto a cuerpos de agua superficiales el único de importancia en la subcuenca es la presa Jalpan, construida en el año 1976 con una capacidad de almacenamiento de 8,173, 389.90 m³ (MAGIC, 2014). En 2010 la empresa Diseño y Urbanística, S. A. de C. V. llevó a cabo un estudio topo-batimétrico en la Presa Jalpan a petición de la Comisión Estatal del Agua, en dicho estudio se estimó que la capacidad de almacenamiento disminuyó a 6,445,361.62 m³ en consecuencia directa de la llegada anual de 24,688.9246 m³ de sedimentos por arriba de la elevación prevista para azolves (Tabla 7). Así mismo, el embalse originalmente se diseñó con una vida útil de 50 años, para el año 2010, disminuyó a 37.70 años.

Tabla 7. Resultados del estudio Topo-Batimétricos de la Presa Jalpan, realizado en 2010.

Concepto	Unidad	Proyecto original 1975	Estudio topo-batimétrico 2010
Capacidad total del nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.)	m ³	11,515,204.2595	9,725,796.7474
Capacidad de conservación del nivel de aguas máximas ordinarias (N.A.M.O.)	m ³	8,173,389.9047	6,445,361.6184
Capacidad útil.	m ³	6,367,294.1946	5,443,715.0140
Capacidad prevista para azolves.	m ³	1,806,095.7101	1,001,646.6044
Volumen total de azolves depositados en el vaso.	m ³	0.0000	1,728,028.2863
Volumen de azolves depositados debajo de la elevación prevista para azolves.	m ³	1,806,095.7101	923,579.1805

Volumen de azolves depositados anualmente por debajo de la elevación prevista para azolves.	m ³ /año	36,121.9142	28,449.1058
Volumen de azolves depositados por arriba de la elevación prevista para azolves.	m ³	0.0000	804,449.1058
Volumen de azolves depositados anualmente por arriba de la elevación prevista para azolves.	m ³ /año	0.0000	24,688.9246

Fuente: Comisión Estatal de Aguas (CEA), 2010.

Reportes más recientes realizados por CONAGUA indican una capacidad actual del embalse de 4.89 hectómetros cúbicos, conformándose como la única presa en el Estado de Querétaro que mantiene una capacidad de almacenamiento superior a la mitad de su capacidad inicial (60.2 %) (Pérez, 2022).

Actualmente el agua almacenada se sigue utilizando con fines agrícolas y como fuente de abastecimiento para el consumo humano de las localidades de Jalpan de Serra. El reservorio también permite actividades como el ecoturismo y la pesca a pequeña escala, las cuales se constituyan como fuentes de ingreso directo para las personas que habitan en sus alrededores.

Al ser la presa Jalpan el único cuerpo de cierta extensión en la Sierra Gorda fue desde su construcción un atrayente de aves acuáticas, por lo que actualmente sirve como sitio de reproducción y refugio de especies migratorias como residentes. Dicha condición permitió que en el 2004 fuera considerado como humedal de importancia internacional por la convención RAMSAR.

❖ Calidad del agua

Ramos (2014), realizó una evaluación de la calidad de agua en los ríos Escanela y Jalpan usando macroinvertebrados acuáticos. Encontró que en un punto aguas arriba de la localidad de Escanelilla la calidad es alta y aguas abajo sobre el puente escanela la calidad es media.

Respecto al arroyo Jalpan, en el punto donde se localiza la planta tratadora de aguas residuales (PTARs) en la localidad de Ahuacatlán, la calidad se estimó como mala, esto a consecuencia de que la planta libera sus descargas diariamente al cauce principal, además, la infraestructura se encuentra deteriorada y rebasada en su capacidad (Durán, 2018).

En la parte baja de la zona de estudio, en un punto de la localidad de Río Adentro ubicado antes de la presa Jalpan, la calidad del agua se catalogó como media. Sin embargo, la cantidad de sedimentos que se acumulan provocan que el agua se vuelva turbia y se impida el paso de la luz solar, provocando a su vez procesos de eutrofización.

4.1.4 Caracterización del medio biótico

4.1.4.1 Uso de suelo y vegetación

La mayor parte de la zona de estudio se encuentra ocupado por ecosistemas forestales que representan 69.53 % de la superficie total (Figura 20), el uso agropecuario representa el 27.71 % y se distribuye principalmente en la zona funcional media, el uso urbano ocupa el 2.40 % de la superficie, y finalmente los cuerpos de agua ocupan el 0.36 % de la superficie (Tabla 8).

La asociación de bosque de pino-encino dominan la parte alta de la zona de estudio, representando el 20.16 % de la superficie, en la zona funcional media es posible localizar en mayor porcentaje bosque de encino (11.88 %), encino-pino (11.09 %) y agricultura de temporal (22.12 %). En la zona baja de la subcuenca domina la vegetación de selva baja caducifolia (6.70 %).

Los asentamientos humanos se distribuyen de forma dispersa en la subcuenca, los de mayor superficie corresponden a las localidades de Pinal de Amoles, Ahuacatlán de Guadalupe, La Barranca, Escanelilla, Tonatico, y Laguna de Pitzquintla, las dos primeras a su vez se destacan por la accesibilidad a través de caminos y carreteras.

Tabla 8. Uso de suelo y vegetación al interior de la zona de estudio.

<i>Uso del suelo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Porcentaje</i>
Forestal	Bosque de encino	2252.55	11.88
	Bosque de encino-pino	2102.84	11.09
	Bosque de pino	320.35	1.69
	Bosque de pino-encino	3824.43	20.16
	Selva baja caducifolia	1270.36	6.70
	Vegetación secundaria de bosque de encino	2192.60	11.56
	Vegetación secundaria de bosque de encino-pino	240.63	1.27
	Vegetación secundaria de bosque de pino-encino	504.31	2.66
	Vegetación secundaria de selva baja caducifolia	480.32	2.53
	Agricultura de riego	16.79	0.09
Agropecuario	Agricultura de temporal anual	4196.12	22.12
	Pastizal inducido	1043.42	5.50
Otros	Asentamientos humanos	454.89	2.40
	Cuerpos de agua	68.03	0.36
Total		18967.63	100

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2014).

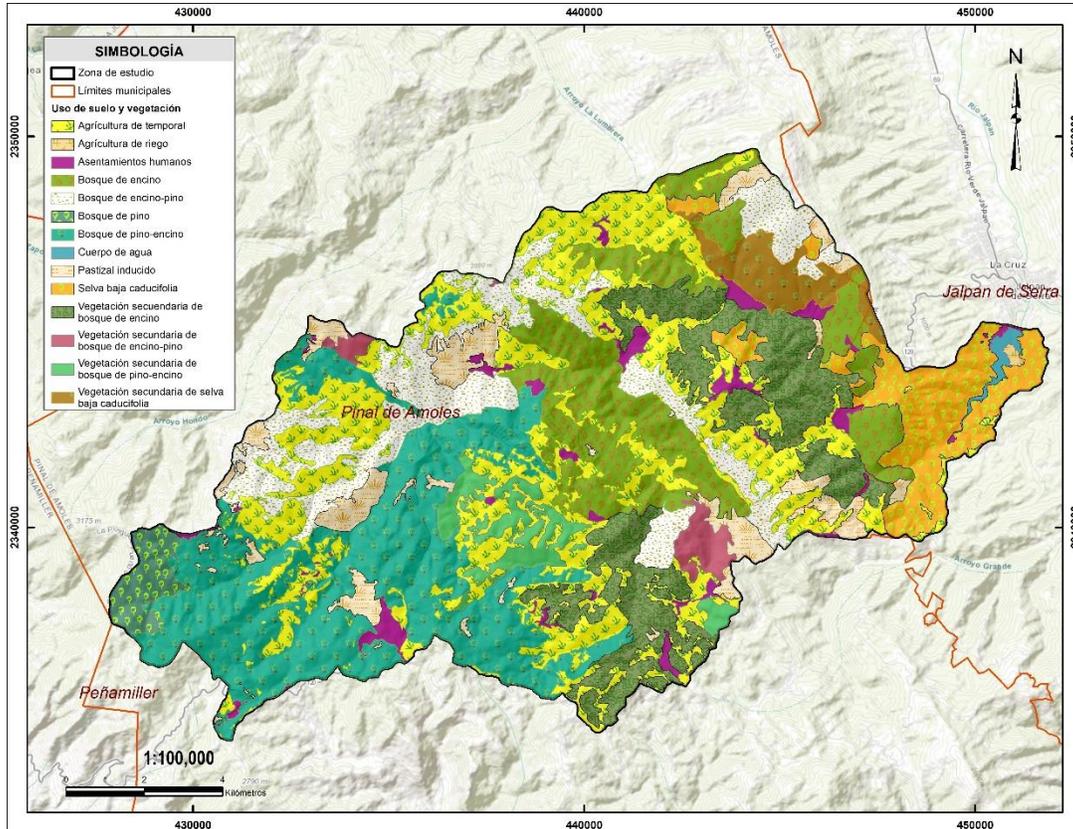


Figura 20. Mapa de usos de suelo y vegetación en la subcuenca Presa Jalpan. Fuente: elaboración propia con interpretación de imágenes Sentinel-2 (2020) y datos del Inventario Estatal Forestal y de Suelos (2014).

A continuación, se describen los principales tipos de vegetación que se distribuyen en la zona, basado en el Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda.

Bosque de pinos: Este tipo de vegetación se distribuye principalmente en los climas fríos, templados, semicálidos húmedos y subhúmedos. Destacan varias especies de *Pinus sp.* que conviven con *Juniperus sp.* y *Abies sp.* En el municipio de Pinal de Amoles, entre 2,400 y 2,850 msnm es posible encontrar *Pinus patula* (pino lacio) en áreas con régimen de frecuentes neblinas y acompañado de *P. montezumae*, *P. ayacahuite* y *P. teocote*. En la parte más alta y seca de la subcuenca (2,750 y 3,100 msnm) es posible encontrar *Pinus rudis*, *P. cembroides* y *P. pinceana*.

Bosque de encino: Las especies características de este ecosistema son: *Quercus mexicana* y *Q. castanea*, presentándose entre cañadas y laderas, entre los 1,200 a 2,300 msnm; *Q. crassifolia* y *Q. greggii*, en altitudes de 2,200 a 3,100 msnm; de afinidad hacia los climas húmedos y a menudo colindando con el bosque mesófilo de montaña se presenta el encinar de *Q. affinis*.

Bosques mixtos (pino-encino): Es característica de la reserva la mezcla de bosques de encinos y pinos, en la zona de estudio se distribuye desde la parte alta en el municipio de Pinal de Amoles, hasta sus límites con Jalpan de Serra, abarcando el mayor porcentaje de superficie. Las especies más representativas de este ecosistema son *Pinus greggii*, *P. patula*, *Quercus laurina* y *Q. obtusata*.

Bosque tropical caducifolio: Es posible encontrarla a partir de la parte media de la subcuenca, entre los límites de Pinal de Amoles y Jalpan de Serra, y con mayor dominancia en la zona baja, en un rango altitudinal que va de los 760 a 1,400 msnm. Las especies arbóreas características de este ecosistema son: *Bursera simaruba* (chacá), *Capparis incana* (Palo cenizo), *Esenbeckia berlandieri* (Jopoy), *Lysiloma microphylla* (Palo de arco), *Phoebe tampicensis* (Laurel) y *Psidium sartorianum* (guayabillo). También se encuentran *Acacia coulteri* (Guajillo), *Guazuma ulmifolia* (Aquihe) y *Bursera lancifolia* (Chacá). En muchos de estos bosques la vegetación original ha sido desplazada por terrenos de cultivos, o simplemente se ha destruido para la obtención de leña, lo que ha ocasionado una mayor ocupación de vegetación secundaria (CONCYTEQ, 2006).

Por otra parte, en la vega de los ríos y arroyos predominan especies como: *Alnus spp.* (Aile), *Juglans mollis* (Nogal) y *Frumus serotina* (Capulín silvestre); encinar arbustivo, formado por especies de *Quercus sp.*, *Arctostaphlos pungens* y *Litsea sp.* (Laurel), arbustos como *Acacia farneciana* (Huizache), *Acacia berlandiere* (Huajillo), *Celtis pallida* (Granjeno), *Lysiloma divaricata* (Tepehuaje), *Erythrina Herbacea* (Colorín), entre otros. (H. Ayuntamiento de Jalpan de Serra, 2003).

Entre las especies cultivadas se encuentran varias de importancia alimenticia como *Zea mays* (Maíz), *Phaseolus sp.* (Frijol), *Cucurbita sp.* (Calabaza), *Musa paradisiaca* (plátano), *Malus domestica* (Manzana), *Prunus pérsica* (Durazno) y cítricos como la naranja (*Citrus sp.*); especies de ornato y protección como *Eucalyptus spp.* (Eucalipto), *Delonix regia* (Framboyán), *Ligustrum lucidum* (Trueno) y *Jacaranda mimosaeafalia* (Jacaranda); y pastos introducidos como *Digitaria decumbens* (Pangola) y *Panicum maximum* (Guinea) (CONCYTEQ, 2006).

4.1.5 Caracterización socioeconómica

4.1.5.1 Población

De acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, dentro de los límites de la zona de estudio se encuentran 85 localidades, de estas 73 pertenecen al municipio de Pinal de Amoles y 12 al municipio de Jalpan de Serra. La población total es de 14,663 habitantes, siendo las localidades con mayor número de habitantes Pinal de Amoles, Ahuacatlán de Guadalupe, La Barranca y Escanelilla, las cuales superan los 500 habitantes (ver Figura 21) y se localizan en la porción noroeste de la subcuenca.

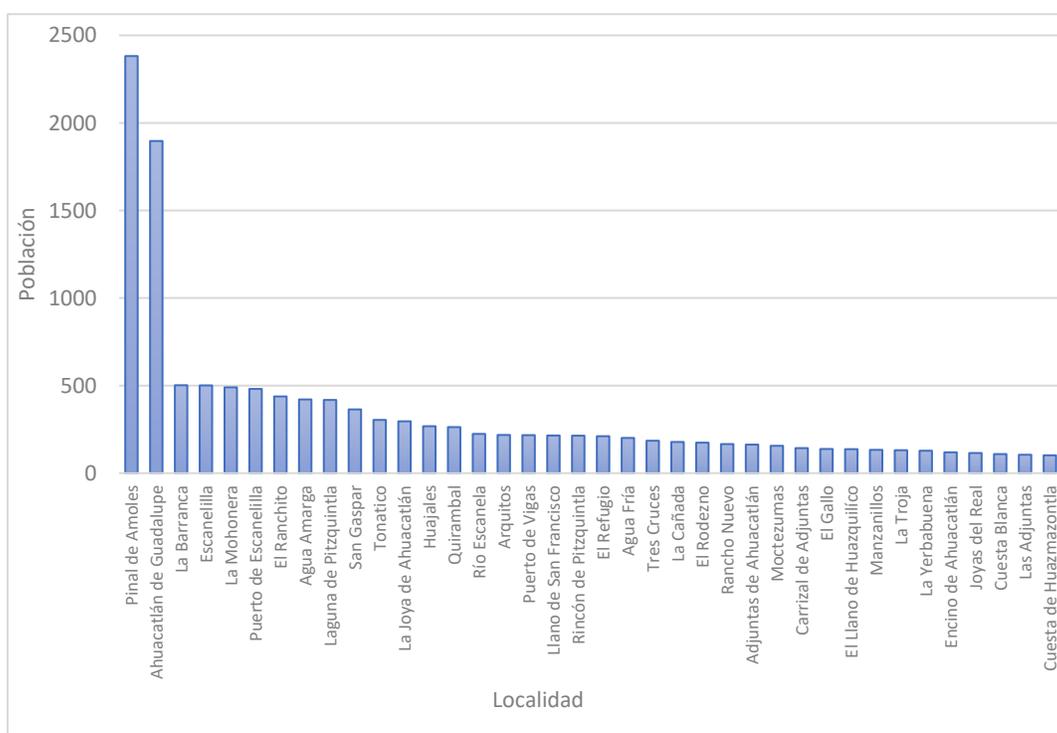


Figura 21. Localidades al interior de la zona de estudio con más de 100 habitantes. Fuente: elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2020.

De acuerdo con los Censos y Conteos de Población y Vivienda (1990-2020), el municipio de Jalpan de Serra presentó una tasa de crecimiento de 1.73 % en el periodo de 1990-2000, para el periodo de 2000 a 2010 la tasa disminuyó a 1.13 % y en el periodo de 2010 a 2020 disminuyó hasta un valor de 0.68 %. En el caso de Pinal de Amoles, durante el periodo de 1990 a 2000 el crecimiento de la población fue de 0.57 %, para el periodo de 2000 a 2010 la tasa fue negativa (-0.07 %), y para el último periodo, de 2010 a 2020, la población creció a una tasa muy baja (0.10 %) (Tabla 9).

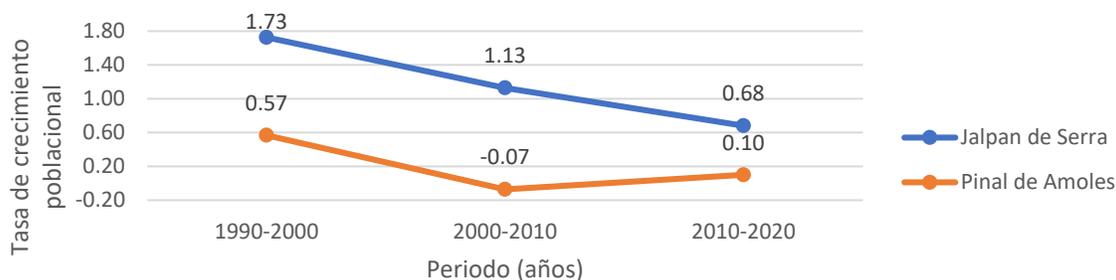


Tabla 9. Tasa de crecimiento poblacional. Elaboración propia con datos del INEGI (1990-2020).

A diferencia del crecimiento poblacional, el fenómeno de migración es ascendente en los municipios de Jalpan de Serra y Pinal de Amoles. De acuerdo con datos de la CONAPO, durante el periodo 2000 a 2010 en el municipio de Jalpan de Serra se incrementó el número de hogares que recibían remesas, pasando del 13.88 % a 17.49 %, y en el caso de Pinal de Amoles, el incremento fue de casi el doble pasando de 6.96 % en 2000 a 13.55 % en 2010 (CONAPO, 2012). Además, la intensidad migratoria paso de un grado alto a muy alto en Jalpan de Serra, y de bajo a muy alto en Pinal de Amoles (CONAPO, 2012).

Adicionalmente, la mayoría de las localidades dentro del área de estudio se encuentran entre un nivel medio y bajo de marginación; 7 de las 85 localidades presentan un grado de marginación muy alto, 10 un grado alto, 21 un grado medio, 25 un grado bajo, y 10 un grado muy bajo (CONAPO, 2021). Las localidades con mayor nivel de marginación corresponden a Las Escaleras, La Mesa de la Barranca, Las Cabañas, Cinco Pinos, Río Adentro, Casa Blanca y El Llano. Dicha marginación se manifiesta en viviendas sin drenaje ni excusados, sin electricidad, sin agua entubada y viviendas con piso de tierra, así mismo en integrantes de la población sin educación básica (CONAPO, 2021).

De forma general, las principales carencias que presentan las localidades de la zona de estudio son: 1) carencia de agua, como consecuencia de la falta de infraestructura para su distribución sobre todo en las localidades más alejadas, 2) mala calidad del agua vinculada a las descargas de aguas residuales sin previo tratamiento y por el mal funcionamiento de las plantas tratadoras existentes; 3) falta de empleo; 4) falta de caminos y los existentes en mal estado; 5) carencia de alumbrado público y fallas de energía eléctrica en los hogares; 6) carencia o mal estado del drenaje; y 7) falta de transporte público (INEGI, 2014).

4.1.5.2 Tenencia de la tierra

En la zona de estudio se localizan 12 núcleos agrarios, total o parcialmente dentro de sus límites; todos ellos son ejidos y abarcan el 30.27 % (5,740.73 ha) de la superficie (RAN, 2020). La mayor parte de los ejidos que se ubican al interior del área de estudio pertenecen al municipio de Pinal de Amoles (11 ejidos en total) y solo un ejido, Pitzquintla, pertenece al municipio de Jalpan de Serra (Figura 22).

El ejido con mayor superficie en la zona de estudio es el ejido “La Barranca”, con una superficie de 1,396.21 ha, lo que equivale al 7.36 % de la superficie total de la zona de estudio; en cambio, los ejidos con menos superficie son el ejido El Derramadero y el ejido El Madroño, con 3.93 ha (0.02 %) y 2.13 ha (0.01 %) respectivamente (Tabla 10).

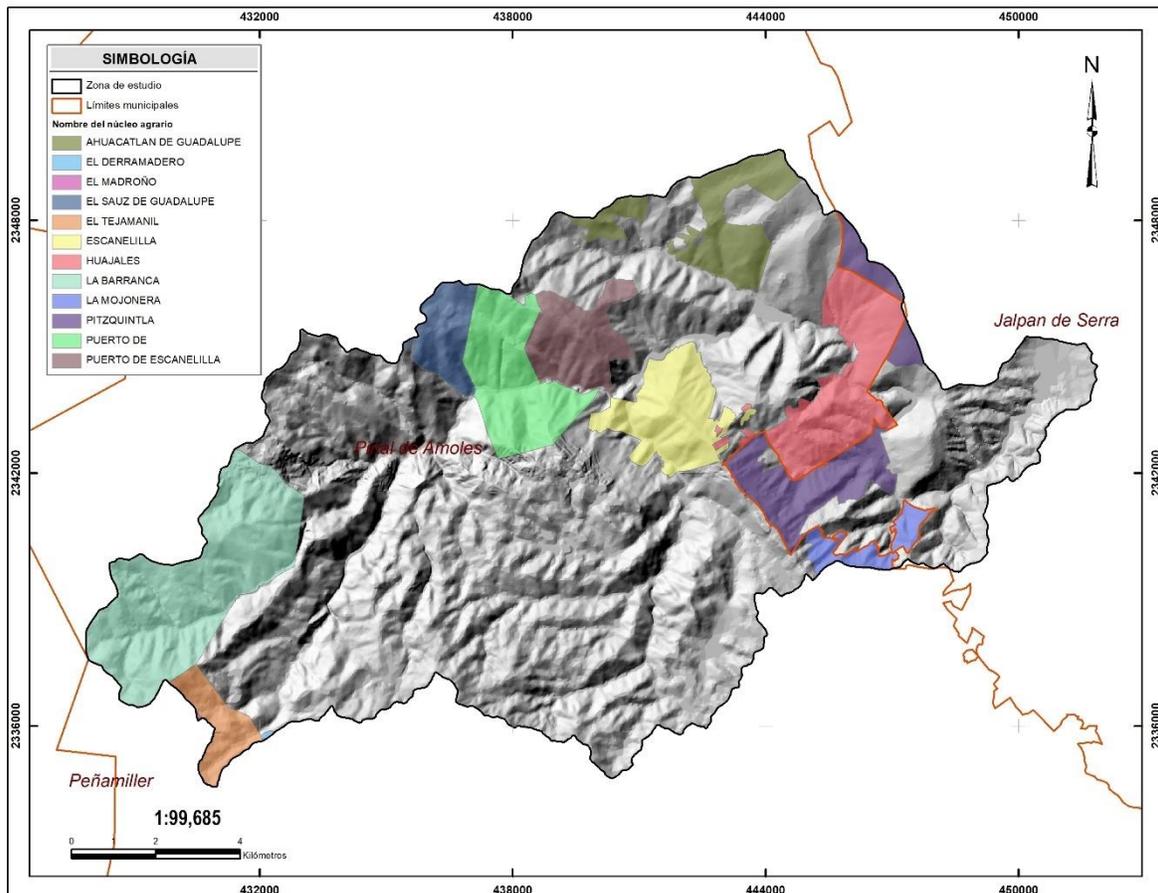


Figura 22. Núcleos agrarios. Fuente: elaboración propia con base en los Datos geográficos perimetrales de los núcleos agrarios certificados, por estado, RAN (2020).

Tabla 10. Núcleos agrarios en el área de estudio.

<i>Tipo</i>	<i>Nombre</i>	<i>Superficie (total o parcial) ha</i>	<i>% respecto al área de estudio</i>
Ejido	Ahuacatlán de Guadalupe	558.89	2.95 %
Ejido	Puerto de Alejandría	674.86	3.56 %
Ejido	La Barranca	1,396.21	7.36 %
Ejido	El Derramadero	3.93	0.02 %
Ejido	Escanelilla	578.59	3.05 %
Ejido	Puerto de Escanelilla	438.13	2.31 %
Ejido	El Madroño	2.13	0.01 %
Ejido	La Mojonera	177.22	0.93 %
Ejido	El Sauz de Guadalupe	280.46	1.48 %
Ejido	El Tejamanil	231.23	1.22 %
Ejido	Huajales	748.53	3.95 %
Ejido	Pitzquintla	650.55	3.43 %
	Total	5,740.73	30.27 %

Fuente: elaboración propia con datos del RAN (2020).

4.1.5.3 Actividades económicas

Con base en los datos de Características de las localidades y del entorno urbano 2014 del INEGI, en 62 de las 85 localidades de la zona de estudio la agricultura es considerada la actividad económica primaria (Tabla 11); se cultiva principalmente maíz y frijol en el ciclo primavera-verano y el garbanzo en el ciclo otoño-invierno, cuya producción es para fines de autoconsumo y en ocasiones los excedentes se comercializan. A una menor escala existen plantaciones perennes de manzana en localidades de Pinal de Amoles y de naranja en Jalpan de Serra, en estos casos la producción tiene un fin más comercial.

La cría y explotación de ganado aviar, porcino y ovino, es la principal actividad económica en 7 localidades de la subcuenca, pero también se lleva a cabo en otras localidades la cría de otro tipo de ganado (como el vacuno) a una escala menor y bajo un sistema extensivo de libre pastoreo (INEGI, 2014), donde se utilizan pastos nativos y, en pequeñas áreas, zacates inducidos tales como estrella de África y Guinea (INE, 1999).

El aprovechamiento forestal no se constituye como una actividad económica primordial para los habitantes de las localidades de la zona de estudio, sin embargo, se lleva a cabo como una actividad secundaria en San Gaspar, Agua Enterrada, El Gallo, El Rodezno, La Gallina, y La Barranca, pertenecientes al municipio de Pinal de Amoles, donde se aprovecha principalmente especies de pino (*Pinus patula*, *P. montezumae* y *P. teocote* y *Pinus greggii*), encino, juníperos (INEGI, 2014).

Otra actividad dentro del sector primario es la pesca, la cual se desarrolla en torno a la Presa Jalpan desde el momento de su construcción (1976) cuando se introdujeron especies de peces como la carpa (*Cyprinus carpio*), la tilapia (*Oreochromis sp.*) y la lobina (*Micropterus salmoides*), sin embargo, actualmente se trata de una pesca de subsistencia y recreativa con poco aporte a la economía de la región (RAMSAR, 2003).

Dentro del sector secundario, la minería resulta ser la actividad más importante en dos localidades de Pinal de Amoles (Río Escanela y Loma de las Minas) donde se extrae principalmente plata (INEGI, 2014). También se lleva a cabo como una actividad secundaria en las localidades de Pinal de Amoles, El Rodezno, La Gallina, y Río Adentro, en esta última se aprovecha la grava y limo del río Jalpan (INEGI, 2014). Otras localidades de la zona de estudio que presentan un gran potencial minero son Agua Amarga, Agua Fría y La Barranca (SGM, 2020).

En cuanto a las actividades terciarias, el comercio es la principal actividad económica en las localidades de Pinal de Amoles y Ahuacatlán de Guadalupe, las cuales se caracterizan por ser las más pobladas dentro de la zona de estudio (INEGI, 2014). Por su parte, el turismo es una actividad que ha tomado relevancia en los últimos años; dentro de la zona de estudio existen grupos que proveen distintos servicios y actividades ecoturísticas entorno a los principales centros turísticos como El Chuveje y Río Escanela, localizados en el municipio de Pinal de Amoles; la Presa Jalpan y la Misión franciscana ubicados en la cabecera municipal Jalpan de Serra (SECTUR, 2014). A pesar del potencial turístico de la región, sólo un pequeño sector de la población se dedica a esta actividad figurando como actividad secundaria (INEGI, 2014).

Tabla 11. Principales actividades económicas que se realizan en las localidades ubicadas dentro de la zona de estudio.

<i>Principal actividad económica</i>	<i>Principal producto</i>	<i>No. de localidades</i>	<i>Porcentaje</i>
Agricultura	Maíz, frijol, garbanzo, manzana, naranjo o naranja	62	72.94
Cría y explotación de animales	Ganado aviar, porcino y ovino	7	8.24
Minería	Plata	2	2.35
Comercio	Actividad comercial diferente a la agropecuaria o minería	2	2.35
No se especifica actividad	No aplica	12	14.12
Total		85	100.00

Fuente: elaboración propia con datos del programa “Características de las localidades y del entorno urbano”, INEGI (2014).

5 MÉTODOS Y TÉCNICAS

En este capítulo se describe la aproximación metodológica de la investigación, detallando métodos, variables, técnicas, y herramientas para desarrollar cada una de las etapas que dan cumplimiento a los objetivos específicos planteados. En este sentido la investigación consta de cuatro etapas: 1) Análisis de las prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio; 2) Determinación del efecto de las prácticas de conservación de suelo en la erodabilidad del suelo; 3) Estimación de la erosión hídrica e Identificación de zonas prioritarias para su manejo, y 4) Determinación del aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan (Figura 23).

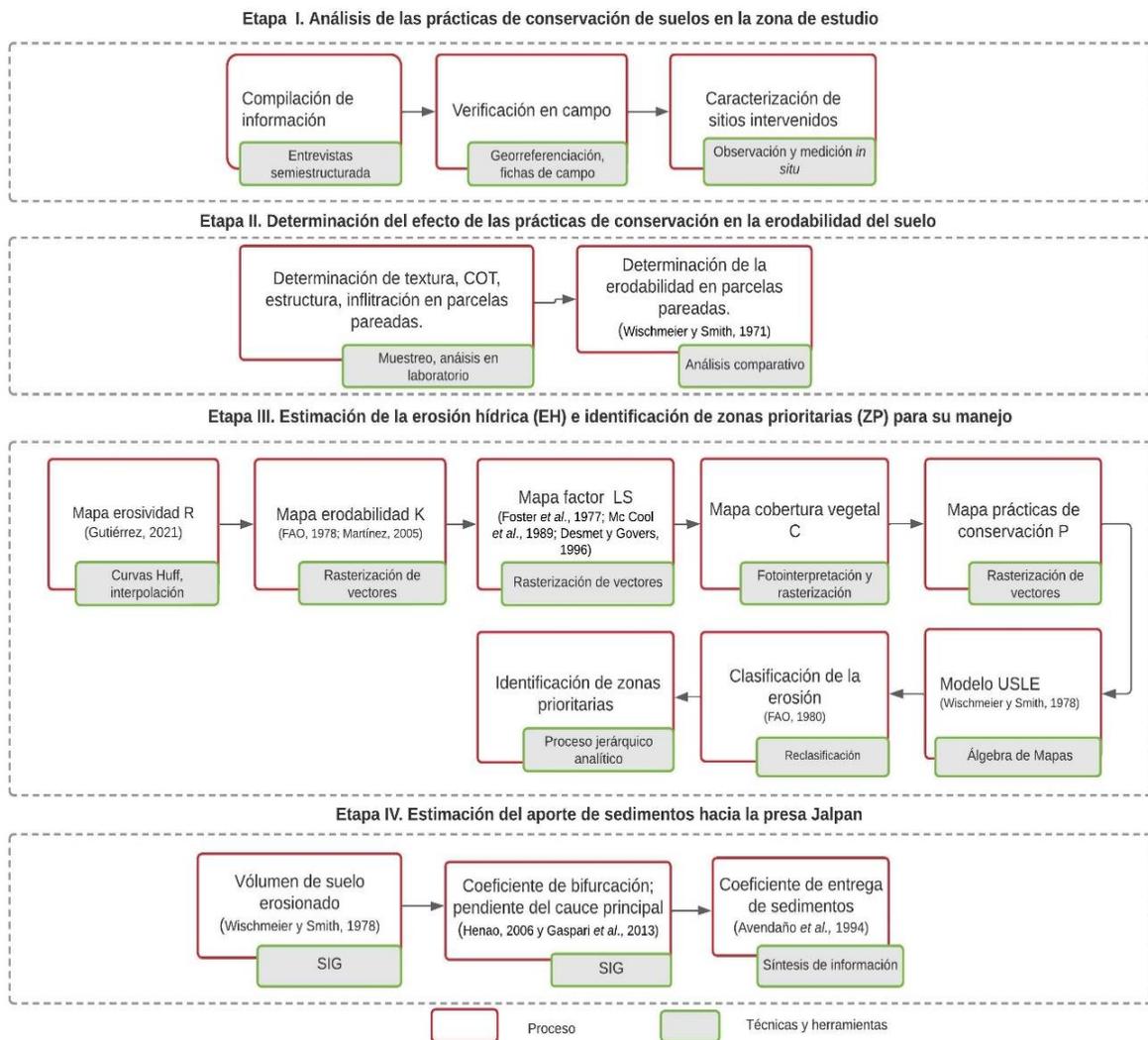


Figura 23. Marco metodológico de la investigación.

5.1 Etapa 1. Análisis de las prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio.

El análisis de las prácticas de conservación se realizó en dos fases; 1) recopilación de información, y 2) verificación y descripción de las áreas intervenidas.

5.1.1 Recopilación de información.

La recopilación de información se hizo a través de entrevistas semiestructuradas realizadas a representantes de la CONANP, CONAFOR, SADER y Grupo Ecológico Sierra Gorda I. A. P., quienes han llevado a cabo diversas acciones de conservación en la zona de estudio, incluyendo prácticas de conservación de suelos. Las entrevistas se realizaron los días 20 y 21 de mayo de 2021. Constaban de 3 secciones; la primera sección fue para recabar los datos personales del entrevistado, como el nombre y cargo. En la segunda sección se abordaron características generales de los sitios intervenidos con prácticas de conservación, como la localización, características y fecha de ejecución de las prácticas de conservación, así como criterios de selección de los sitios intervenidos y los mecanismos de seguimiento y evaluación de las prácticas de conservación implementadas en sus programas. La tercera sección trató sobre la percepción del impacto de las prácticas de conservación en la zona y el grado de aceptación que tienen los dueños de los predios ante estas prácticas (Ver anexo 1). Cada entrevista tuvo una duración de 30 minutos aproximadamente, todos los entrevistados permitieron que se grabara la conversación. La información recabada en las entrevistas, así como los datos auxiliares que los informantes proporcionaron (informes, archivos shapefile, Excel, entre otros) fueron analizados y sintetizados.

5.1.2 Verificación y caracterización de los sitios con prácticas de conservación de suelos.

A partir de la información recabada en las entrevistas, se procedió a verificar en campo las áreas intervenidas y a través de fichas de control (anexo 2) se registraron los siguientes aspectos: 1) Características generales del sitio (forma del terreno, tipo de vegetación, usos del suelo, pendiente del terreno, características del suelo, intercepción con escurrimientos, entre otros); 2) Características de las prácticas de conservación (ubicación respecto a las zonas funcionales, tipo de práctica, función que cumplen, y condición actual); y 3) Rasgos de pérdida de suelo de acuerdo con

indicadores propuestos por Stocking y Murnaghn (2001) e INEGI (2014b) (Tabla 12). Por cuestiones de tiempo únicamente se pudieron visitar 22 sitios de un total de 40 sitios que los entrevistados indicaron ser intervenidos con prácticas de conservación de suelos, las visitas se realizaron los días 16 de mayo, 22 de mayo y 26 de octubre de 2021.

Tabla 12. Indicadores de pérdida del suelo propuestos para la zona de estudio.

<i>Indicador de pérdida de suelo</i>	<i>Imagen de referencia</i>
<p>Erosión laminar: Consiste en la remoción gradual de delgadas capas más o menos uniformes de suelo, generalmente de forma paralela a la superficie. Es la forma menos perceptible del flagelo erosivo y, por ello, la más peligrosa.</p>	
<p>Formación de surcos: Depresión lineal poco profunda o canal en el suelo con profundidad menor a 50 cm, que transporta agua después de lluvias recientes.</p>	
<p>Cárcavas: Es una depresión profunda en forma de zanja, canal o barranco con paredes escarpadas de 50 cm o más tanto de profundidad como de ancho en su tramo más representativo, semejando una superficie reciente y muy activa para drenaje natural.</p>	
<p>Montículos: Formaciones conspicuas que resultan de la pérdida del suelo de forma selectiva se pueden presentar de forma aislada o dando la apariencia de micro-relieve, generalmente están asociados con presencia de vegetación que los mantiene consolidados.</p>	
<p>Pedestales: Es una columna de suelo que queda en pie a partir de la superficie erosionada circundante, protegida en su parte superior por una capa de material resistente (tal como una piedra, raíz o planta).</p>	

<i>Indicador de pérdida de suelo</i>	<i>Imagen de referencia</i>
<p>Terracetas: Tipo de erosión causada por el ganado cuando camina en terrenos de ladera. El paso continuo del ganado sumado a su peso ejercido en el área de desplazamiento por las pezuñas produce una compactación y la formación de pequeñas terracetas que pueden degenerar posteriormente en formas erosivas de surcos y cárcavas.</p>	
<p>Remontantes: Formación que resulta de la expansión de cárcavas o de la erosión laminar, hacia arriba y los lados, indicando un grado avanzado de la degradación. Se identifica por un desnivel en forma escalonada entre el área erosionada y la zona más estable.</p>	
<p>Compactación: Endurecimiento superficial del suelo provocado por el mal manejo y disturbios, lo que disminuye la porosidad y drenaje.</p>	

Fuente: elaboración propia a partir de los indicadores propuestos por Stocking y Murnaghn (2001) e INEGI (2014b).

5.2 Etapa 2. Determinación del efecto de las prácticas de conservación en la erodabilidad del suelo.

Una parte importante de la investigación es conocer el impacto que tienen las prácticas de conservación de suelos localizadas dentro de la zona de estudio en la erodabilidad o resistencia del suelo ante la erosión hídrica, conocido también como factor K. Para ello se comparó la erodabilidad en áreas con prácticas de conservación con la erodabilidad en áreas contiguas sin intervención (control).

Para el cálculo de la erodabilidad se utiliza el nomograma de Wischmeier y Smith (1971), en el cual se consideran las características intrínsecas del suelo, tales como, contenido de materia orgánica, la porción de arenas, limos y arcillas, su estructura y permeabilidad (Figura 24).

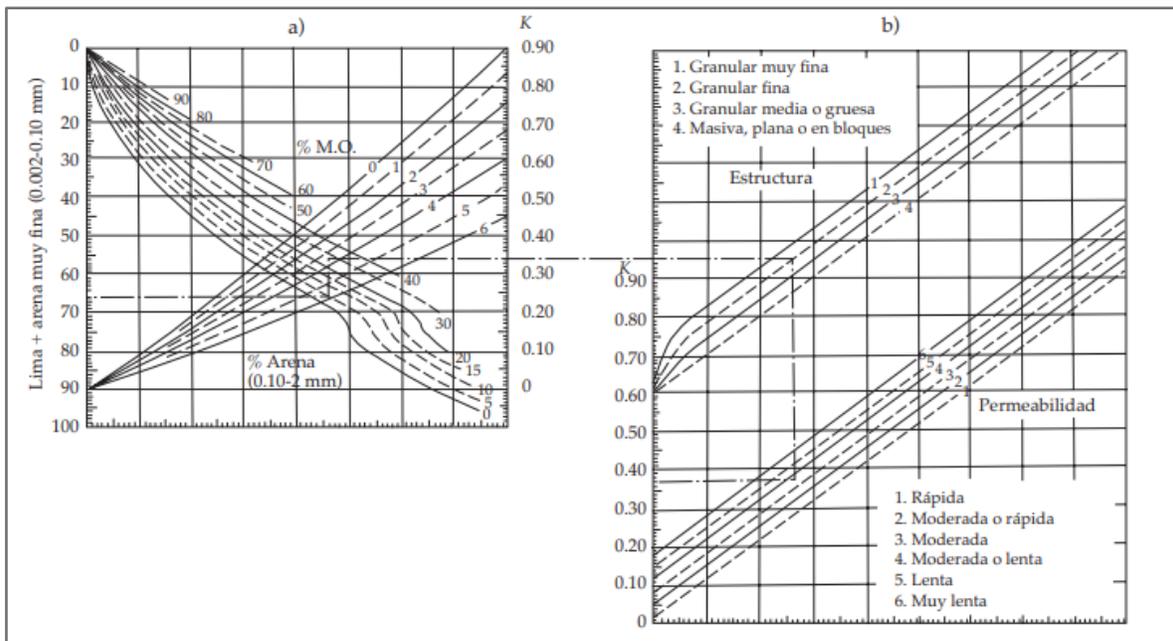


Figura 24. Nomograma de Wischmeier y Smith para el cálculo del factor K (Renard, 1997).

El sesgo visual que se puede tener de la interpretación del nomograma conduce a utilizar la expresión algebraica del nomograma propuesta por Wischmeier y Smith (1978) y Renard *et al.* (1997), la cual es aplicable en aquellos casos donde la fracción de limo no excede el 70 %.

$$K = 0.1317 [2.1 * M^{1.14} * 10^{-4} * (12 - MO) + 3.25 (s - 2) + 2.5 (p - 3)] / 100$$

Donde:

K=Erodabilidad del suelo (t ha h /ha MJ mm)

M= Factor textural (% limo + % de arena fina) (100- % arcilla).

MO= es el % de Materia orgánica

s=código correspondiente a la clase de estructura

p=código de la clase de permeabilidad del suelo

El grado de erodabilidad que se obtiene de la ecuación se clasifica en cinco categorías, utilizando la Tabla 13 propuesta por el USDA (1962) citado por Zaragoza (2021). Las categorías propuestas indican que a medida que el valor de K se acerca al 0, el suelo es menos erodable.

Tabla 13. Clasificación de la erodabilidad de acuerdo con USDA (1962).

Clasificación	Valor de K (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
Muy poco erodable	< 0.007902
Débilmente erodable	0.0079 – 0.0171
Medianamente erodable	0.0171 – 0.0329
Fuertemente erodable	0.0342 – 0.0684
Extremadamente erodable	0.0684 – 0.1027

Fuente: Zaragoza (2021).

5.2.1 Delimitación de parcelas pareadas para la estimación de la erodabilidad

Para poder hacer comparaciones acertadas de la erodabilidad en áreas con prácticas de conservación y áreas de control, fue necesario establecer parcelas pareadas. Es decir, se realizaron cálculos de erodabilidad en las áreas donde se localiza las prácticas de conservación y en áreas contiguas sin prácticas (control) con similar superficie y las mismas condiciones de pendiente, exposición a la lluvia, tipo y uso de suelo, a fin de que las diferencias de erodabilidad únicamente estén condicionadas por las propiedades intrínsecas del suelo como la textura, estructura, materia orgánica y permeabilidad. Esta técnica de muestreo ha sido aplicada en estudios donde se hacen mediciones directas de la erosión hídrica a nivel parcela debido a que es una técnica sencilla llevada a cabo en un tiempo corto comparado con muestreos más complejos (Vásquez y Tapia, 2011; Jiménez, 2010).

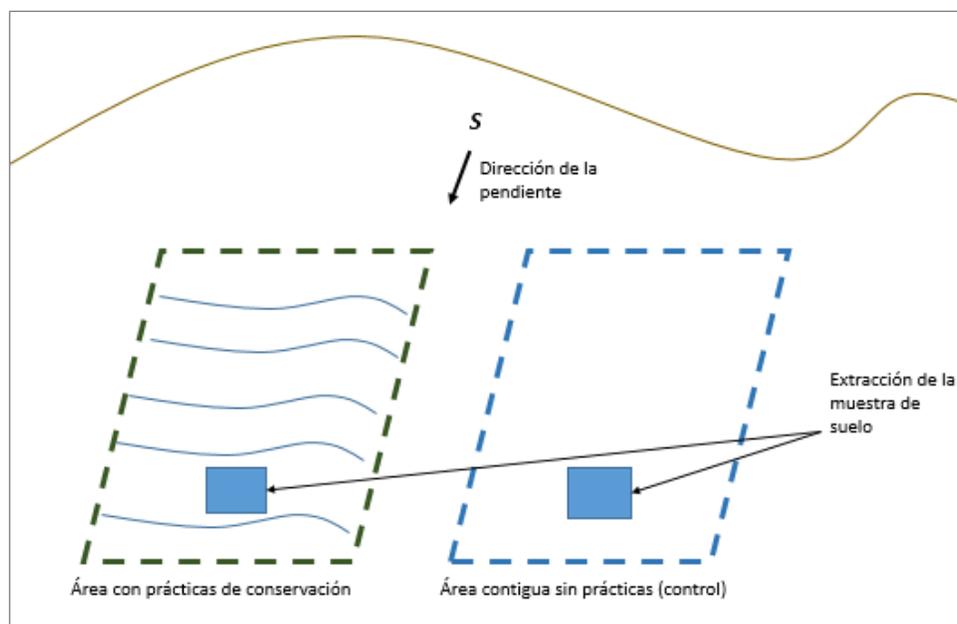


Figura 25. Detalle de las parcelas pareadas en la ladera. Elaboración propia.

Se seleccionaron 9 sitios de los 17 sitios verificados con prácticas de conservación dentro de la zona de estudio, y se establecieron sus respectivas parcelas pareadas (Tabla 14). Se intentó abarcar los diferentes tipos de prácticas y años de intervención, para determinar en cuál de ellas existe menor erodabilidad y por lo tanto son más eficientes en la conservación del suelo. Adicionalmente se consideraron los usos del suelo (Forestal, agrícola y pecuario) y la accesibilidad a los sitios. En la Figura 26, se muestran los sitios de muestreo.

Tabla 14. Criterio de selección para el establecimiento de parcelas pareadas.

Sitio	Tipo de práctica	Localización	Año de intervención	Uso de suelo	Accesibilidad
2	Reforestación con pino-cedro	Ejido la Barranca	2019	Forestal	Accesible
5	Reforestación con pino-cedro	Ejido la Barranca	2019	Parcela de pastoreo	Accesible
7	Líneas de maguey	Ejido la Barranca	2019	Parcela agrícola	Moderadamente accesible
12	Líneas de maguey y presas de piedra acomodada.	Ejido la Barranca	2019	Parcela agrícola	Moderadamente accesible
13	Reforestación p-c intercalada con maguey.	Ejido la Barranca	2019	Parcela agrícola	Accesible
23	Terrazas agrícolas	El Llano de San Francisco	2020	Parcela agrícola	Accesible
24	Reforestación pino-cedro y presas de piedra acomodada.	El Llano de San Francisco	2020	Forestal	Poco accesible
33	Presas de piedra acomodada.	Ejido Ahuacatlán	2019	Forestal	Poco accesible
34	Barreras de piedra acomodada	Pitzquintla	2014	Forestal	Poco accesible

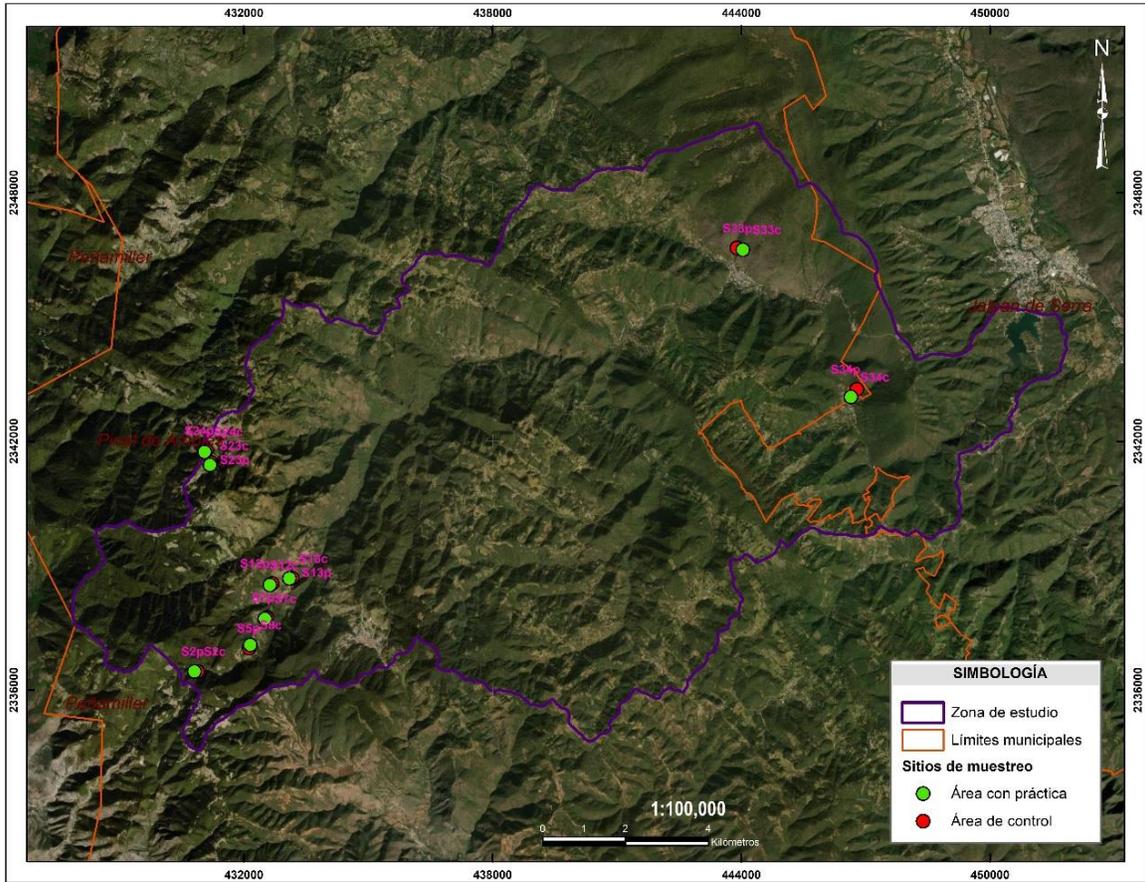


Figura 26. Localización de los sitios de muestreo.

5.2.2 Obtención de las muestras de suelo

Para determinar la textura y contenido de materia orgánica se tomaron 18 muestras de suelo de las parcelas pareadas; 9 en las zonas con prácticas de conservación y 9 muestras en las zonas de control. La muestra se tomó de la sección inferior de las parcelas pareadas, y consistió en la extracción de 0.5 kg de suelo en los primeros 20 cm de profundidad, evitando en todo momento su alteración (Figura 27). Posteriormente las muestras fueron etiquetadas y se mantuvieron a temperatura ambiente para su posterior análisis en laboratorio. La permeabilidad del suelo y estructura se determinaron en el sitio.



Figura 27. Recolección de las muestras de suelo

5.2.2.1 Determinación de textura

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa en masa de las partículas de arena, limo y arcilla, que componen al suelo (FAO, 2009). Es una propiedad importante ya que influye en la porosidad, en las condiciones de infiltración y de retención de humedad así mismo tiene influencia en la erodabilidad del suelo (FAO, 2022). Estudios como el de Velásquez (2008) y Ramírez (2010) mencionan que los suelos con alto contenido de arcillas tienen valores bajos de K, debido a su resistencia al desprendimiento, suelos con texturas gruesas, como los arenosos tienen también bajos valores de K debido a su permeabilidad, en cambio, suelos con alto contenido de limo son los más erodables ya que tienden a formar una costra que impide la infiltración del agua y favorece la escorrentía.

La textura del suelo fue determinada en el laboratorio de Calidad de Suelo y Agua de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, por el método de hidrómetro de Bouyocos (NOM-021-RECNAT-2000) el cual se basa en la diferencia de velocidades de sedimentación de las partículas en función de su tamaño y densidad “Ley de Stocks” (Beretta *et al.*, 2014). El procedimiento que se siguió es el siguiente:

Se pone a secar cada muestra de suelo al aire durante un día. Una vez que se ha eliminado la humedad, el suelo es triturado en un mortero (Figura 28). Posteriormente se hace pasar por un tamiz de malla de No.12 para separar las partículas finas (de menos de 2 mm) de las partículas mayores como las gravas y las piedras (Figura 29).



Figura 28. Triturado del suelo



Figura 29. Tamizado del suelo

Se pesa 40 gramos del material fino y se deposita en un vaso de metal, se adiciona 15 ml de hexametáfosfato de sodio y 100 ml de agua destilada para la dispersión química de las partículas del suelo (Figura 30). Posteriormente se coloca el vaso de metal con la mezcla en el agitador eléctrico (tipo licuadora) durante 5 minutos. Se transfiere la suspensión a una probeta con capacidad de 1000 ml, se agrega agua destilada hasta llegar a la marca y con un agitador de plástico se mezcla vigorosamente por otros 5 minutos para conseguir una mayor dispersión de las partículas (Figura 31). Tan pronto se haya terminado de agitar, se introduce el hidrómetro en la probeta con la suspensión y se toma la lectura del valor medido (gr/ml) en la escala del equipo, así como la temperatura.



Figura 30. Pesado del suelo.



Figura 31. Introducción del Hidrómetro en la suspensión.

Después de una hora se vuelve a leer el valor en la escala del hidrómetro y la temperatura, siendo estos los valores finales. Finalmente se procede a hacer los cálculos para determinar los porcentajes de las distintas fracciones:

$$\% \text{ de arena} = 100 - \frac{L_{\text{inicial}} + (FC \cdot T_{\text{inicial}})}{P} \times 100$$

$$\% \text{ de arcilla} = \frac{L_{\text{final}} + (FC \cdot T_{\text{final}})}{P} \times 100$$

$$\% \text{ de limo} = 100 - (\% \text{ arena} + \% \text{ arcilla})$$

Donde:

L_{inicial} : Lectura inicial del hidrómetro

L_{final} : Lectura final

T_{inicial} : Temperatura inicial

T_{final} : Temperatura final

P: Peso de la muestra

FC: Factor de corrección de temperatura

Las lecturas del hidrómetro son corregidas en función de la temperatura medida; se agregan 0.36 por cada grado centígrado cuando la temperatura es superior a los 19.5 °C y se resta la misma cantidad por cada grado centígrado cuando la temperatura es inferior a 19.5 °C (Tabla 15).

Tabla 15. Tabla de corrección por temperatura de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000.

Tem. °C	Corrección	Tem. °C	Corrección	
15.0	-	1.62	21.5 +	0.18
15.5	-	1.44	22.0 +	0.90
16.0	-	1.26	22.5 +	1.08
16.5	-	1.08	23.0 +	1.26
17.0	-	0.90	23.5 +	1.44
17.5	-	0.72	24.0 +	1.62
18.0	-	0.54	24.5 +	1.80
18.5	-	0.36	25.0 +	1.98
19.0	-	0.18	25.5 +	2.15
19.5	-	0	26.0 +	2.34
20.0	+	0.18	26.5 +	2.52
20.5	+	0.36	27.0 +	2.70
21.0	+	0.54	27.5 +	2.858
			28.0 +	3.06

Fuente: DOF, 2002.

La case de textura se determinó para cada muestra de suelos en relación a la combinación de los porcentajes de partículas de arena, limo y arcilla, de acuerdo con el triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (Figura 32):

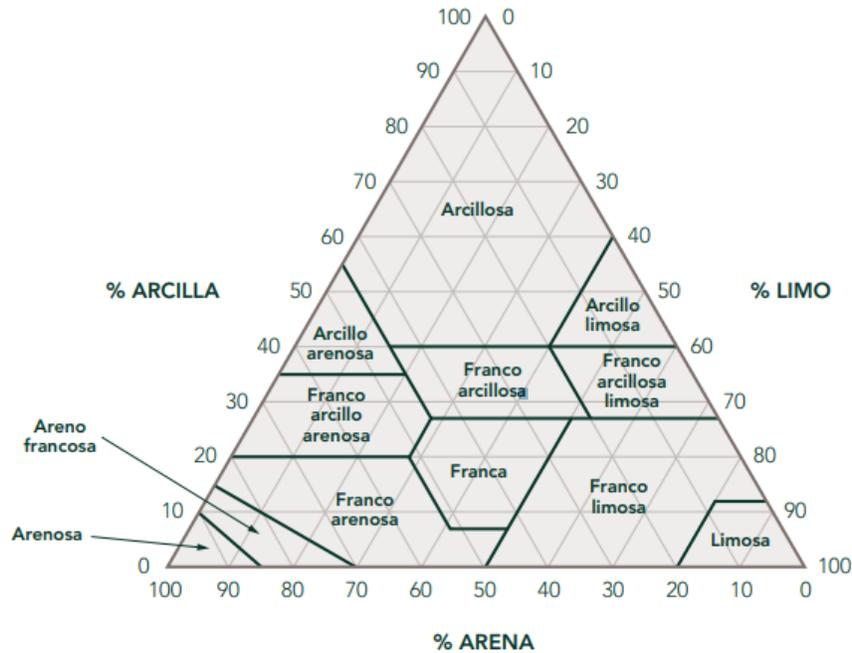


Figura 32. Triángulo de las clases texturales del suelo de acuerdo con el tamaño de partículas. Fuente: USDA, 2017.

5.2.2.2 Determinación de la estructura

La estructura del suelo describe la forma en cómo se encuentran organizadas las partículas primarias del suelo en partículas compuestas, ya sea en *peds*, agregados que resultan de procesos pedogenéticos (procesos químicos, físicos y biológicos) o bien, agregados como un terrón, que es producto de un disturbio (por ejemplo, la labranza) (Siebe *et al.*, 2016). Cerdà (2001) menciona que un suelo que mantiene buena agregación hace difícil el proceso de erosión ya que las partículas se mantienen unidas y es más fácil la infiltración del agua, caso contrario sucede cuando el suelo no presenta estructura, al encontrarse dispersas las partículas de suelo, estas son más fáciles de erosionarse, se taponan los poros y el agua en lugar de infiltrarse se escurre.

Su determinación se hizo en campo, mediante la observación visual y tacto, siguiendo las recomendaciones del Manual para la Descripción y Evaluación Ecológica de Suelos en Campo de Siebe *et al.* (2016). Después se asignó un código

de estructuras correspondiente a las categorías usadas en la ecuación del nomograma de Wischmeier *et al.* (1971) (Figura 33).

Código USLE	Tipo de estructura	
1	Granular muy fina	
2	Granular fina	
3	Granular media a gruesa	
4	Bloques	
	Laminar	
	Masiva	

Figura 33. Códigos de estructura del suelo. Fuente: Mancilla, 2008.

5.2.2.3 Determinación de materia orgánica

Contenido de materia orgánica: la materia orgánica de los suelos comprende un amplio rango de sustancias carbonatadas incluyendo: la biomasa microbiana, restos vegetales y/o animales en descomposición y mezclas amorfas coloidales de sustancias orgánicas complejas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas) (Picone, 2006; Eyherabide *et al.*, 2014). Contribuye a que las partículas minerales individuales del suelo formen agregados estables mejorando así la estructura del suelo, además favorece una buena porosidad y retención de humedad. Por las razones anteriores entre mayor sea el contenido de MO, menores serán los riesgos de erosión.

Se determinó el Carbono Orgánico Total (TOC) de las muestras en el laboratorio de Calidad de Suelo y Agua de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, utilizando un analizador automático Shimadzu TOC-V_{CSH} y un módulo de muestras sólidas Shimadzu SSM-5000^a (Figura 34). El método para determinar el TOC se basa en una oxidación catalítica por combustión de la muestra (Eyherabide *et al.*, 2014), es

decir se determina la concentración de carbono basado en la cantidad de CO_2 producido por la muestra.

El proceso comenzó con el tamizado de la muestra de suelo utilizando una malla de No. 170 para obtener partículas menores a $90\ \mu\text{m}$. Se toman 20 gr de la muestra y se introduce al módulo de muestras sólidas donde se combustiona a 900°C y se forma carbono (orgánico e inorgánico) que se oxida a dióxido de carbono (CO_2). Este CO_2 se transporta empleando una corriente de aire y se mide mediante un detector de infrarrojos no dispersivo (NDIR) para obtener el carbono total (CT). Para determinar el carbono inorgánico (CI) se introducen 35 gr de suelo en el módulo, se acidifica con ácido fosfórico y se combustiona a 200°C para asegurar la reacción total del carbono inorgánico, pero no del orgánico. Al formarse CO_2 es analizado por el NDIR. Finalmente, el TOC se determina por diferencia del TC y CI.

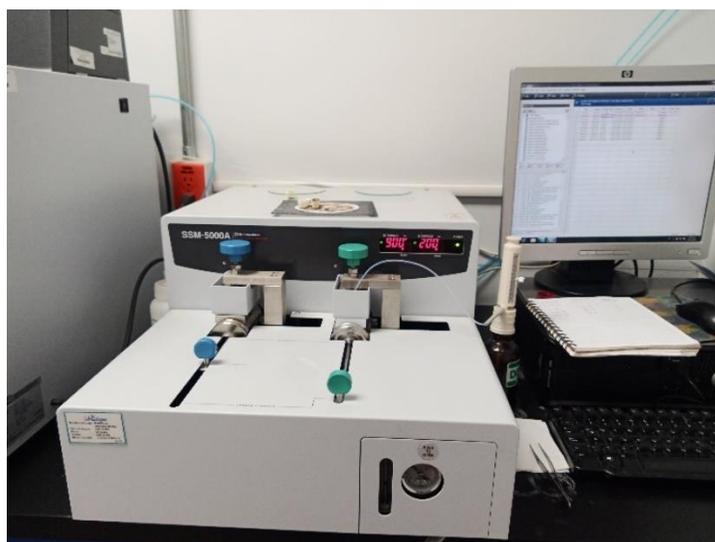


Figura 34. Analizador de Carbono Orgánico Total (TOC) Shimadzu TOC-VcSH: Shimadzu SSM-5000A.

5.2.2.4 Determinación de la permeabilidad

La permeabilidad del suelo se conceptualiza como la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie, en función de la porosidad, textura y materia orgánica (Tapia *et al.*, 2020). Esta propiedad es muy importante ya que condiciona la escorrentía y el arrastre de partículas del suelo. Se determinó a partir de la textura del suelo, utilizando las categorías del Manual de Suelos N° 430 del Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA, 1983) (Tabla 16).

Tabla 16. Clase de permeabilidad según textura.

Clase de permeabilidad según textura	USDA (1983) Textura	Rawins <i>et al</i> (1982) K_{fs} (m día ⁻¹)	Hudson (1982) K_{fs} (m día ⁻¹)
1) (rápida y muy rápida)	Arenosa	> 1.463	>3
2) (moderada a rápida)	Arenosa franca, franco arenosa	0.488 - 1.463	1.5 - 3
3) (moderada)	Franca, franco limosa, limosa	0.122 - 0.488	0.48 - 1.5
4 (lenta a moderada)	Franco arcillo arenoso, franco arcillosa	0.049 - 0.122	0.12 - 0.48
5 (lenta)	Franco arcillo limosa, arcillo arenosa	0.024 - 0.049	0.03 - 0.120
6 (muy lenta)	Arcillosa, arcillo limosa	<0.024	<0.03

Fuente: Manual de suelos N° 430 (USDA, 1983).

5.3 Etapa 3. Estimación de la erosión hídrica e Identificación de áreas prioritarias para su manejo.

5.3.1 Estimación de la erosión hídrica actual y potencial

Las pérdidas de suelo por erosión hídrica en la zona de estudio se obtuvieron mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) desarrollado por Wischmeier y Smith en 1965 y modificada en 1978. El modelo permite estimar la erosión actual de los suelos a través de seis variables: erosividad de la lluvia R, erodabilidad del suelo K, longitud y grado de la pendiente LS, un factor de cobertura vegetal C, y prácticas de conservación del suelo P.

La función que describe el proceso es: **$A = R K L S C P$**

En donde:

- A** = Monto de la pérdida de suelo (t ha⁻¹ año)
- R** = Factor de erosividad de la lluvia (MJ mm / ha hr año)
- K** = Factor de erosionabilidad del suelo en (t ha hr / ha MJ mm)
- L** = Factor longitud de la pendiente (adimensional)
- S** = Factor del grado de pendiente (adimensional)
- C** = Factor de cobertura vegetal (adimensional)
- P** = Factor de prácticas de conservación de suelos (adimensional)

5.3.1.1 Mapa de la erosividad de la lluvia (R)

La erosividad de la lluvia intenta reflejar la cantidad de energía cinética que tienen las gotas de lluvia que impactan sobre el suelo, las cuales tienen un efecto doble sobre el mismo, por un lado, provocan el desprendimiento de las partículas del suelo debido al impacto directo y, por otra parte, produce un taponamiento de los poros del suelo que incide en el aumento de la escorrentía y por lo tanto de la erosión. Se puede obtener a partir de los índices de erosividad, de los cuales el de más aplicación es el índice EI30 propuesto por Wischmeier y Smith (1978) y es definido como el producto de la energía cinética total de la lluvia por la intensidad máxima en 30 minutos. Mide el efecto en que la erosión por salpicamiento y la turbulencia del flujo se combinan con el escurrimiento para remover las partículas del suelo separadas por éste (Figueroa *et al.*, 1991).

Para calcular R para una tormenta, se emplea la metodología de Gutierrez (2021) quien hace uso de la siguiente expresión:

$$R = 1.702 \frac{[\sum (1.213 + 0.890 \log I_j)(I_j T_j)] I_{30}}{173.6}$$

Donde:

R = Erosividad de la lluvia (N /hr año)

I_j = Intensidad de la precipitación pluvial para un incremento específico seleccionado de la intensidad (mm/h).

T_j =Período del incremento seleccionado de la tormenta específica (h)

I_{30} = Intensidad máxima de la tormenta durante 30 minutos (mm/h)

*Los Newton por hora por año (N /hr año) deben ser multiplicados por 10 para obtener MJ mm / ha año (Lee y Heo, 2011; Gutierrez, 2021).

Se utilizaron datos de Calixto (2013) sobre la precipitación máxima en 24 horas con un periodo de retorno de 10 año, de las 12 estaciones meteorológicas más cercanas a la subcuenca Presa Jalpan (Tabla 17).

Tabla 17. Precipitación máxima en 24 h de las estaciones más cercanas a la subcuenca.

<i>Estación</i>	<i>Clave</i>	<i>Años de registro</i>	<i>Precipitación en 24 h (mm)</i>
Jalpan de Serra (DGE)	22007	19	100
Jalpan de Serra	22008	50	108
Ayutla	22002	33	129.5
Arroyo Seco	22036	27	91
Tres Lagunas	22024	27	126
La Lagunita	22019	27	100
San Joaquín	22016	19	160
Peñamiller (SMN)	22012	39	59.5
El comedero	22051	20	70
Higuerillas	22056	21	80.3
El Doctor	22005	47	82.5
Vizarrón	22035	30	81.5
Tolimán	22017	64	60

Fuente: Elaboración propia con datos de Calixto 2012.

A partir de esta información se realizaron curvas Huff (Figura 35) para determinar la distribución de la precipitación en intervalos de 10 minutos (Figura 36) y con ello conocer la intensidad de la precipitación para un incremento de 10 minutos y la intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}) (Tabla 18).

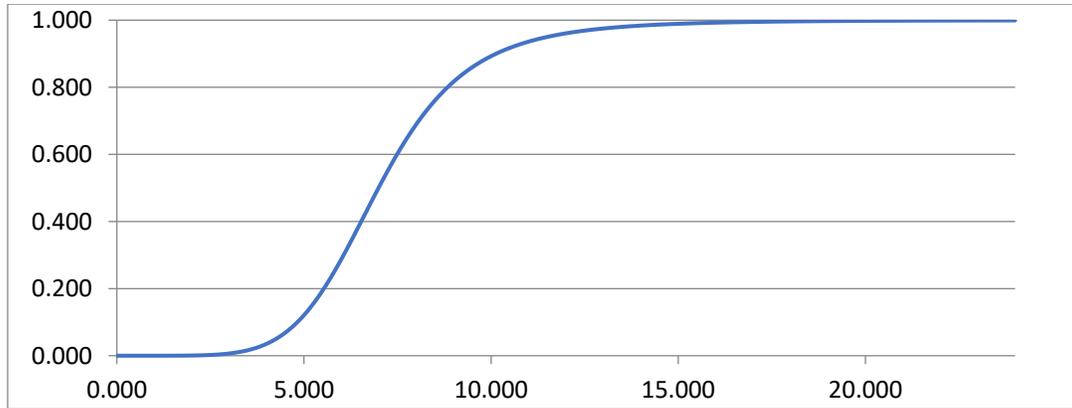


Figura 35. Curvas Huff elaborada para la estación Jalpan DGE.

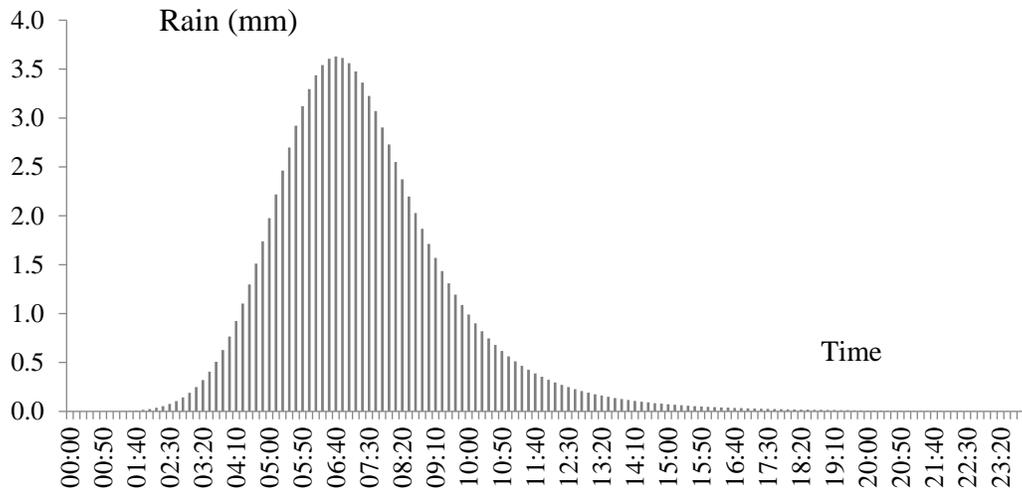


Figura 36. Distribución de la lluvia en 24 hr en intervalos de 10 minutos, estación Jalpan DGE.

Tabla 18. Cálculo de la intensidad de la lluvia en 30 minutos para la estación Jalpan de Serra DGE.

<i>Tiempo</i>	<i>Duración del intervalo de tiempo (10 min) (hr)</i>	<i>Lamina de lluvia (mm)</i>	<i>Precipitación acumulada (mm)</i>	<i>Intensidad (mm/h)</i>	<i>Intensidad de lluvia en 30 minutos (mm/h)</i>
06:10	0.167	3.437	3.44	20.58	
06:20	0.167	3.541	6.98	21.2	
06:30	0.167	3.605	10.58	21.59	21.17
06:40	0.167	3.629	14.21	21.73	21.55
06:50	0.167	3.614	17.83	21.64	21.70
07:00	0.167	3.561	21.39	21.33	21.61
07:10	0.167	3.476	24.86	20.81	21.30
07:20	0.167	3.362	28.23	20.13	20.80

Los valores resultantes de R para cada estación fueron interpolados utilizando el método *kriging* para generar una cobertura del factor R que abarcara la totalidad del área de estudio. Este método de inferencia espacial permite estimar valores en áreas sin datos con el menor sesgo, es decir, la diferencia entre los valores estimados y los reales de la variable debe ser igual a 0 (Porras, 2017).

5.3.1.2 Mapa de la erodabilidad del suelo (K)

El factor K valora la susceptibilidad de los suelos a erosionarse dependiendo de sus características como el tamaño de sus partículas (textura), el contenido de materia orgánica, su estructura, el tamaño de sus agregados y su permeabilidad (Martínez, 2005; Valdés, 2017).

Para estimar el factor K se utilizó la metodología propuesta por la FAO (1978), retomada por Martínez (2005) en donde se estiman valores de K a partir de la textura superficial y la unidad de suelo. Haciendo uso de la herramienta SIG se trabajó sobre la carta edafológica serie II, escala 1: 250,000, del INEGI (2007), acotando primero la información de la carta a la superficie del área de estudio y después asignando los valores de K recomendados por la FAO en función de la unidad edafológica y el tipo de textura. Finalmente, la capa vectorial con la información fue rasterizada para poder multiplicarla con los demás factores de la ecuación.

5.3.1.3 Mapa del factor longitud de la pendiente (L)

La longitud de la pendiente (λ) se define como la distancia desde el punto de origen de un escurrimiento hasta el lugar donde decrece la pendiente, al grado que ocurre una sedimentación, o bien hasta el punto donde el escurrimiento, una vez concentrado encuentra un canal de salida bien definido (Mc Cool *et al.*, 1989).

Originalmente se calcula con la siguiente expresión:

$$L = (\lambda / 22.1)^m$$

Donde:

λ = Longitud de la pendiente proyectada en un plano horizontal (m)

m = Exponente adimensional

λ representa la proyección horizontal terrestre y no la distancia paralela a la superficie del terreno (inclinación del terreno); el segundo valor (m) es adimensional y está influenciado por interacciones de la longitud de la pendiente con la inclinación, por las propiedades del suelo, el tipo de vegetación, y las prácticas vegetativas.

El valor del exponente m varía dependiendo de la relación de β (abajo definida) que está en función de la pendiente, la erosión entre canalillos (debida al impacto de las gotas de lluvia) y la erosión en canalillos (causado por el flujo superficial) de acuerdo con la relación propuesta por Foster *et al.* (1977):

$$m = [\beta / (1 + \beta)]$$

Los valores de la relación β para condiciones donde los suelos son moderadamente susceptibles a la erosión entre y en canalillos, fueron calculados por McCool *et al.* (1989), utilizando la relación:

$$\beta = (\text{sen}\theta/0.0896) / [3.0 (\text{sen}\theta)^{0.8} + 0.56]$$

Donde:

θ = Ángulo de la pendiente en radianes

Cuando se evalúa la erosión del suelo a escala de cuencas hidrográficas, usando las metodologías USLE (Wischmeier y Smith, 1978) o RUSLE (Renard *et al.*, 1997), el mayor inconveniente se presenta en el cálculo del factor topográfico LS. Esto se debe a su concepto original basado en parcelas experimentales de erosión, con terrenos uniformes tanto en pendiente como en longitud del flujo superficial (Barrios R., 2000). Diferentes autores coinciden en que la longitud del terreno λ debe sustituirse por el área aportadora unitaria (A) cuando se estima el factor L (Desmet y Govers, 1996). Esto es el área de contribución aguas arriba del punto donde se requiere evaluar la erosión (Giménez, 2008).

El factor L, tomando en cuenta el área de drenaje aportadora unitaria (Desmet y Govers, 1996) se define de acuerdo con lo siguiente:

$$L_{ij-in} = \frac{(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}}{(D^{m+2})(x_{ij}^m)(22.13^m)}$$

Donde:

L_{ij-in} = Longitud de la pendiente para cada celda.

A_{ij-in} = Área de drenaje aportadora unitaria en la entrada de la parte más alta de la celda.

D = Tamaño de la celda en metros.

m = Exponente adimensional del factor L

x_{ij} = $(\text{sen } \alpha_i, j + \cos \alpha_i, j)$ (Factor de corrección de forma)

Mediante este procedimiento se obtiene inicialmente la acumulación del flujo (A_{ij-in}) mediante un modelo de elevaciones, y se interpreta como la distancia que hay desde el punto que inicia el flujo superficial hasta la celda donde empieza a existir sedimentación. Para ello, previamente el Modelo Digital de Elevación de la subcuenca de estudio (de 15 m de resolución espacial), pasó por una corrección para eliminar sumideros e imperfecciones en los datos. Una vez resueltas las imperfecciones se calculó la cobertura de dirección del flujo y con ello la acumulación del flujo (A_{ij-in}).

Posteriormente se obtiene el mapa de pendientes en radianes y con ellos se puede estimar el subfactor β mediante la expresión $\beta = (\text{sen}\theta/0.0896) / [3.0 \text{sen}\theta^{0.8} + 0.56]$. A su vez, teniendo β se puede calcular el exponente "m", con la expresión: $m = [\beta / (1 + \beta)]$. Teniendo todos los subfactores es posible calcular el factor L mediante la ecuación definida por Desmet y Govers (1996), que considera el área de drenaje aportadora unitaria.

5.3.1.4 Mapa del factor pendiente del terreno (S)

Este factor incorpora el efecto del grado de la pendiente del terreno en la USLE; la relación entre las pérdidas de suelo y el grado de pendiente del terreno(θ) es directamente proporcional, siendo este factor más determinante incluso que la longitud de la pendiente. El factor S se evalúa utilizando la relación propuesta por McCool *et al.* (1987) (Tabla 19):

Tabla 19. Fórmula para calcular S en función de la pendiente del terreno.

Pendiente	Fórmula
Para pendientes < 9 %	$S = 10.8 \text{sen } \theta + 0.03$
Para pendientes \geq 9 %	$S = 16.8 \text{sen } \theta - 0.50$

Nota: θ = Ángulo de la pendiente en radianes

Fuente: McCool *et al.* (1987)

5.3.1.5 Mapa de erosión potencial

La erosión potencial refleja las pérdidas de suelo en consecuencia de la erosividad de la lluvia (factor R), de la erodabilidad del suelo (factor K) y la influencia del relieve (factor LS), suponiendo un escenario donde el territorio se encuentra desprovisto de cobertura vegetal y no se realizan prácticas de conservación del suelo. Una vez que se obtuvo la cartografía de los factores **R**, **K** y **L S** en formato *ráster*, se procedió a multiplicarse con la herramienta algebra de mapas del software ArcGIS (v.10. 4). De

esta forma se generó un mapa de la erosión potencial para la subcuenca presa Jalpan.

5.3.1.6 Mapa del factor cobertura vegetal (C)

El factor C de la USLE representa el grado de protección que un determinado tipo de cubierta vegetal ofrece al suelo, en oposición al resto de las variables que facilitan la erosión hídrica (Mancilla, 2008). A medida que la cobertura vegetal sea mayor, el valor de C es cada vez menor, por lo que el rango para este parámetro va de 0 (correspondiente a un terreno totalmente protegido) a 1.0 (para terrenos sin ninguna protección). Para obtener este factor, primero se digitalizaron los usos de suelo y vegetación dentro de la zona de estudio a una escala 1: 50,000 a partir de una imagen satelital Sentinel-2 con resolución de 5 m, de fecha 15 de mayo de 2020. Además, se utilizó de referencia información de la carta de Recursos Forestales del estado de Querétaro-2014, serie V. Finalmente, los usos de suelo y vegetación se asociaron a valores de C utilizados por Montes (2011), que a su vez se derivan de diversas fuentes (Renard *et al.*, 1997; Montes, 2002; Becerra, 1997).

5.3.1.7 Mapa del factor prácticas de conservación P.

El factor de prácticas de conservación (P) representa las alternativas para reducir las pérdidas de suelo máximas permisibles, generalmente se estima comparando las pérdidas de suelo de un lote con prácticas de conservación y un lote desnudo (Bribiesca *et al.*, 2018). El valor que se obtiene varía de 0 a 1. Si el valor de P es cercano a 0, entonces hay una gran eficiencia en la obra o práctica seleccionada y si el valor es cercano a 1, entonces la eficiencia de la obra es muy baja para reducir la erosión (Martínez, 2005). Para determinar el factor P fue necesario retomar los resultados generados en la etapa II “Determinación del efecto de las prácticas de conservación en la erodabilidad del suelo”, donde se estimaron valores de eficiencia respecto a la reducción de la erodabilidad, comparando las áreas con prácticas de conservación y áreas aledañas sin prácticas (control). A partir de esta información se extrapolaron los valores de P (obtenidos experimentalmente) a todas las áreas intervenidas dentro de la subcuenca de estudio y se rasterizó la capa para poder ser multiplicada con los otros factores de la ecuación.

5.3.1.8 Erosión actual

Se generó un mapa de erosión actual al multiplicar los factores R, K, LS, C y P en formato ráster a fin de cuantificar las pérdidas de suelo a nivel de la subcuenca. También se determinó el efecto que tienen las prácticas de conservación de suelo en la reducción de la erosión hídrica al comparar las pérdidas de suelo sin incluir al factor P en la estimación.

5.3.2 Identificación de zonas prioritarias para el manejo de la erosión

A partir del mapa de erosión actual se realizó una reclasificación para obtener los diferentes grados de erosión según la clasificación de la FAO (1980) (Ver Tabla 20) Las zonas prioritarias de manejo corresponden a aquellos sitios que registraron un grado alto y muy alto de erosión hídrica. Posteriormente se caracterizaron dichas áreas y se hicieron propuestas y/o recomendaciones de manejo para la conservación de suelos y disminuir los problemas de erosión, contemplando la información resultante en la etapa I y II (tipo de prácticas existente, necesidades de los habitantes, condiciones biofísicas de la zona, eficiencia de las prácticas en la disminución de la erodabilidad, entre otros aspectos relevantes que ayuden a proponer alternativas de manejo con mejores resultados).

Tabla 20. Grados de erosión según los rangos definidos por la FAO (1980).

Grado de erosión	Pérdida de suelo (T/ha/año)
Nula o ligera	<10
Moderada	10-50
Alta	50-200
Muy alta	>200

Fuente: FAO (1980).

5.4 Etapa 4. Determinación del aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan

No todo el material que se erosiona se pierde, parte de este se irá depositando o atrapando a lo largo de la subcuenca y solo una porción del material erosionado llegará hasta la salida de la cuenca (Becerra, 2005). En cuencas planas o con pendientes suaves el suelo erosionado tiende a permanecer en el lugar o próximo a la fuente (Quiroz, 2018), mientras que en cuencas con pendientes abruptas como es el caso de la Subcuenca Presa Jalpan, dominan los procesos de transporte por lo que el suelo erosionado tiene la capacidad de transportarse a mayores distancias y es menor el porcentaje de material que se deposita en las superficies planas a lo

largo de su recorrido por la subcuenca. La aportación de sedimentos al embalse también dependerá de la pendiente del cauce principal, en este caso el río Jalpan, ya que, a mayor pendiente, mayor será su fuerza de arrastre, así también la bifurcación de la red de drenaje tiene influencia, entre mayor sea el número de bifurcaciones, mayor será su capacidad de transporte (Sánchez *et al.*, 2018).

Esta porción de suelo erosionado que sigue su ruta hasta la salida de una cuenca se llama producción de sedimentos o entrega de sedimentos (Bodoque *et al.*, 2001). Existen diversos métodos para su estimación, en el presente estudio se utilizará un método indirecto que combina el coeficiente de entrega de sedimentos (CES) (Avendaño *et al.*, 1994) y la ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). Se utilizará como herramienta los Sistemas de Información Geográfica.

En este método se asume que el aporte de sedimentos AS al embalse es una proporción del total de sedimentos erosionados en la subcuenca fuente.

$$AS=TE*CES$$

Donde:

AS=Aporte de sedimentos

TE=Volumen de sedimentos erosionados (Estimada con la USLE)

CES=Coeficiente de entrega de sedimentos (Estimada con metodología de Avendaño *et al.*, 1994).

$$CES = 36A^{-0.2} + \frac{2}{\log P} + \log BR$$

Donde:

CES: % del total de material movilizado en la cuenca que sale de la misma;

A: superficie de la cuenca en km²;

P: pendiente del curso principal expresada en tanto por uno;

BR: coeficiente de bifurcación de la red hidrográfica.

Los datos que alimentan a la ecuación de CES son los siguientes:

Tabla 21. Valores de los parámetros que integran la ecuación de CES

Parámetro	Valor
Superficie de la subcuenca	189.676 km ²
Pendiente del cauce principal	8.35 %
Coeficiente de bifurcación de la red hidrográfica	3.37

Para el estudio fue importante determinar la cantidad de sedimentos aportadas por la red hidrográfica de la subcuenca hacia su punto de salida, el cual corresponde a la presa Jalpan, con la finalidad de determinar la proporción de este material que finalmente se retiene en el embalse. Para ello se cuenta con información de un estudio batimétrico realizado por la CEA en 2010, donde se estimó una cantidad de 28,449.1058 m³ anuales de sedimentos captados por el embalse por debajo de la elevación prevista para azolves. La finalidad de este análisis comparativo es exponer la importancia de aplicar prácticas de conservación de suelos en la subcuenca aportadora del embalse para reducir el aporte de sedimentos y prolongar la vida útil del embalse.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis de los sitios con prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio

6.1.1 Las prácticas de conservación desde la perspectiva de los actores institucionales

Los días 20 y 21 de mayo de 2021, se entrevistaron a representantes de tres dependencias federales: CONANP, CONAFOR, SADER, así mismo se entrevistó a un representante de una asociación civil denominada Grupo Ecológico Sierra Gorda (GESG) I. A. P., que, de acuerdo con los antecedentes revisados, son las principales instituciones que han realizado trabajos de conservación en toda la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda. Se entrevistó al técnico operativo de conservación y manejo del ANP Reserva de la Biosfera Sierra Gorda; al jefe de departamento de la promotoría de desarrollo forestal de la CONAFOR cuyas oficinas se encuentran en Jalpan de Serra; por parte de GESG se platicó con el jefe de proyectos forestales, y como representante de la SADER se entrevistó al jefe del distrito de Desarrollo Rural Jalpan.

Las entrevistas permitieron recabar información sobre los tipos de prácticas de conservación de suelo que implementan a través de sus programas de conservación, las coordenadas de su ubicación para su identificación y diagnóstico en campo. Desde luego, se consultaron los criterios de selección de los sitios intervenidos con prácticas de conservación, así como los medios de seguimiento y evaluación de los mismas. En este proceso se obtuvo información muy valiosa sobre los programas que incluyen acciones para conservar o restaurar suelos dentro de la zona de estudio (Subcuenca Presa Jalpan), pero también se logró integrar un panorama general sobre el enfoque de conservación que cada institución tiene para con el recurso suelo y como sus acciones se relacionan o yuxtaponen.

La información recabada se presenta por institución, se inicia con una breve caracterización de los programas de conservación y prácticas específicas para la conservación de los suelos, aplicados a la zona de estudio, así como su localización. Posteriormente se abordan los criterios de selección de las áreas beneficiadas y los mecanismos de seguimiento y evaluación a las obras. Finalmente se presenta la percepción de las instituciones sobre los beneficios que han traído estas prácticas a la subcuenca y la aceptación por los dueños de los predios. Al respecto de este último punto, cabe aclarar que lo relatado es únicamente la opinión institucional ya que por el tiempo que se disponía para la investigación no fue posible tener entrevistas formales con los beneficiados. Sin embargo, la información recabada

ayuda a tener un panorama general sobre las prácticas de conservación en la zona de estudio que podrá ser objeto de discusión en futuras investigaciones.

6.1.1.1 Acciones de conservación de suelos por parte de la Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda.

El técnico operativo de Conservación y Manejo de la ANP Sierra Gorda mencionó que a pesar de que dentro de la institución no existe un área que se dedique específicamente a la preservación y manejo de los suelos, existen programas donde se incluyen acciones específicas para su conservación y restauración. Entre ellos están el Programa de restauración ecosistémica del hábitat terrestre (PROREST) y el Programa de conservación de desarrollo sostenido (PROCOCODES), con aplicación en toda la reserva. En la Tabla 22 se incluyen las localidades que han sido beneficiadas con estos programas, de estas, únicamente la localidad de La Barranca y Llano de San Francisco se encuentran dentro de la zona de estudio.

Tabla 22. Programas conservación de la CONANP en la Sierra Gorda vinculados con la conservación del suelo.

Programas	Concepto	Localidades beneficiadas
PROREST 2019	Restauración ecosistémica. Restauración del hábitat terrestre.	La Barranca, P. A., Mesa del Soyatal, P. A., Joyas Del Derramadero, P. A.
PROREST 2020	Conservación comunitaria en áreas naturales protegidas. Restauración del hábitat terrestre.	El Mastranto, P. A., Mesa del Soyatal, P. A. Río Blanco, P. A.
	Conservación comunitaria en áreas naturales protegidas. Reforestación.	Llano de San Francisco, P. A.
PROCOCODES 2019	Establecimiento de viveros forestales.	San Gaspar, P. A.
PROCOCODES 2019	Capacitación: Operación de viveros Forestales.	Río Blanco, P. A.
PROREST/CC/2021	Restauración Ecológica.	El Madroño, P. A., Rancho Nuevo Dos, P. A., Tepozán de Derramadero, P. A.

Fuente: Información obtenida a partir de las entrevistas realizadas por la autora.

A partir de que inicia a operar el PROREST y de una manera más integral, desde el año 2019, los trabajos de conservación y restauración se han dirigido más hacia la

recuperación de la cobertura vegetal en las partes altas del macizo montañoso de Pinal de Amoles. Las acciones que se realizan específicamente para la conservación de suelos son muy variadas; se hacen prácticas vegetativas como reforestaciones de especies forestales nativas establecidas a curvas de nivel, el establecimiento de líneas de agave o nopal, establecimiento de barreras con material vegetativo o “fajinas-acordonamiento” a curva de nivel. Obras estructurales para estabilizar el suelo y contener sedimentos, como barreras de piedra acomodada, presas filtrantes y terrazas individuales. Prácticas de manejo como la exclusión de ganado en áreas restauradas a través de cercos con alambre de púas.

Las solicitudes para participar en los programas provienen de comisariados ejidales, autoridades locales (delegados y subdelegados), sin embargo, suele darse preferencia a los que cuentan con un Ordenamiento del territorial comunitario o un Plan de acciones a nivel Ejido. Los sitios que se seleccionan para implementar las prácticas de conservación tienen que cumplir con las características que se especifica en las convocatorias de los programas, siendo el principal criterio de selección que en los predios se presenten signos de degradación. Al respecto el técnico operativo de conservación y manejo de la ANP Sierra Gorda menciona que:

[...] Es común que se utilice la plataforma de Google Earth para dar un primer acercamiento a las zonas degradadas. Posteriormente personal técnico de la reserva visita los sitios para corroborar que los predios solicitantes cuentan con las características del programa, especialmente se verifica que estén degradados.

No existe un programa de seguimiento a las acciones de conservación realizadas en ejercicios fiscales de años anteriores, ya que los recursos de operación para el año en curso no son suficientes para que personal de la reserva pueda salir a campo y hacer este tipo de evaluaciones. Por lo que no hay certeza de que las prácticas de conservación estén cumpliendo con la función para la que fueron establecidas. Las condiciones en las que se encuentran las prácticas son notificadas por el propio beneficiario del programa y la institución tiene que confiar en su palabra. Muestra de ello es lo que mencionó el técnico de la reserva:

[...] El programa operativo anual no determina evaluar o dar seguimiento a proyectos anteriores. [...] Esporádicamente se pregunta a la parte beneficiaria o se visita los lugares con acciones de restauración cuando el personal técnico tiene tiempo o se encuentra en la zona.

Para la institución las acciones de conservación que han realizado en la reserva han traído grandes beneficios, *se ha logrado percibir cambios en la cobertura vegetal, excluir ganado de zonas restauradas por medio de establecimiento de cercos, las*

reforestaciones han aumentado la densidad de especies maderables, mencionó el entrevistado. Si bien, estas acciones pueden generar un impacto positivo en la conservación de suelos, se trata de una percepción que hasta el momento no ha sido garantizada a través de una evaluación técnica.

El entrevistado considera que la aceptación de las prácticas de conservación por parte de los propietarios de los predios es positiva, debido principalmente a que perciben un apoyo económico en un corto plazo. El técnico operativo menciona que las reforestaciones con pino piñonero o con especies maderables son altamente demandadas por la población debido a que le ven un futuro productivo, caso contrario sucede con las especies no maderables como el encino, mezquite y enebro, que son poco aceptadas por los poseedores de los predios porque posteriormente no pueden hacer aprovechamiento forestal maderable. Por otro lado, el beneficio ambiental que perciben al recuperar los suelos y la vegetación de sus predios, los motiva a seguir participando en proyectos de conservación.

En cuanto a la orientación que debe tener la conservación de suelos en la zona de estudios, la dirección de la reserva considera muy apropiado una propuesta de manejo de la zona alta de la cuenca, la cual consideran de mayor importancia por la recarga hidrológica y que ha sido poco atendida. El entrevistado menciona la importancia de la participación de la academia, gobierno, organizaciones de la sociedad civil, y sociedad en general para sumarse a las acciones de conservación más urgentes.

6.1.1.1 Acciones de conservación de suelos por parte de la Comisión Nacional Forestal, Promotoría de Desarrollo Forestal Jalpan.

Para la realización de trámites y asuntos de índole forestal en la Sierra Gorda, la CONAFOR cuenta con una oficina denominada “Promotoría de Desarrollo Forestal-Jalpan” ubicada en el municipio del mismo nombre. Dicha oficina no cuenta con un área operativa que se dedique específicamente al manejo de suelos, sin embargo, a través del Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable y su componente de apoyo IV Servicios Ambientales (PSA), se ha fomentado la restauración de suelos en la Sierra Gorda. El funcionario de la promotoría mencionó que:

[...] en el programa de pago por servicios ambientales se incentiva económicamente a dueños o poseedores de predios forestales o preferentemente forestales para conservar la flora y la fauna dentro de sus predios, este apoyo engloba la realización

de actividades de restauración, por ejemplo, obras de conservación de suelo cuando en el predio existen signos de degradación como cárcavas.

Dentro del programa de PSA se contemplan actividades obligatorias y actividades que se pueden elegir en función de las necesidades del predio, pueden ser actividades para la conservación, protección y todas aquellas acciones que mantengan la provisión de los servicios ambientales a largo plazo. El funcionario de la CONAFOR menciona que:

[...] en áreas con masa forestal saludable las actividades de restauración no son necesarias, en cambio, en predios donde se ha detectado sobrepastoreo o erosión del suelo se realizan obras que pudieran mitigar o que pudieran ayudar a frenar estos impactos.

Las obras de conservación de suelo que se han realizado en la Sierra Gorda bajo el concepto de PSA son básicamente zanjas trincheras, barreras de piedra acomodada, presas filtrantes de murillo, barreras vivas con vegetación nativa, entre otros. Se pueden encontrar en los ejidos La Barranca, Escanelilla, Ahuacatlán, Huajales, Tejamanil, Margarita y ejido La Colgada pertenecientes al municipio de Pinal de Amoles. Dentro del municipio de Jalpan de Serra, las obras se encuentran en el ejido Pitzquintla y Guayabos. Todos los anteriores, excepto los ejidos de Tejamanil, Margarita, La Colgada y Guayabos, se encuentran dentro de la zona de estudio.

Los predios o sitios sujetos al pago por servicios ambientales deben estar ubicados dentro de las áreas elegibles que establece la CONAFOR en sus reglas de operación. Los dueños de predios que deseen ser beneficiados con estas obras deben presentar una solicitud donde contenga la ubicación de su polígono. Posteriormente se hacen los recorridos en campo para verificar la información de las solicitudes; *[...] se revisa que realmente existe el predio, las condiciones ambientales y de degradación que se describen en la solicitud, y a partir de estas visitas se determina si se asigna el apoyo, aclara el funcionario de la CONAFOR.*

El pago por servicios ambientales se realiza anualmente por hectárea y se distribuye en cinco años, con posibilidad de ser renovado, con base en los resultados obtenidos. El beneficiado año con año indica las actividades que va a realizar dependiendo de las necesidades del predio. Cuando culmina el año, personal de la CONAFOR hace visitas a los predios beneficiados y revisa el cumplimiento de las actividades planificadas. A partir de las visitas se generan reportes de cumplimiento siguiendo una guía de mejores prácticas, los cuales determinan la continuidad del apoyo. Adicionalmente, personal de las oficinas centrales en Querétaro selecciona algunos polígonos de forma aleatoria y realiza las visitas para verificar el cumplimiento de las actividades del programa.

Instituciones externas, principalmente universidades, hacen estudios a la CONAFOR para evaluar la eficiencia de sus trabajos de conservación, por ejemplo, en el caso de las prácticas de conservación de suelos, realizan muestreos y miden variables para corroborar que se cumplan con la función para las que fueron construidas, como la retención de sedimentos, disminución de la escorrentía, incremento de la vegetación, entre otras.

La mayor parte del trabajo de conservación que realiza la institución ha traído beneficios ambientales y sociales a la zona. El funcionario comenta que *[...] durante las visitas se puede notar que las áreas degradadas disminuyen, se puede notar un ecosistema sano por la presencia de ciertas especies.* También menciona que los mismos beneficiados comentan que con la ejecución del proyecto se mejora la flora y fauna de sus predios, así como de las áreas circundantes. Debido a estos cambios que perciben en sus predios, agregando el incentivo económico que reciben por realizar actividades de conservación, la aceptación del proyecto por parte de los propietarios es positiva.

[...] La aceptación por parte de los propietarios es muy buena. Prueba de ello es que hasta la fecha siguen llegando solicitudes para realizar actividades de conservación, de hecho, existe mucha demanda de proyectos de este tipo, sin embargo, muchas veces el recurso no da para apoyar a todas las solicitudes. Funcionario de CONAFOR.

La CONAFOR es una institución con presencia en temas de conservación en la reserva, el funcionario entrevistado enfatiza en la importancia de realizar actividades de restauración, ordenamiento, cuidado y mejora en la parte alta de la subcuenca para que se mejore la captación del agua y se abastezca a la presa Jalpan ya que es muy importante para el desarrollo económico de la región. También considera que debe existir una participación conjunta de las instituciones, organizaciones sociales, de la academia y sobre todo de los dueños y poseedores de los recursos forestales para el cuidado del medio ambiente, *[...] se necesita unir esfuerzos para llevar a cabo actividades esenciales como evitar incendios forestales, contaminación de mantos acuíferos, cacería furtiva, tala ilegal, entre otras. Todas estas actividades están relacionadas y seguramente coadyuban en la conservación de los suelos,* como lo manifestó el funcionario entrevistado.

6.1.1.1 Acciones de conservación de suelos por parte de Grupo Ecológico Sierra Gorda, I.A.P.

Grupo ecológico Sierra Gorda, I. A. P. (GESG I. A. P), es una asociación civil que se constituye en los 80s, comenzó con labores de educación ambiental y reforestación. Al día de hoy es una de las organizaciones más reconocidas por su trabajo de conservación en la Sierra Gorda. Su alianza con gobierno, sector privado y sociedad local ha hecho que los proyectos de conservación sean cada vez más diversos y de gran impacto.

Desde el punto de vista del jefe de proyectos forestales de Grupo Ecológico Sierra Gorda I.A.P., el recurso suelo es vital para el funcionamiento del ecosistema, y que específicamente en la Sierra Gorda su manejo debe ser una prioridad por la degradación que es evidente en la zona alta;

[...] actualmente se ha percibido el desprendimiento del suelo desde las partes altas por lo que muchas de las acciones que se están realizando en la institución es con el objetivo de evitar la pérdida de suelo. Jefe de proyectos forestales, GESG I. A. P.

Sin embargo, sus proyectos más fuertes son la valorización de los servicios ambientales como la captura de carbono y la captación hidrológica. También realizan acciones de conservación de la vegetación y de suelos para mantener la cantidad y calidad de los servicios ambientales que proveen. Al igual que las anteriores instituciones de gobierno, no cuenta con un área específica que trabaje la conservación de suelos. Sin embargo, existe una variedad de programas donde de manera indirecta se realizan actividades para conservar el recurso suelo. Por ejemplo, dentro del área de bosque sustentable hay un grupo que trabaja la regeneración de suelos a través del pastoreo planificado. Este proyecto consiste en excluir el ganado de las áreas forestales para permitir la regeneración de la vegetación y por ende la protección del suelo. El jefe de proyectos forestales menciona que:

[...] se han conseguido buenos resultados con esta estrategia, no solo en la revegetación sino también en la protección del suelo y conservación de la fauna silvestre.

Dentro del programa de pago por servicios ambientales no se atiende en específico los suelos, pero sí se contribuye con dar valor a los servicios ambientales que brinda la vegetación conservada, entre ellos la captura de carbono, retención del suelo y la captura hidrológica, como lo expresa el jefe de proyectos forestales:

Se ha hecho mucho trabajo en ponerle valor económico a la captura de carbono en áreas conservadas y actualmente se está buscando establecer parcelas de monitoreo para medir la captura hidrológica y asignarle un valor a este servicio. Se espera que

en algún momento se pueda tener datos de la erosión evitada a través de parcelas de monitoreo.

Las prácticas de conservación específicas para la conservación de suelo se realizaron en el periodo del 2009 a 2014 como parte de dos proyectos financiados por la Fundación Gonzalo Río Arronte: Restauración de microcuencas con manantiales prioritarios y Regeneración de suelos y cosecha de agua. Durante ese tiempo se construyeron terrazas, retranques, presas de gaviones, zanjas trincheras, reforestaciones, entre otras prácticas que tenían el objetivo de frenar la erosión, propiciar la acumulación de materia orgánica y mejorar la infiltración del agua (Tabla 23 y Tabla 24). Estas prácticas se instalaron en los cuatro municipios de la reserva. Actualmente no se realizan este tipo de acciones ni se les ha dado seguimiento a las existentes.

Tabla 23. Obras realizadas en el proyecto Restauración de microcuencas con manantiales prioritarios. Periodo 2009-2010.

Acción	Localidades beneficiadas
Construcción de terrazas de piedra.	El Madroño, J. S. Carrizalito, J. S. Los Jaso, J. S. Santa María de Cocos, A.S., Río Escanela, P.A., Tilaco, L. M., La Barranca, P.A., Maguey Blanco, P.A., La Tinaja, P. A.
Construcción de terrazas de tierra.	Hierbabuena, J. P., Agua Amarga, P.A., Tilaco, L. M., El Madroño, J. S.,
Construcción de presas filtrantes.	Agua Fría, P.A., Río Escanela, P.A., Carrizalito, J. S., Milpas Viejas, A.S., Tilaco, L. M.
Construcción de zanjas trinchera con barreras vivas.	El Madroño, J. S., Hierbabuena, J. P., Mohonera, J. S. Santa María de Cocos, A.S. Río Escanela, P.A., Sauz de Guadalupe, P.A., La Tinaja, P.A., Maguey Blanco, P.A., Tilaco, L. M., Maguey Blanco, P.A.
Establecimiento de barreras vivas (con maguey y nopal).	San Isidro, P, A., San Antonio El Pelón, P.A., El Madroño, J. S., Tilaco, L. M.
Circulado de área compactada.	San Isidro, P, A.
Establecimiento de manejo y reforestaciones.	Octojub, S.L. P, San José Oijá, S. L. P., Mohonera, P. A., San Isidro, P, A., El Pino, S. L. P., El Madroño, L. M., Tonatico, P.A., El Ranchito, P.A., Las Cruces, P.A., Pie de la Cuesta, P.A., Puerto de Vigas, P.A., Saúz de Guadalupe, P.A., El Nacimiento, S. L. P., Ixtacapa, S. L. P., Tancuimé, S. L. P., Santa Cruz, S. L. P, Epazotes Grandes, P. A
Siembra de pasto rodes en terrazas	San Isidro, P, A.

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas realizadas por la autora.

Tabla 24. Acciones de conservación de suelo en el proyecto “Regeneración de suelos y cosecha de agua”. Periodo 2011-2014.

Acción	Localidades beneficiadas
Taller de regeneración de suelos	Buena Vista, L. M., Tilaco, L. M., Encino Solo, L. M., Zoyapilca, J. S., Tancoyolillo, J. S., Lomas de Juárez, J. S., Purísima, A. S., El Trapiche, A. S., Milpas Viejas, A. S., El Refugio, A. S., Río Carrizal, A. S.
Diseños hidrológicos; diseño Keyline y subsuelo	Landa de Matamoros, Lomas de Juárez, J. S., Matzacintla, L. M., Milpas Viejas, A. S., Tonatico, P. A., La Alberca, L. M., Tilaco.
Construcción de terrazas de piedra acomodada	Carrizalito, P. A., El Plátano, P. A., Joyas del Derramadero, P. A. Mesas de Santa Inés, P. A., Salitrillo, A. S., San Isidro, P. A., Puerto de Ayutla, A. S., Arroyo Seco, A. S., Encino Solo, L. M., Lomas de Juárez, J. S., Epazotes Grandes, P.A., La Ciénega de San Juan, P.A., La Loma, A. S., Maguey Blanco, P. A., Malpaís, L. M., Potrerillos, P. A.
Construcción de presas filtrantes	Acatitla de Zaragoza, L. M., Carrizalito, P. A., Río Escanela, P. A.
Manejo regenerativo de suelos (remineralización)	Arroyo Seco, A. S., Derramadero de Bucareli, P. A., Encino Solo., L. M. Las Vallas, L. M., Rincón de Tancama, J. S., Tilaco, L. M., El Refugio, A.S., Lomas de Juárez, J. S., Milpas Viejas, A. S., San Vicente, J. S.
Barreras vivas con maguey	La Loma, A.S., Epazotes Grandes, P. A., Potrerillos, P. A.
Establecimiento de reforestaciones: aile, encino, pino, palo de arco y cedro blanco	Tonatico, P. A. Otomites, P, A. Zoyapilca, J. S. Agua Fría de Los Fresnos, A. S., Agua Zarca, L. M., El Ranchito, P. A., El Rejalgar, A. S., El Salitrillo, A. S., Epazotes Grandes, P. A., La Ciénega de San Juan, P. A., Maguey Blanco, P. A., Otomites, P. A., San Isidro, P. A.

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas realizadas por la autora.

Los criterios que se consideran para seleccionar los sitios o predios beneficiados varían en función de los programas. El jefe de proyectos forestales menciona al respecto:

[...] en el caso del programa de servicios ambientales se pide a los propietarios el título de propiedad o constancia de posesión de sus terrenos para poder recibir el apoyo, además sus predios deben tener cierto interés biológico, cierto porcentaje de

cobertura arbórea y los postulantes deben estar dispuestos a cumplir con las obligaciones que demanda el programa como la exclusión del ganado.

Una vez que seleccionan los sitios beneficiados y se inician las labores de conservación, personal de la organización realiza recorridos de vigilancia y supervisión durante todo el año para ver si se está cumpliendo con las obligaciones, sobre todo, se revisan las condiciones de regeneración en los predios.

[...] No se tiene un procedimiento fijo para registrar lo que se ve en campo, sin embargo, el estado de regeneración es un elemento determinante para la permanencia del propietario en el programa, mencionó el jefe de proyectos forestales.

Los monitoreos y evaluaciones son más frecuentes en proyectos de servicios ambientales, como el de captura de carbono, donde los sitios están más localizados y se lleva un procedimiento más normativizado. Cada dos o tres años la organización elige predios representativos por tipos de vegetación y años de conservación, donde establecen sitios de muestreo permanente para medir densidad de cobertura y otros datos para obtener la captura de carbono.

No se hacen evaluaciones para estimar el efecto de las prácticas de conservación en la erosión del suelo de los predios beneficiados, sin embargo, la institución reconoce la importancia de realizarlas:

[...] Las evaluaciones que realizamos son más generales ya que se requiere de mucho trabajo técnico en campo para estimar la pérdida de suelo. Se espera que en un futuro cercano podamos hacer evaluaciones de este tipo, sin embargo, creemos que de manera indirecta se puede evaluar la conservación de suelos a través de las áreas que se están regenerando, donde es notable ver mayor cobertura de materia orgánica. Jefe de proyectos forestales.

Actualmente en GESG se lleva a cabo una evaluación vía remota de las áreas regeneradas en conjunto con investigadores del Instituto Politécnico Nacional, se hace uso de imágenes satelitales para conocer los avances de la regeneración y de las áreas degradadas en toda la Sierra Gorda, también se incorporan datos que son tomados por Grupo Ecológico en los sitios de monitoreo.

[...] Se espera que pronto se tengan resultados de esta evaluación para comprobar el impacto de estos programas, y también para que sea una guía para incorporar más áreas con potencial de regeneración, mencionó el jefe de proyectos forestales.

La organización percibe cambios positivos en toda la reserva con la implementación de sus proyectos de conservación como el incremento de superficie conservada, la recarga hidrológica y la regeneración de suelos. Resalta que son los mismos propietarios quienes señalan los beneficios que se han generado en sus predios. El jefe de proyectos forestales menciona que antes era la organización quien se acercaba a los propietarios con la intención de convencerlos para que conservaran

sus predios, hoy en día son ellos los que se acercan y quieren ingresar a los programas porque han visto los cambios en predios vecinos y también por el beneficio económico que pueden percibir al conservar. La gente se ha apropiado de las prácticas de conservación a tal grado de continuar con las acciones de conservación con recursos propios en años donde los recursos son insuficientes para atender a todas las solicitudes. “[...] Hay personas que han esperado 2 o hasta 3 años en volver a percibir un pago por servicios ambientales, pero no dejan de realizar trabajos de conservación en sus predios”.

Finalmente, el entrevistado menciona que una propuesta bien estructurada de recuperación y protección de suelos se convierte en una necesidad en la región, sobre todo por la importancia que tiene en la recarga hidrológica y en el abasto de agua y que para llevarla a cabo se requiere necesariamente involucrar a los pequeños propietarios, ejidos, comunidades y autoridades municipales:

[...] Lo primordial es ubicar los sitios estratégicos donde deben ser ubicadas las prácticas de conservación de suelos para que generen mayores resultados. También debe atenderse a todas las partes de la cuenca, por lo general muchas de las obras que se han realizado se concentran en la parte media de la cuenca y la parte alta se sigue descuidando. Entonces en la organización como acción más urgente es la conservación de la parte alta donde se ha detectado remanente vegetal muy valioso y amenazada por la tala clandestina y otras actividades.

Las acciones de conservación que desarrolla la organización se ejecutan principalmente a nivel regional, han intentado aplicar los proyectos con un enfoque de cuencas, sin embargo, el mayor problema al que se enfrentan es lograr integrar la participación coordinada de las personas que habitan dentro de los límites de la subcuenca. El entrevistado menciona que:

[...] es difícil lograr consensos porque existen diferencias de intereses importantes entre las personas que viven en la parte alta, media y baja de la subcuenca, y las administraciones de los municipios no logran integrar acciones conjuntas de conservación en sus agendas.

6.1.1.1 Acciones de conservación de suelos por parte de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural SADER cuenta con una oficina en la localidad de Jalpan de Serra para atender los asuntos agropecuarios del Distrito de Desarrollo Rural Jalpan (DDRJ) que comprende los municipios de Jalpan de Serra, Pinal de Amoles, Arroyo Seco y Landa de Matamoros. En relación a la importancia del suelo, el jefe del DDRJ menciona que “[...] es el recurso sobre el cual se desarrolla toda la vida sobre la tierra, permite la producción de alimentos y otros

servicios ecosistémicos. Bajo un este enfoque de producción agrícola la institución ha intentado realizar acciones para proteger el suelo. Menciona que dentro de la SADER existe un órgano desconcentrado llamado Comisión Nacional de Suelos de Zonas Áridas (CONAZA) que se encarga principalmente de apoyar a los poseedores de terrenos con obras de infraestructura encaminadas a la conservación del suelo y agua.

La CONAZA a través del componente “Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua” (COUSSA) ha fomentado la construcción de obras de captación y almacenamiento de agua como presas de mampostería, ollas de agua, tanques de almacenamiento, entre otras. También realizan prácticas de conservación de suelo y agua como terrazas, tinas ciegas, barreras vivas, y prácticas productivo conservacionistas donde se instalan cultivos de mayor adaptabilidad y menor impacto en suelos. Estos proyectos se operan desde las oficinas de CONAZA ubicados en la ciudad de Querétaro, y se han aplicado principalmente en las zonas áridas del estado.

El jefe del DDRJ comentó que hace algunos años se realizaron este tipo de obras en algunas localidades de la reserva y que en la actualidad no se han vuelto a hacer. Por ejemplo, en la localidad de San Juan Buenaventura, municipio de Arroyo Seco, se construyeron presas de piedra para evitar la erosión en cárcavas y zanjas trincheras para conservar el agua y suelo. En las comunidades de Alpujarras, San José de las Flores y El Quirino, pertenecientes al mismo municipio, se construyeron presas y ollas para almacenar agua. En Laguna de San Miguel municipio de Landa de Matamoros también se realizó una estructura para la retención del suelo. Mientras que en los municipios de Pinal de Amoles y Jalpan de Serra donde se localiza el área de estudio no hay registros de la construcción de estas obras por parte de CONAZA.

El jefe del distrito señaló que *[...] los sitios considerados para realizar estas obras son aquellos donde se tiene la necesidad de conservar el agua y los suelos, pero también se considera las necesidades económicas de las localidades*. Estos programas buscan que las familias mejoren la calidad de vida mediante el abasto de agua y el incremento en la productividad de sus cultivos. Generalmente trabajan con grupos de propietarios privados y ejidos, ellos entregan una solicitud al área de Desarrollo Agropecuario de los ayuntamientos y en conjunto elaboran un programa de requerimiento para enviarlo a la CONAZA quien autoriza las obras en función de los recursos disponibles.

El actual jefe de distrito, estuvo hace años a cargo de la supervisión de las obras y menciona que:

[...] en los lugares donde se construyeron las zanjas trincheras pudo observar mayor retención de humedad y que cultivos perennes como la caña de azúcar mostraron mayor producción. En áreas afectadas por cárcavas se logró retener el suelo y se logró la revegetación con pastos lo que a su vez trajo beneficios para el ganado. También se ha notado mayor abasto de agua con la construcción de las ollas o presas de captación.

El entrevistado menciona que la aceptación de estos proyectos de conservación de suelo y agua por parte de los propietarios es muy buena, no solo porque mejora la productividad de sus cultivos, sino que ayuda al almacenamiento de agua. Sin embargo, menciona que las prácticas que se hicieron son muy comunes y que no se han dado a la tarea de implementar más prácticas de las que ya se realizaron años pasados. También menciona sobre la importancia de realizar más investigación e implementar prácticas de conservación más eficientes en el área de influencia de la presa Jalpan, donde la erosión es fuerte y existe una necesidad urgente de detener los sedimentos que llegan al embalse para mantener su vida útil.

Para realizar estas acciones se necesita contar con más recursos federales porque al parecer estos disminuyen para las acciones de conservación, también se requiere de la participación conjunta de los municipios y sociedad. Se debe promover prácticas de conservación de suelo en terrenos agrícolas con pendientes pronunciadas donde hay mayor pérdida de suelo. Mencionó el jefe del Distrito.

6.1.1.2 Análisis comparativo de las prácticas de conservación de suelos llevadas a cabo por las instituciones y organizaciones entrevistadas.

A manera de resumen, en la Tabla 25 se muestran las convergencias y divergencias de las acciones de las instituciones y organizaciones entrevistadas.

Tabla 25. Tabla comparativa de las acciones de conservación de suelos que realizan las organizaciones e instituciones entrevistadas.

Crterios	CONANP; Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda	CONAFOR; Promotoría de Desarrollo Forestal Jalpan de Serra	Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER)	Grupo Ecológico Sierra Gorda I. A. P.
Proyectos y/programas	- Programa de restauración ecosistémica del hábitat terrestre (PROREST) -Programa de conservación de desarrollo sostenido (PROCOCODES)	Pago por Servicios Ambientales (PSA)	Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua” (COUSSA)	-Pastoreo planificado -Servicios ambientales -Restauración de microcuencas con manantiales prioritarios. -Regeneración de Suelos y cosecha de agua. -Pago por servicios ambientales.
Zona de aplicación dentro de la subcuenca.	Zona alta	Zona alta y media de la cuenca	Fuera de la zona de estudio	Zona alta y media
Acciones específicas para la conservación de suelos	-Reforestaciones con especies nativas (pino, cedro) -Líneas de agave o nopal a curvas de nivel. -Fajinas-acordonamiento a curva de nivel. -Barreras de piedra acomodada -Presas filtrantes -Terrazas individuales -Restauración pasiva a través de la exclusión de ganado	-Zanjas trincheras -Barreras de piedra acomodada -Presas filtrantes de murillo -Presas de piedra acomodada -Barreas vivas con vegetación nativa	-Presas de mampostería -Terrazas -Tinas ciegas o zanjas trincheras -Barreras vivas -Instalación de cultivos con menor impacto en los suelos	-Construcción de terrazas de piedra y tierra -Construcción de presas filtrantes -Construcción de zanjas trincheras con barreras vivas -Barreras vivas con maguey y nopal -Circulado de área compactada -Reforestaciones con especies nativas - Taller de regeneración de suelos -Diseños hidrológicos

Criterios	CONANP; Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda	CONAFOR; Promotoría de Desarrollo Forestal Jalpan de Serra	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER)	Grupo Ecológico Sierra Gorda I. A. P.
				Keyline y subsoleo -Remineralización del suelo
Criterios de selección de los sitios	-Áreas forestales y agrícolas y pecuarias con signos de degradación observados por medios remotos y en campo. -Localidades con Ordenamiento del Territorio o un Plan de acciones a nivel Ejido.	-Áreas forestales degradadas donde existe erosión y sobrepastoreo verificados en campo. -Al interior de las áreas elegibles para el PSA establecidas en las reglas de operación del programa.	-Áreas degradadas donde hay problemas de abasto de agua y degradación de suelos -Necesidades económicas de la población.	-Título de propiedad o constancia de posesión en el caso de PSA -Predios con buena cobertura vegetal, de interés biológico.
Medios de georreferenciación de los predios	Los predios son georreferenciados , pero no existe información cartográfica actualizada.	Los predios beneficiados están georreferenciados sin embargo hace falta incorporar áreas que fueron apoyadas en los últimos años.	No se cuenta con la georreferenciación de los predios beneficiados.	Los predios beneficiados no están georreferenciados , solo se cuenta con la ubicación a nivel localidad.
Seguimiento a las prácticas de conservación de suelos	No existe programa de seguimiento a las acciones realizadas por insuficiencia de recursos operativos.	-Visitas anuales a los predios con personal de la promotoría y de oficinas centrales Querétaro. -Reportes de cumplimiento de acuerdo con la guía de mejores prácticas.	-Seguimiento semestral de las obras realizadas.	Recorridos anuales de vigilancia y supervisión de cumplimiento a las actividades.
Evaluaciones a las prácticas de conservación de suelos	No se hacen evaluaciones a las prácticas implementadas.	Evaluaciones por instituciones externas.	No se hacen evaluaciones de las prácticas	No se hacen evaluaciones de las prácticas de conservación de suelo. Se hacen otras relacionadas con la captura de carbono y regeneración.

Criterios		CONANP; Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda	CONAFOR; Promotoría de Desarrollo Forestal Jalpan de Serra	Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER)	Grupo Ecológico Sierra Gorda I. A. P.
Impactos del programa	<i>Ambiental</i>	Incremento en la cobertura vegetal y recuperación de suelos degradados.	Disminución de las áreas degradadas. Mejora de la flora y fauna de los predios.	-Mayor retención de humedad en los predios -Retención de suelos.	-Incremento de la superficie conservada. -Recarga hidrológica -Regeneración de suelos.
	<i>Económico -social</i>	-Ingreso económico a corto plazo. -Hay buena aceptación de las reforestaciones con especies maderables con posibilidad de un aprovechamiento futuro.	-Incentivo económico. -Hay una buena aceptación de los proyectos, prueba de ello es el incremento de las solicitudes que se reciben anualmente.	-Ingresos económicos -Abasto de agua -Mayor producción en los cultivos y en el ganado. -Incremento en la calidad de vida.	-Ingreso económico derivado de las actividades de conservación. -La aceptación de las obras por parte de los propietarios es buena, hacen uso de recursos propios para continuar con labores de conservación.

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas realizadas por la autora.

Haciendo una síntesis y análisis de los programas de conservación de suelos que realizan las dependencias federales y la organización civil a través de sus programas de conservación, se puede decir que estas persiguen objetivos diferentes: la RBSG a través de sus programas busca la recuperación de la cobertura vegetal y la recarga hidrológica; la CONAFOR busca mantener la provisión de los servicios ambientales como la recarga hidrológica, regulación de la erosión y conservación de la biodiversidad. GESG a través de sus programas busca dar valor a los servicios ambientales como la captación hidrológica y la regeneración de los suelos. Mientras que SADER, tiene un enfoque más productivo, ya que sus acciones de conservación implementadas buscan mejorar la productividad agrícola y la provisión del agua.

Es interesante notar que, dentro de la zona de estudio, únicamente la Dirección de la RBSG y la CONAFOR tienen proyectos vigentes de conservación de suelos. En el caso de GESG, las acciones específicas para la conservación de suelos se realizaron durante el periodo de 2009-2014 gracias al financiamiento de la fundación Gonzalo Río Arronte, a partir de ese año no se han vuelto a implementar este tipo de acciones. Las prácticas de conservación llevadas a cabo por la SADER se

realizaron hace más de una década y no se han vuelto a retomar. Además, de que no se tiene registro de su implementación dentro de la zona de estudio; estas fueron realizadas en localidades de los municipios de Landa de Matamoros y Arroyo Seco. Por lo tanto, en el presente estudio no se incluye el diagnóstico de las prácticas de conservación implementadas por dicha institución.

En este contexto, las únicas dependencias que siguen realizando acciones de conservación de suelos dentro del área de estudio, son la Dirección de la Reserva y la CONAFOR. Mismas que han proporcionado mayor información para la georreferenciación de las obras en campo.

El 67.5% (27 polígonos) de las prácticas de conservación de suelos se han concentrado en localidades de la zona funcional alta de la subcuenca, mientras que las zonas media y baja han tenido poca atención. Esto es relevante ya que ambas representan el 74.89 % de la superficie total. Por su parte la zona media es la que ocupa el mayor porcentaje de superficie (63%) y es en donde dominan los procesos de transporte de sedimentos, por lo que su intervención es muy importante para reducir la cantidad de sedimentos que están llegando a la salida de la subcuenca (Presa Jalpan).

Se encontró que las instituciones no cuentan con una base de datos funcional respecto a las áreas intervenidas, donde se pueda obtener información adicional para el seguimiento de las prácticas de conservación (año de establecimiento, condiciones generales del sitio, condición actual de las obras, entre otras). Las instituciones como CONAFOR y la Dirección de la RBSG que pudieron proporcionar coordenadas de los predios dentro de la zona de estudio, presentaron información incompleta que no corresponde con la información proporcionada en las entrevistas y en los informes anexados. En el caso de GESG, presentaron informes de los programas aplicados donde se incluían listados de las localidades beneficiadas, pero no proporcionan coordenadas exactas para su localización en campo.

Tener los polígonos georreferenciados no solo permite dar un seguimiento óptimo a los sitios con prácticas de conservación, sino que también evita que existan traslapes de áreas beneficiadas. Justamente la falta de georreferenciación fue una limitante para el desarrollo del presente trabajo, ya que limitó el diagnóstico e información presentada sobre las condiciones actuales de las prácticas (como se verá en el siguiente apartado) y puede que no reflejen lo que sucede en toda la subcuenca.

Los mecanismos para incorporar a la población en la ejecución de estos programas pueden ser insuficientes cuando no existe de por medio una motivación y/o incentivo económico. Tal como lo declararon los representantes de las instituciones, la participación de los dueños de los terrenos en proyectos de conservación es más

exitosa si se ofrecen beneficios económicos a corto-mediano y largo plazo. Es importante entonces que las futuras estrategias de conservación incluyan mejores beneficios económicos a corto plazo sin dejar de lado la importancia de los beneficios ambientales que se pueden generar en sus predios.

De acuerdo con los entrevistados, los recursos económicos con los que cuentan las instancias son insuficientes para atender la demanda de todas las solicitudes que llegan, tal como lo menciona el funcionario de CONAFOR y el jefe de proyectos forestales de GESG. Lo que preocupa aún más es que tampoco es suficiente el recurso para realizar el monitoreo y seguimiento de las prácticas que han realizado en años anteriores, como aseguró el técnico de la reserva, ni mucho menos para evaluar su eficiencia lo cual permita mejorar los programas y ofrecer otras alternativas de conservación más eficientes para la zona.

Lo anterior se puede relacionar con el recorte presupuestal que han sufrido en los últimos años dependencias federales como la CONANP, CONAFOR y SADER. En el caso particular de la CONAFOR, el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS) en 2016, explica que el fuerte recorte presupuestal que ha sufrido en los últimos años esta dependencia, se ha traducido en una reducción del personal en las gerencias estatales y como consecuencia más visible imposibilita el seguimiento de las obras en campo. Por su parte, el jefe del Distrito de Desarrollo Rural de la SADER mencionó que *“Los recursos federales cada vez disminuyen para las acciones de conservación”*. Esto impide abarcar más áreas de conservación y que las ya existentes tengan un seguimiento.

La disminución del presupuesto en temas ambientales también es señalada en un estudio de Ríos (2020) donde menciona que tan sólo del año 2019 al 2020 el presupuesto asignado a temas ambientales como la protección ambiental tuvo una disminución presupuestaria de -2,647.4 millones de pesos.

La falta de continuidad de los programas no solamente sucede por falta de recursos, sino también toman parte los cambios administrativos de las dependencias, muchas veces la visión de la nueva administración no corresponde con la visión de la anterior, lo cual ha detenido la puesta en marcha de muchos proyectos de conservación. También los complejos criterios de elegibilidad y cambios constantes en las reglas de operación puedan influir en la participación de los dueños de los predios.

En cuanto a la coordinación interinstitucional y transversalidad de los proyectos, se corroboró su ausencia en la zona de estudio ya que cada institución ejecuta sus proyectos de acuerdo a sus reglas de operación, ocasionando un desconocimiento de las áreas de intervención y la réplica de apoyos y tipos de prácticas. Prueba de ello se observa en la concentración de polígonos beneficiados en la zona funcional alta (67.5 %).

Generalmente los programas de conservación de suelos aplicadas por las instancias gubernamentales y no gubernamentales (analizadas en este apartado), utilizan como unidad de intervención a los municipios, ejidos y comunidades, dejando a un lado que los procesos erosivos y la recarga hidrológica se entienden mejor dentro de los límites físicos de la cuenca hidrográfica. Idealmente bajo este marco espacial se tendría que planificar las acciones de conservación ya que las intervenciones u omisiones de la población ubicada en cualquier zona de la subcuenca afectará a toda la población al interior de estos límites naturales, debido a que todos se encuentran dependientes a la misma red hídrica. Por lo que la planeación de los proyectos de conservación en la zona de estudio desde un enfoque de cuencas podría tener mejores resultados.

A partir de la información recabada en las entrevistas se procedió a la visita en campo de los predios intervenidos por las instituciones para evaluar las condiciones actuales de las prácticas de conservación de suelo y hacer el análisis de su eficiencia, como se muestra a continuación.

6.1.2 Verificación de la condición actual de las prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio

De acuerdo con la información proporcionada por los representantes de las instancias, se lograron identificar 40 polígonos con prácticas de conservación dentro de la zona de estudio, implementadas por CONAFOR y la dirección del ANP Reserva de la Biosfera Sierra Gorda. Las áreas intervenidas por parte de GESG no se encuentran georreferenciadas (a excepción de un polígono) por lo que no fue posible su ubicación en el mapa. Las prácticas de conservación llevadas a cabo por SADER no se contemplan ya que se ubican fuera del área de estudio. Las obras de conservación identificadas cubren el 0.51 % (96. 67 ha) de la subcuenca y se distribuyen principalmente en la zona alta y media de la subcuenca (Figura 37).

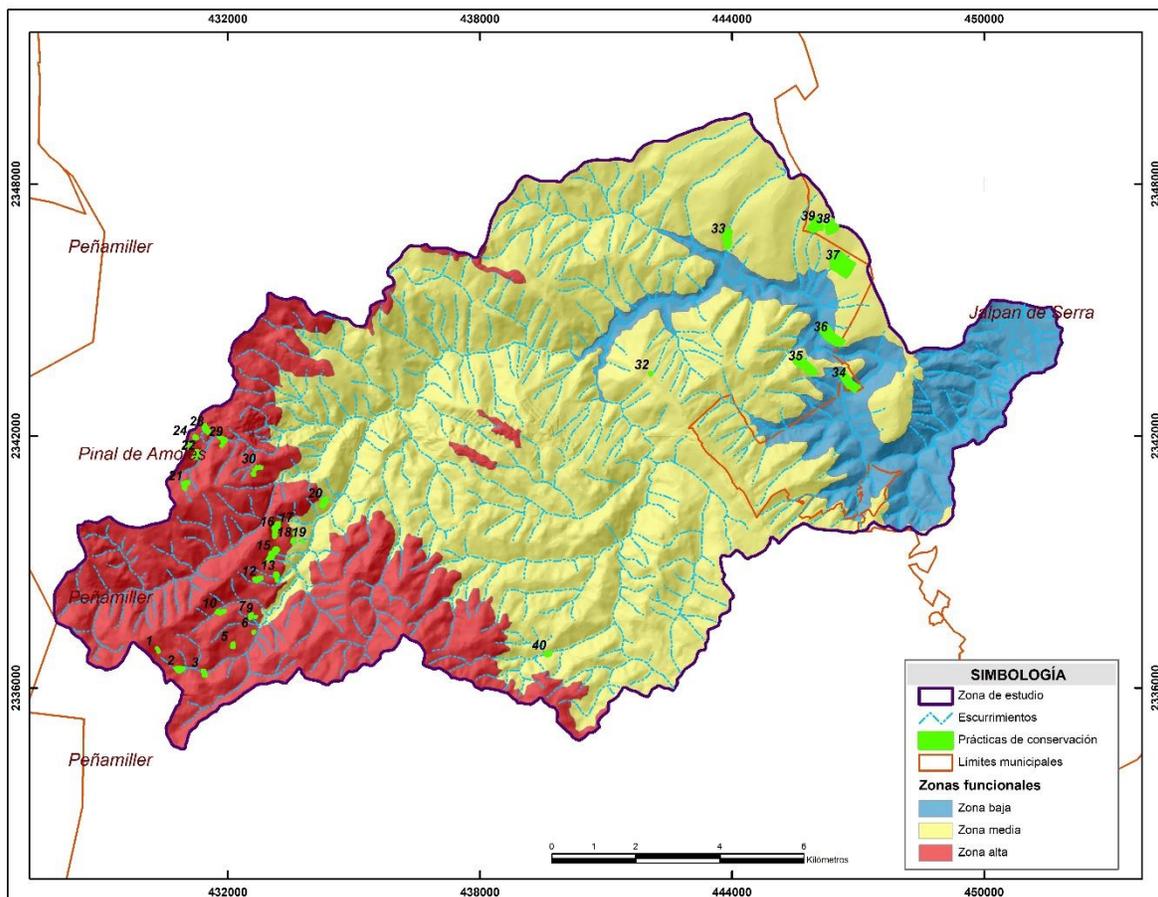


Figura 37. Localización de las prácticas de conservación en la zona de estudio.

De los 40 polígonos identificados dentro de la zona de estudio se pudieron verificar 22 en campo, debido a la disponibilidad del tiempo y accesibilidad a los sitios. Los sitios se encuentran en las localidades de La Barranca, El Llano de San Francisco,

Agua Amarga, Pitzquintla y en los ejidos de Huajales y Ahuacatlán de Guadalupe. Las obras fueron instaladas durante el periodo de 2014-2020 a través de proyectos de la CONANP, CONAFOR y Grupo Ecológico Sierra Gorda I. A. P. (Tabla 26).

Tabla 26. Prácticas de conservación de suelos implementadas en la zona de estudio en el periodo de 2014-2020.

<i>Localización</i>	<i>Año</i>	<i>Procedencia</i>	<i>Sitios verificados</i>	<i>Sitios con prácticas de conservación</i>	<i>Práctica de conservación</i>
La Barranca	2019	CONANP	10	9	Líneas de maguey, reforestación con pino-cedro, presas de piedra acomodada.
El Llano de San Francisco	2020	CONANP	8	4	Reforestación con pino-cedro, terrazas agrícolas, presas de piedra acomodada.
Ejido Huajales	2014	CONAFOR	1	1	Cordones de ramas
Ejido Pitzquintla	2017	CONAFOR	1	1	Barreras de piedra
Ejido Ahuacatlán	2019	CONAFOR	1	1	Presas de piedra acomodada
Agua Amarga	2010	Grupo Ecológico Sierra Gorda I. A. P.	1	1	Presas de mampostería y de piedra acomodada
Total			22	17	

Fuente: elaboración propia con datos de la CONANP, CONAFOR y GESG (2021).

Es importante notar que de los 22 sitios verificados 17 sitios efectivamente contaban con prácticas de conservación (Tabla 27). Los sitios sin prácticas se encontraron dentro de las localidades de la Barranca y Llano de San Francisco (Figura 38, Figura 39 y Figura 40), al tratarse de prácticas vegetativas pudieron no tener éxito en el establecimiento, sin embargo, no hay evidencia de cepas o remanentes de plantas que evidencien que estos sitios fueron intervenidos.



Figura 38. Sitio no. 25 sin intervención ubicado en la localidad de Llano de San Francisco.



Figura 39. Sitio no 27 sin intervención en la localidad de Llano de San Francisco.



Figura 40. Sitio 18, sin intervención en la localidad de La Barranca.

Tabla 27. Características de los sitios verificados.

No. de sitio	Coordenada centroide		Uso del suelo	Signos de degradación	Práctica de conservación
	X	Y			
2	430856.83	2336445.75	Uso forestal	Erosión en cárcavas	Reforestación con pino-cedro.
3	431426.79	2336398.73	Uso forestal	Erosión laminar.	Reforestación con pino-cedro.
5	432123.35	2337017.56	Uso pecuario	Erosión laminar y en montículos	Reforestación con pino-cedro.
7	432555.26	2337742.67	Uso agrícola.	Erosión en surcos y pequeñas terracetas.	Líneas de maguey.
8	432556.09	2337685.79	Uso agrícola.	Erosión en cárcavas	Líneas de maguey.
12	432719.18	2338587.13	Uso agrícola	Erosión laminar	Líneas de maguey y presas de piedra acomodada.
13	433164.69	2338706.17	Uso agrícola	Erosión laminar	Líneas de maguey intercaladas con pino-cedro.
14	433160.76	2338602.42	Uso agrícola	Erosión laminar y en cárcavas.	Reforestación con pino-cedro
15	433069.92	2339181.02	Tierras de pastoreo.	Erosión laminar y terracetas	Líneas de maguey.
18	433566.37	2339496.10	Asentamientos humanos.	No se detectó	Sin práctica.
21	430994.95	2340830.67	Tierras de pastoreo.	No se detectó	Sin práctica.
22	431265.85	2341562.60	Tierras de pastoreo.	No se detectó	Reforestación pino-cedro.
23	431193.63	2341483.01	Uso agrícola.	Erosión laminar y terracetas	Terrazas agrícolas.
24	431078.34	2341768.45	Uso forestal.	No se observó	Reforestación pino-cedro y presas de piedra acomodada.
25	431234.17	2341976.29	Tierras de pastoreo	Erosión laminar	Sin práctica
26	431463.92	2342263.35	Tierras de pastoreo	Erosión laminar y terracetas	Reforestación con pino-cedro
27	431519.68	2342148.00	Tierras de pastoreo	No se observó	Sin prácticas
28	431479.26	2342145.85	Tierras de pastoreo	No se observó	Sin prácticas
33	443880.13	2346708.27	Uso forestal	No se observó	Presas de piedra acomodada
34	446783.33	2343299.37	Uso forestal	No se observó	Barreras de piedra acomodada
38	446369.32	2346976.06	Uso forestal	No se observó	Cordones de ramas
40	439616.39	2336810.53	Uso forestal	No se observó	Presas de mampostería y de piedra acomodada.

Los signos de degradación más evidentes en los sitios verificados fueron la erosión laminar con frecuencia combinado con pequeñas terracetas, se detectó sobre terrenos de uso agrícola y pecuaria afectando una superficie menor al 35 % de los predios. La erosión en cárcavas se registró en el polígono no. 2, donde alcanzaron un ancho promedio de 1.70 m y 70 cm de profundidad (Figura 41). En el polígono

no. 8 se encontró cárcavas más pequeñas con un ancho promedio de 60 cm y una profundidad de 20 cm. La erosión en surcos se detectó en el polígono no. 7 ubicado dentro de la localidad de la Barranca; el ancho promedio de los surcos fue de 50 cm y 15 cm de profundidad (Figura 42). El resto de los polígonos intervenidos, en su mayoría de uso forestal no registraron signos de degradación. Esto lleva a cuestionar la pertinencia de las prácticas de conservación en estos sitios y dirigir las a aquellos sitios con rasgos evidentes de erosión.



Figura 41. Erosión en cárcavas en sitio no. 2, localidad de la Barranca.



Figura 42. Erosión en surcos en sitio no. 7, localidad de la Barranca.

❖ Terrazas agrícolas

Las terrazas se encontraron en el sitio 23, dentro de la localidad de Llano de San Francisco, consiste en terraplenes hechas a base de piedra acomodada que se construyen a lo largo de las parcelas agrícolas con un largo promedio de 16 m, 0.40 m de ancho y 2.10 m de alto (Figura 43). Esta obra tiene un registro de construcción de 2020, sin embargo, se piensa que posiblemente es más antigua ya que hay bastante material acumulado. El terreno donde se realiza tiene una pendiente superior de 30 %, y de acuerdo con el manual de conservación de suelos CONAFOR (2007) estas estructuras se recomiendan en pendientes de 5 a 20 %, por lo cual su eficiencia puede verse reducida.



Figura 43. Terrazas agrícolas en la localidad de Llano de San Francisco, Pinal de Amoles.

❖ ***Presas de piedra acomodada***

Las presas de piedra acomodada se localizaron en las localidades de La Barranca, Llano de San Francisco, Agua Amarga y ejido Ahuacatlán. Consisten en estructuras de piedra acomodada colocadas transversalmente a la dirección del flujo de los escurrimientos intermitentes, en terrenos con pendiente fuerte y de uso forestal, excepto las presas en la localidad de La Barranca que se encuentran en terrenos con uso agrícola y pecuario. Las obras han cumplido con su función de retener sedimentos, actualmente se encuentran a un 50% de su capacidad y se puede observar que en la parte superior se ha generado un proceso de revegetación.

Las presas de piedra acomodada del sitio 33, ubicadas en el ejido de Ahuacatlán, tienen un registro de establecimiento en el 2019, en campo se observó que requieren mantenimiento ya que se observan volcaduras de piedras a tal grado de que no se distingue la obra (Figura 44).



Figura 44. Presas de piedra acomodada en el sitio 33, ejido de Ahuacatlán de Guadalupe.

Las presas ubicadas en el sitio no. 12 de la localidad de La Barranca tienen un registro de construcción en el año 2019, se encuentran en buenas condiciones sin embargo se detectó que no cumplen con especificaciones de construcción que ayuden a cumplir adecuadamente su función. Un ejemplo de ello es la falta del vertedor (Figura 45 A) y del empotramiento (Figura 45 B), lo primero es una sección en forma de U que debe de ir en el centro del muro para encauzar el paso del agua, lo segundo es para asegurar que la estructura sea resistente a volcaduras provocadas por las corrientes de agua.

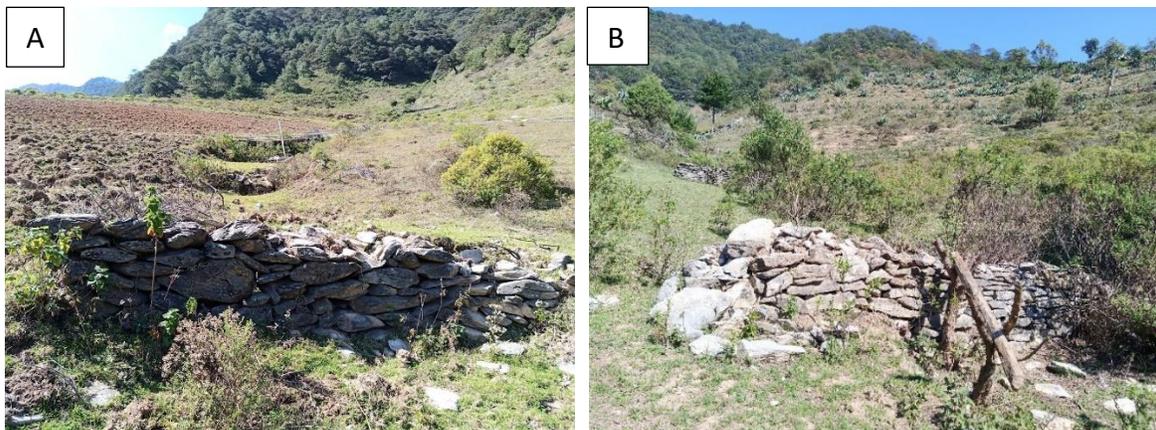


Figura 45. Presas de piedra acomodada en sitio no. 12, localidad de La Barranca: A) Estructura sin vertedor; B) Estructura sin vertedor y empotramiento.

Las presas del sitio 24 ubicadas en la localidad Llano de San Francisco se localizan en terreno de uso forestal alejado de los asentamientos humanos, poco accesible y con pendiente muy accidentada, estas condiciones son limitantes para el mantenimiento de las obras. Al igual que las presas ubicadas en la localidad de La Barranca, el diseño de construcción no es el óptimo, sin embargo, han cumplido con la función de retener azolves, actualmente se encuentran a su máxima capacidad (Figura 46).



Figura 46. Presas de piedra acomodada en la localidad de Llano de San Francisco.

❖ ***Presas de mampostería combinada con presas de piedra acomodada***

En la localidad de Agua Amarga se ubica el sitio no. 40, donde fueron instaladas presa de piedra acomodada y una presa de mampostería perpendicular a un escurrimiento, este tipo de obras se construyen para disminuir la velocidad del flujo de la corriente, retener azolves y almacenar agua (Figura 47). Por las dimensiones que presenta la presa de mampostería se puede pensar que en años anteriores la avenida de agua era bastante considerada o quizá la obra fue sobredimensionada. Aguas arriba de la presa de mampostería se localiza una serie de presas de piedra acomodada (Figura 48), que, consultando el manual de protección, restauración y conservación de suelos forestales de la CONAFOR (2007), tienen la función de disminuir la fuerza del agua hasta su llegada a la presa de mampostería y de esta forma evitar su rápido azolvamiento y disminución de su vida útil.



Figura 47. Presa de mampostería en la localidad de Agua Amarga.



Figura 48. Presa de piedra acomodada en la localidad de Agua Amarga.

❖ **Barreras de piedra acomodada**

En el ejido de Pitzquintla se tiene un registro de un polígono (sitio no. 34) con barrera de piedra acomodada ubicado en terreno de uso forestal (Bosque de transición entre encino y selva baja caducifolia) con pendiente fuerte y de poca accesibilidad. Las barreras son de las prácticas más antiguas, fueron instaladas en 2014 por la CONAFOR, en la actualidad necesitan de mantenimiento ya que en algunas secciones se observó la volcadura de algunas piedras (Figura 49). Se pudo observar que las barreras están reteniendo una gran cantidad de suelo y sobre todo de materia orgánica. El perfil húmico es mayor de 10 cm.



Figura 49. Barreras de piedra acomodada a curvas de nivel localizadas en el ejido de Pitzquintla.

❖ *Reforestaciones con pino-cedro*

Las reforestaciones con pino y cedro se encontraron en los sitios 2 y 3 dentro de la localidad de La Barranca sobre uso forestal (Bosque de pino-encino) (Figura 50), en el sitio 5 sobre uso pecuario (Figura 51) y en el sitio 14 con uso agrícola (Figura 52), ubicados dentro de la misma localidad. En la localidad de Llano de San Francisco, la reforestación se ubicó en el sitio 22 (Figura 53) y 26 sobre uso pecuario (Figura 54) y en el sitio 24 sobre uso forestal en combinación con presas de piedra acomodada. Las plantas tenían en promedio 60 cm de altura y se encontraron bajos porcentaje de sobrevivencia. Se tuvo la oportunidad de platicar con algunos dueños de los predios y mencionan que las instancias promotoras les dan la planta en época de secas por lo que al plantarse tienen menor probabilidad de sobrevivencia, es de amplio conocimiento que las reforestaciones en la zona se deben realizar durante las primeras lluvias por la dificultad de realizar riegos. La mortandad de la planta también se debe a la entrada de ganado ya que las áreas no están excluidas con algún tipo de cercado y muchas veces son los propios dueños de los terrenos los que pastorean su ganado al interior del sitio.



Figura 50. Reforestaciones con pino-cedro en la localidad de La Barranca; a) sitio 2, b) sitio 3.



Figura 51. Reforestación con pino-cedro sobre uso pecuario en sitio no. 5, localidad de La Barranca.



Figura 52. Reforestación con pino-cedro sobre uso agrícola en sitio no. 14, localidad de La Barranca.



Figura 53. Sitio no. 22 con reforestación de pino-cedro en uso pecuario, localidad de Llano de San Francisco.



Figura 54. Sitio no. 26 con reforestación de pino-cedro en uso pecuario, localidad de Llano de San Francisco.

❖ *Líneas de maguey*

El establecimiento de líneas de maguey se realizó sobre terrenos agrícolas (sitio 7, 8 y 12) y pecuarios (sitio 15) con presencia de erosión laminar dentro de la localidad de la Barranca, las líneas fueron establecidas a un espaciamiento que sigue más un patrón de reforestación que de barreras vivas. Hubo un bajo porcentaje de sobrevivencia de plantas; aún se observan las cepas con remanentes. El manual de protección, restauración y conservación de suelos forestales de la CONAFOR (2007) recomienda que las barreras vivas deben establecerse en hileras sobre curvas a nivel y la plantación debe ser en altas densidades para no permitir el libre

paso de sedimentos, lo cual no se observó en los sitios donde se estableció el maguey (Figura 55).



Figura 55. Establecimiento de maguey en la localidad de La Barranca. A) Maguey en un estado vegetativo maduro; B) y C) Líneas de maguey con baja densidad.

❖ *Reforestación con pino-cedro y maguey*

En la localidad de La Barranca se encontró el sitio no. 13 sobre una ladera agrícola de pendiente accidentada, en el cual se instaló una reforestación de pino-cedro y maguey (Figura 56). La planta presentó bajo porcentaje de sobrevivencia debido a que se realizó en la época de secas y la planta sufre daños físicos por el ganado que ingresa.



Figura 56. Sitio no. 13 con presencia de reforestación de pino-cedro y maguey.

❖ *Cordones de ramas*

En el Ejido Huajales se instalaron por el año 2017 cordones de ramas sobre terrenos de uso forestal (sitio no. 38), se aprovechó el material vegetal que se produce de la muerte natural de los árboles. Los cordones fueron colocados sobre las laderas a curva de nivel y sobre escurrimientos intermitentes para interceptar azolves y disminuir la escorrentía. Actualmente se encuentran muy degradados por las mismas condiciones de deterioro de la madera y ya no están reteniendo suelo

(Figura 57). El mantenimiento de estas obras se complica ya que los sitios están muy alejados de la localidad y las brechas de acceso están en malas condiciones.



Figura 57. Cordones de material vegetal muerto en el ejido de Huajales.

❖ **Diagnóstico general del estado actual de las prácticas de conservación**

De acuerdo con los recorridos en campo se encontraron zonas con erosión hídrica donde no se han implementado acciones de conservación de suelos, mientras que los lugares donde se han establecido, son poco accesibles y en muchos de ellos no hay signos de degradación. Lo anterior indica que efectivamente hace falta realizar un diagnóstico exhaustivo donde logren ubicarse los sitios con mayor riesgo de erosión y de esta forma las prácticas de conservación implementadas tengan mayor efecto. Respecto a las condiciones generales de las prácticas estructurales, el 30 % de ellas requiere mantenimiento, y el 20 % se encuentran colmatadas. Las prácticas vegetativas han tenido poco éxito (baja sobrevivencia), sobre todo las reforestaciones de pino-cedro, debido a que se establecen fuera del periodo de lluvias y no se protegen del ganado mediante cercados. Se pronostica que menos del 20% de la planta llegará a un estado maduro por la falta de mantenimiento (riegos, deshierbe, rehabilitación de cajete, entre otras).

De acuerdo con las observaciones en campo se podría deducir que los propietarios no se comprometen con la sobrevivencia de la planta ni con la calidad de las obras de conservación de suelo porque no logran obtener beneficios inmediatos. Sin embargo, se tendría que platicar a fondo con los beneficiados para llegar a una conclusión objetiva.

La baja sobrevivencia de las reforestaciones es un fenómeno en todo el país y no es atribuible únicamente a los programas implementados por dependencias gubernamentales (CONAFOR, CONANP, SADER, entre otras). Algunas de ellas tienen documentados los resultados de evaluaciones externas. Por ejemplo, en el Informe final de Resultados del Monitoreo y Evaluación Apoyos de Reforestación y

Suelos realizada en 2012 por la Universidad Autónoma Chapingo a petición de la CONAFOR, se menciona que los propietarios no prestan atención a la supervivencia de las reforestaciones y a la calidad de las obras de conservación de suelo porque no logran ver beneficios económicos a corto y mediano plazo. Ante este hecho se recomendó a la CONAFOR hacer más atractivos los programas de restauración que les permita a los productores obtener beneficios a un plazo más corto, por ejemplo, mediante la implementación de sistemas agroforestales y plantaciones comerciales (UACH y CONAFOR, 2014).

Ahora bien, hasta aquí se presentaron las condiciones actuales de las prácticas, basadas en las visitas en campo de los sitios intervenidos por las instancias entrevistadas. En el siguiente apartado se analiza el efecto que tienen algunas de estas prácticas en la erodabilidad del suelo, a través de su evaluación en parcelas pareadas (áreas con prácticas y áreas de control), siendo este un indicativo de su eficiencia para seguir implementándolas en la zona de estudio.

6.2 Efecto de las prácticas de conservación de suelos en la erodabilidad del suelo

El factor K referido a la erodabilidad o susceptibilidad del suelo a erosionarse se determinó en sitios con prácticas de conservación y sus respectivas áreas de control. Se obtuvo a partir de los resultados de textura (arcilla, limo y arena) expresado en porcentaje (%), del contenido de materia orgánica (%) obtenidos de las muestras de suelo y su tratamiento en laboratorio, la clase estructural observada *in situ* y la clase de permeabilidad que fue obtenida a partir de la clase de textura. En la Tabla 28 y Tabla 29 se presentan los valores obtenidos de estos parámetros los cuales fueron incorporados a la ecuación de Wischmeier y Smith (1978) para obtener el factor K de cada sitio.

Tabla 28. Propiedades del suelo obtenidas de las áreas intervenidas con prácticas de conservación.

Sitio	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural	MO (%)	Estructura		Permeabilidad	
						Clase	Código	Clase	Código
2	38.74	30.85	30.41	Franco arcillosa	5.05	Granular media	3	Lenta a moderada	4
5	23.65	35.45	40.90	Franco arcillosa	3.04	Granular media	3	Lenta a moderada	4
7	33.65	32.95	33.40	Franco arcillosa	0.15	Granular gruesa	3	Lenta a moderada	4
12	36.15	28.85	35.00	Franco arcillosa	2.56	Granular gruesa	3	Lenta a moderada	4
13	36.15	37.95	25.90	Franco arcillosa	4.02	Subangular en bloques	4	Lenta a moderada	4
23	48.66	26.35	25.00	Franco arcillo arenosa	7.67	Granular medio	3	Lenta a moderada	4
24	57.05	12.95	30.00	Franco arenosa	8.27	Granular gruesa	3	Moderada a rápida	2
33	49.55	20.45	30.00	Franca	8.6	Granular gruesa	3	Moderada	3
34	71.15	6.35	22.50	Franco arenosa	12.07	Granular media	3	Moderada a rápida	2

Tabla 29. Propiedades del suelo obtenidas de las áreas de control.

Sitio	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural	MO (%)	Estructura		Permeabilidad	
						Clase	Código	Clase	Código
2	41.2	30.4	28.4	Franco arcillosa	4.54	Subangular en bloques	4	Lenta a moderada	4
5	33.7	35.4	30.9	Franco arcillosa	3.98	Granular gruesa	3	Lenta a moderada	4
7	41.2	28.0	30.9	Franco arcillosa	0.85	Subangular en bloques	4	Lenta a moderada	4
12	43.7	6.3	50.0	Franco limosa	4.3	Subangular en bloques	4	Moderada	3
13	31.2	40.4	28.4	Arcillosa	3.27	Granular gruesa	3	Muy lenta	6
23	49.1	22.9	27.9	Franca	3.56	Granular fina	2	Moderada	3
24	64.6	12.9	22.5	Franco arenosa	6.53	Granular fina	2	Moderada a rápida	2
33	51.2	8.0	40.9	Franca	9.69	Subangular en bloques	4	Moderada	3
34	38.7	18.8	42.5	Franca	5.34	Subangular en bloques	4	Moderada	3

Aun cuando la erodabilidad de un suelo depende de muchas otras propiedades físicas y químicas del suelo, es evidente que el contenido de materia orgánica es uno de los parámetros más importantes en su determinación, por su estrecha relación con la cohesión del material, estabilidad de los agregados y permeabilidad que facilita o dificulta el arranque del material (Orozco y Ángel, 2017). En este contexto, de entrada, puede observarse en las anteriores tablas que las áreas con prácticas de conservación mostraron contenidos de materia orgánica superiores a las áreas sin intervención (excepto el sitio 4 y 9).

En 8 de los 9 sitios donde se evaluó la erodabilidad, se encontró que las áreas con prácticas de conservación de suelos mostraron valores más bajos de erodabilidad que las áreas sin intervención (Tabla 30). Esto demuestra que las prácticas favorecen la conservación de suelo al mejorar sus propiedades intrínsecas como la textura, estructura, contenido de M. O. y capacidad de infiltración, y en consecuencia disminuyen la susceptibilidad del suelo a erosionarse.

Tabla 30. Valores de erodabilidad en áreas intervenidas con prácticas de conservación de suelos y áreas de control.

Sitio	Área con prácticas de conservación			Control		Eficiencia	
	Tipo de práctica	Factor K	Clasificación erodabilidad	Factor K	Clasificación erodabilidad	Decimal	%
2	Reforestación con pino-cedro	0.0377	Fuertemente erodable	0.0446	Fuertemente erodable	0.15	15
5	Reforestación con pino-cedro	0.0407	Fuertemente erodable	0.0373	Fuertemente erodable	-0.09	-9
7	Líneas de maguey	0.0554	Fuertemente erodable	0.0649	Extremadamente erodable	0.15	15
12	Líneas de maguey y presas de piedra acomodada.	0.0512	Fuertemente erodable	0.0751	Extremadamente erodable	0.32	32
13	Reforestación p-c intercalada con maguey.	0.0388	Fuertemente erodable	0.0410	Fuertemente erodable	0.05	5
23	Terrazas agrícolas	0.0292	Medianamente erodable	0.0468	Fuertemente erodable	0.38	38
24	Reforestación pino-cedro y presas de piedra acomodada.	0.0283	Medianamente erodable	0.0367	Fuertemente erodable	0.23	23
33	Presas de piedra acomodada.	0.0245	Medianamente erodable	0.0278	Medianamente erodable	0.12	12
34	Barreras de piedra acomodada	0.0004	Débilmente erodable	0.0501	Fuertemente erodable	0.99	99

La diferencia del factor K en áreas sin intervención y en áreas con prácticas de conservación (expresada en porcentaje), representa la eficiencia que tiene cada una de ellas en reducir la erodabilidad. Las barreras de piedra acomodada localizadas dentro del sitio 34, registraron la mayor eficiencia con un 99% en la reducción de la erodabilidad. Esta eficiencia puede estar relacionada con el año de ejecución de la práctica (2014) y la cantidad de materia orgánica que se fue acumulando con el

tiempo, ya que en este sitio se registró el porcentaje más alto de materia orgánica, además de que permanece con abundante cobertura vegetal (Selva baja caducifolia).

En el sitio 23, donde se encuentran las terrazas agrícolas el valor del factor K fue de 0.0292 y en su respectiva área de control el valor de K fue de 0.0468, lo cual demuestra que esta práctica puede disminuir la erodabilidad en un 38% (bajo condiciones similares del sitio).

Las presas de piedra acomodada localizadas en la localidad de Ahuacatlán de Guadalupe (sitio no. 33) lograron disminuir la erodabilidad en un 12 %, este resultado se puede vincular con la falta de mantenimiento; al estar deteriorada la estructura no cumple con su función al 100 %. Esta obra también fue la que presentó mayor irregularidad en el acomodo de las piedras (mayor espacio) limitando su capacidad de retención del suelo respecto a las otras prácticas estructurales.

Las reforestaciones con pino-cedro se evaluaron en dos sitios: en el sitio no. 2 el área con reforestación logró disminuir la erodabilidad en un 15 %; mientras que en el sitio no. 5 la erodabilidad en el área de control fue 0.9% menor que en el área con reforestación, lo cual indica que en ese sitio la reforestación no está mejorando las propiedades del suelo y su resistencia al poder erosivo. A pesar de tratarse de la misma práctica y ser instalada en el mismo año (2019), solamente en el sitio 2 se logró disminuir la erodabilidad, probablemente esté relacionado con el hecho de que en ese sitio hubo mayor sobrevivencia de la planta (50 %) que en el sitio 5 (40 %).

En el sitio 7, la zona que presenta líneas de maguey obtuvo un valor de erodabilidad de 0.0554 mientras que en su área de control el valor fue de 0.0649, indicando que dicha práctica disminuye la erodabilidad en un 15 %. No hay duda en que pudieran tener mayor eficiencia si se hubiera establecido la planta en altas densidades y siguiendo las curvas de nivel como se recomienda en el manual de protección, restauración y conservación de suelos forestales de la CONAFOR (2007).

Dentro del sitio 12, las líneas de maguey combinadas con presas de piedra tuvieron una eficiencia del 32 %. En el sitio 24, donde se realizó reforestación con pino-cedro y además se instalaron presas de piedra acomodada, la reducción de la erodabilidad fue del 23 %. Estos resultados indican que la combinación de prácticas vegetativas con estructurales puede traer mayores resultados en lugar de que se aplique de un solo tipo.

Finalmente, las reforestaciones de pino-cedro intercaladas con maguey, presentes en el sitio no. 13, redujeron la erodabilidad en un 5 %. La baja eficiencia de las reforestaciones y líneas de maguey se debe principalmente a que la planta que logró sobrevivir fue muy poca por lo que no se generó suficiente cobertura protectora para amortiguar el impacto de la lluvia y mejorar las propiedades del suelo.

Con lo anterior es posible fijar una relación directa entre el estado actual de las prácticas revisadas en campo con su eficiencia en la reducción de la erodabilidad, y, en general, en la mitigación de los procesos erosivos. Por ejemplo, las reforestaciones que fueron mal planeadas y carecieron de un seguimiento para realizar labores de mantenimiento, tuvieron baja sobrevivencia de la planta, resultando en un efecto poco significativo en la disminución de la erodabilidad. Por otro lado, sí las prácticas estructurales como las presas de piedra acomodada se les diera el mantenimiento adecuado, podrían tener mayor impacto en la captación de sedimentos y disminución de la erodabilidad.

La baja eficiencia de las prácticas de conservación aplicadas dentro de la zona de estudio es también consecuencia del bajo recurso asignado a las diferentes instancias promotoras para realizar actividades de conservación de suelos incluyendo su seguimiento y evaluación. De hecho, este fenómeno es un reflejo de la situación general del país, tal como lo menciona Cotler *et al.* (2007) *que la ausencia de estímulos para la investigación de la degradación y conservación de suelos lleva a mantener un conocimiento limitado y al diseño de acciones de conservación de suelos poco eficientes*, tal como se corroboró en el presente estudio.

Así también en estos resultados se pone en evidencia la falta de apropiación de las prácticas de conservación por parte de los dueños de los terrenos, vista en el momento que permiten la entrada de su propio ganado a las áreas de reforestación o cuando no reforestan la totalidad de la planta que se les entrega. En el caso de las prácticas estructurales, no se observó que se llevaran a cabo acciones de mantenimiento con recursos propios.

Finalmente cabe aclarar que los resultados de eficiencia que se obtuvieron de las diferentes prácticas de conservación, son específicos para la zona de estudio, y no pueden ser comparables con evaluaciones de las mismas que se hayan realizadas bajo otras condiciones ambientales. Ya que en la eficiencia influye la forma en que fueron construidas y/o instaladas, la temporalidad, el mantenimiento y las características ambientales del sitio donde fueron construidas (topografía, usos de suelo, precipitación, entre otras).

6.2.1 Consideraciones finales del apartado

Los resultados de este apartado muestran un panorama poco favorable para la conservación del suelo en la subcuenca Presa Jalpan, en primer lugar por el escaso presupuesto con el que operan las dependencias federales para la planificación y ejecución de obras de conservación de suelo, en segundo lugar por la falta de

estudios previos que evalúen la degradación de suelo e identifiquen áreas que requieren atención prioritaria, en tercer lugar, por la falta de seguimiento y evaluación a las obras ya establecidas lo cual impiden mejorarlas, sustituirlas o complementarlas, y por último, la falta de mecanismos para que los dueños de los predios se apropien de dichas prácticas. Todo esto en conjunto ha contribuido a que permanezcan los problemas de erosión y se sigan aplicando por años las mismas prácticas de conservación de suelos con pocos resultados en la conservación general de la subcuenca.

El análisis de las prácticas ejecutadas, sin duda requirió de un esfuerzo muy grande para recabar la información de los programas y localizar las prácticas en la subcuenca, es importante mencionar que la gestión de la información se realizó en plena pandemia por COVID-19, lo cual dificultó el acercamiento con las dependencias promotoras. En la parte de campo (verificación de los sitios intervenidos y obtención de muestras y mediciones *in situ* para calcular la erodabilidad en parcelas pareadas) se tuvieron varias dificultades, entre las más significativas se puede mencionar: la obtención del permiso por parte de los beneficiados para acceder a sus terrenos y realizar el diagnóstico de sus prácticas; la dificultad para acceder a los predios debido a que en la mayoría de los casos se trató de sitios accidentados y alejados de las vialidades y asentamientos humanos. Lo anterior es importante de tomar en cuenta por aquellos que deseen replicar el estudio ya que implica una considerable inversión de tiempo y recursos económicos.

Desde una apreciación externa, se pudiera cuestionar el análisis focalizado de las prácticas en una superficie muy grande que constituye la subcuenca de la Presa Jalpan, siendo que éstas no abarcan ni siquiera el 1% de su superficie. Sin embargo, la dificultad para obtener información de las dependencias, y la reducida información con la que cuentan sobre los sitios intervenidos impidió cumplir con una de las metas planteadas inicialmente en el estudio, el de inventariar y evaluar las prácticas de conservación de suelos existentes en la totalidad de la superficie de la subcuenca de estudio. Por lo tanto, en este apartado solamente se ofreció información parcial del estado actual en que se encuentran dichas prácticas, ya que no se pudieron visitar todos los sitios intervenidos ni se pudo considerar la totalidad de tipos de prácticas existentes para contrastar su eficiencia.

A pesar de que el estudio no representa el esfuerzo real que se ha hecho dentro de la subcuenca para conservar el suelo, sí se logra demostrar que las prácticas implementadas mejoran las propiedades del suelo y reducen la erodabilidad, independientemente de su mal diseño y de la falta de mantenimiento. También se demostró que la eficiencia de las prácticas corresponde con su diseño y grado de deterioro, de ahí la importancia de capacitar a los beneficiados previo a la ejecución

de las mismas y posterior a su instalación se debe continuar con un programa de mantenimiento.

Es importante señalar que las prácticas estructurales resultaron con un mayor grado de eficiencia, pero no significa que deben considerarse como únicas opciones, ya que por sí solas no logran prevenir el desprendimiento de partículas de suelo ni inducen de forma efectiva la regeneración vegetal espontánea. Por lo tanto, es necesario la combinación adecuada con prácticas vegetativas y agrícolas, en función de los problemas de erosión predominantes en el sitio. En todo caso, para cada situación, se deberá de formular un modelo de manejo de la erosión donde se incluyan prácticas mecánicas, vegetativas y agronómicas, bajo un concepto de manejo sustentable del suelo que contemple la aptitud del mismo y la participación activa del propietario del terreno.

Se ha señalado en este estudio que la insuficiencia de recursos federales para la conservación de suelos y la falta de apropiación de las prácticas por parte de los dueños de los terrenos, han sido los principales motivos que limitan la continuidad de los programas de conservación de suelos. Por lo general las prácticas que se han aplicado en la zona de estudio no operan sin los incentivos económicos de las dependencias y organizaciones; en campo se observó la poca disposición de los beneficiados a incrementar las obras o darles mantenimiento con recursos propios. Esto no quiere decir que no exista conciencia del deterioro del suelo, en la mayoría de los casos se debe a que los habitantes de la subcuenca presentan carencias económicas que limitan la inversión en la conservación del suelo, sobre todo por el alto costo que representan algunas prácticas, en otros casos se debe a la falta del reconocimiento de los beneficios ambientales y productivos que se obtienen de ellas, en el corto, mediano y largo plazo.

Ante esta situación es importante mejorar los mecanismos de promoción de los programas de conservación de suelos, donde a través de capacitaciones las personas se enteren de los beneficios que pueden generar las prácticas en sus predios y donde el promotor conozca de primera mano sus necesidades. De tal forma que las estrategias de manejo de la erosión que se formulen en la subcuenca, sea el producto de un consenso entre el dueño del terreno y promotor, capaces de generar beneficios económicos a corto, mediano y largo plazo.

Es necesario reformular los programas y prácticas de conservación de suelo que hasta el momento se han replicado en la zona de estudio, ya que, a pesar de tener buenas intenciones, no logran tener un impacto significativo en la conservación del suelo a nivel subcuenca. Es muy importante continuar con el inventario de las prácticas y su respectiva evaluación a fin de que pueda servir de línea base para el diseño de las futuras actuaciones, ya que muchos de los errores que se han repetido

por más de una década, es consecuencia de la falta del seguimiento y evaluación de las prácticas de conservación de suelos.

Por otro lado, los esfuerzos de conservación de suelo se han puesto en manos de tres dependencias federales, y una organización civil, en tanto que las acciones del gobierno municipal y la participación de la sociedad civil no figuran. Es importante mencionar este punto ya que la conservación del suelo no es responsabilidad exclusiva de los dueños del terreno e instituciones del gobierno, se convierte en un asunto de interés público, ya que las consecuencias de su degradación afectan a toda la población de forma directa o indirecta. Hay instituciones educativas y organizaciones que podrían participar de forma significativa en la capacitación de los dueños de los predios. Empresas y pobladores pueden hacer aportaciones voluntarias a las personas que realicen prácticas de conservación de suelo como una especie de pago por la captura hidrológica, retención de sedimentos y otros servicios que se deriven. Finalmente, cualquier proyecto autorizado dentro de la subcuenca que implique la remoción de vegetación y suelo deberán estar obligados a realizar obras de conservación de suelo para resarcir el daño.

6.3 Estimación de la erosión hídrica e identificación de zonas prioritarias para su manejo

6.3.1 Factor R

El factor R expresa el poder erosivo de la lluvia. En las estaciones que fueron contempladas para el cálculo del factor R el valor vario ente los 47.44 a 2532.05 MJ mm/ha hr año (Tabla 31). Una vez que se interpolaron estos valores para la totalidad de la superficie de la subcuenca presa Jalpan, el factor R adquirió valores dentro de un rango de los 698.57 a los 888.84 MJ mm/ha hr año. Los valores más bajos se distribuyen en la parte noreste de la subcuenca e incrementan hacia el sureste de la misma, siendo en la zona baja de la subcuenca donde se registran los valores más altos del factor R (Figura 58).

Tabla 31. Valores del factor R obtenidos para las estaciones de influencia de la subcuenca de estudio.

<i>Estación</i>	<i>Factor R (MJ mm/ha hr año)</i>
Jalpan de Serra (DGE)	272.91
Jalpan de Serra	1611.40
Ayutla	250.94
Arroyo Seco	819.93
Tres Lagunas	236.55
La Lagunita	1034.18
San Joaquín	2532.05
Peñamiller (SMN)	507.78
El comedero	112.75
Higuerillas	437.74
El Doctor	1278.77
Vizarrón	950.21
Tolimán	47.44

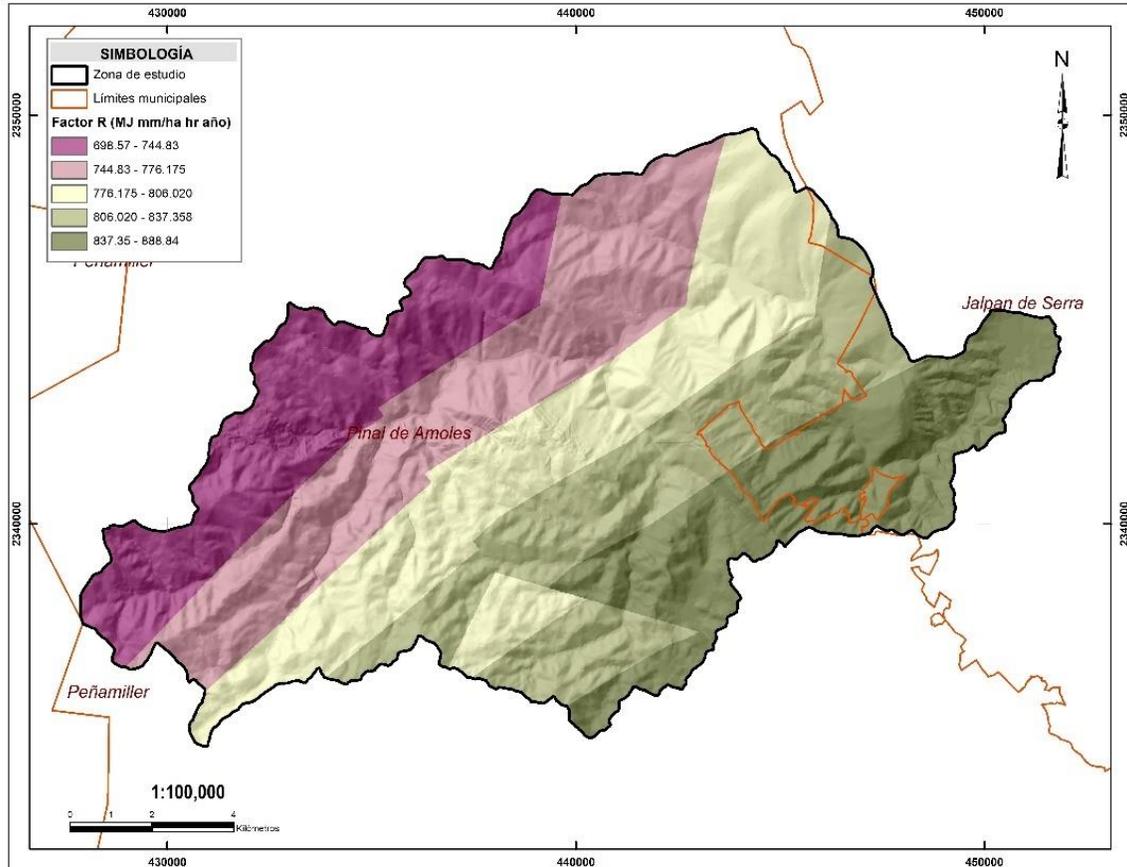


Figura 58. Mapa del factor erosividad de la lluvia (Factor R) dentro de la subcuenca Presa Jalpan.

6.3.2 Factor K

El factor K determina la resistencia del suelo ante la fuerza erosiva de la lluvia, en función de sus propiedades intrínsecas como su textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica. En la subcuenca dominan ocho tipos de suelos: Phaeozem lúvico, Leptosol calcárico, Cambisol esquelético calcárico, Leptosol hiperéutrico, Leptosol éutrico, Leptosol húmico, Regosol húmico y Luvisol crómico con texturas finas y medias. Los valores del factor K correspondientes a estas unidades edafológicas y sus respectivas texturas son los que se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32. Factor K en función del tipo de suelo y textura, de acuerdo con la clasificación de FAO (1978).

Unidad edafológica	Textura	Valor K
Phaeozem lúvico	Fina	0.007
Leptosol calcárico	Fina	0.007
Cambisol esquelético calcárico	Fina	0.013
Leptosol hiperéutrico	Fina	0.007
Leptosol éutrico	Media	0.020

<i>Unidad edafológica</i>	<i>Textura</i>	<i>Valor K</i>
Leptosol húmico	Fina	0.007
Regosol húmico	Media	0.040
Luvisol crómico	Fina	0.013

Fuente: elaboración propia con datos de Martínez (2005).

Los valores más altos de K se encuentran en el centro de la subcuenca sobre suelos de tipo regosol húmico. En tanto que los valores más bajos se distribuyen en la zona funcional alta de la subcuenca donde dominan los Leptosoles húmicos así como en la zona baja de la misma (desembocadura) donde dominan los Leptosoles hiperéutricos (Figura 59).

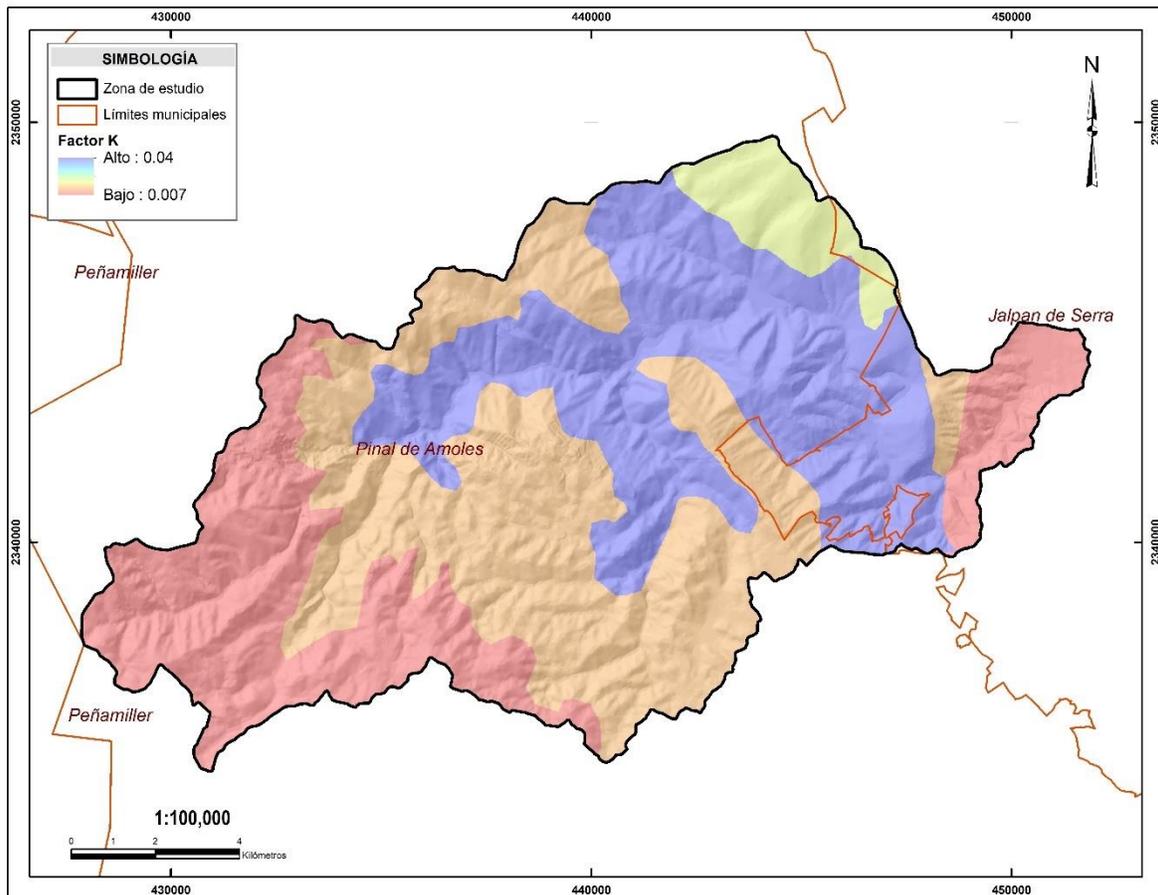


Figura 59. Mapa del factor erodabilidad del suelo (Factor K) en la subcuenca Presa Jalpan.

6.3.3 Factor LS

El factor topográfico influye drásticamente en la cantidad de suelos que se pierde. En la subcuenca donde la topografía es muy accidentada, este factor tomó valores entre los 0.03 a los 3003.92. En el mapa (Figura 60) se muestra como los valores

más altos de este factor suceden sobre laderas de montañas con un grado de pendiente elevado y sobre los escurrimientos donde la acumulación del flujo es mayor. Mientras que los valores más bajos de LS suceden sobre los valles intermontanos donde suele suceder la acumulación de sedimentos.

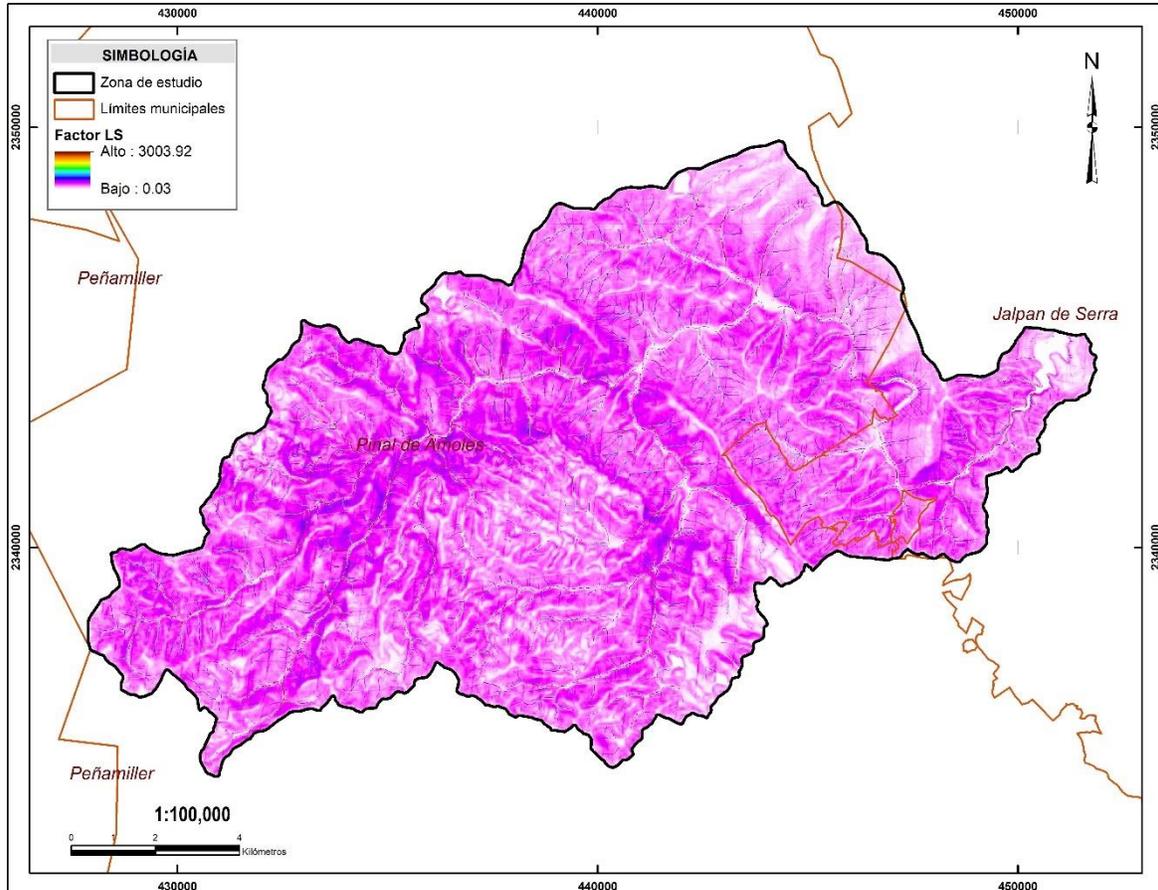


Figura 60. Mapa del factor topográfico (LS) en la subcuenca Presa Jalpan.

6.3.4 Factor C

El factor C podría considerarse uno de los factores más importantes en la USLE, generalmente es usado para comparar el efecto de diversas coberturas en la disminución de la erosión, hacer pronósticos de como la pérdida potencial de suelo se distribuirá en el tiempo a través de un plan de conservación o cambios en el uso de suelo. En la subcuenca se distribuyen 14 usos del suelo y vegetación, los cuales fueron asociados a un factor C con valores que van desde 0.005 a 1 (Tabla 33 y Figura 61). Los bosques de pino y asociaciones de pino-encino, encino-pino, son los que adquieren valores más bajos indicando que tienen mayor protección sobre el suelo, estos se localizan principalmente en la parte alta y media de la subcuenca.

Caso contrario sucede con la agricultura de temporal asociado a un valor de 0.75, lo cual indica una menor protección.

Tabla 33. Valores de C para los diferentes usos y coberturas de suelo presentes en la subcuenca Presa Jalpan.

Vegetación y/o uso de suelo	Factor C
Bosque de encino	0.1
Bosque de encino-pino	0.01
Bosque de pino	0.01
Bosque de pino-encino	0.01
Selva baja caducifolia	0.5
Vegetación secundaria de bosque de encino	0.1
Vegetación secundaria de bosque de encino-pino	0.01
Vegetación secundaria de bosque de pino-encino	0.01
Vegetación secundaria de selva baja caducifolia	0.5
Pastizal inducido	0.02
Agricultura en riego	0.55
Agricultura de temporal	0.75
Asentamientos humanos	0.005
Cuerpos de agua	1

Fuente: elaboración propia con datos de Montes *et al.* (2011).

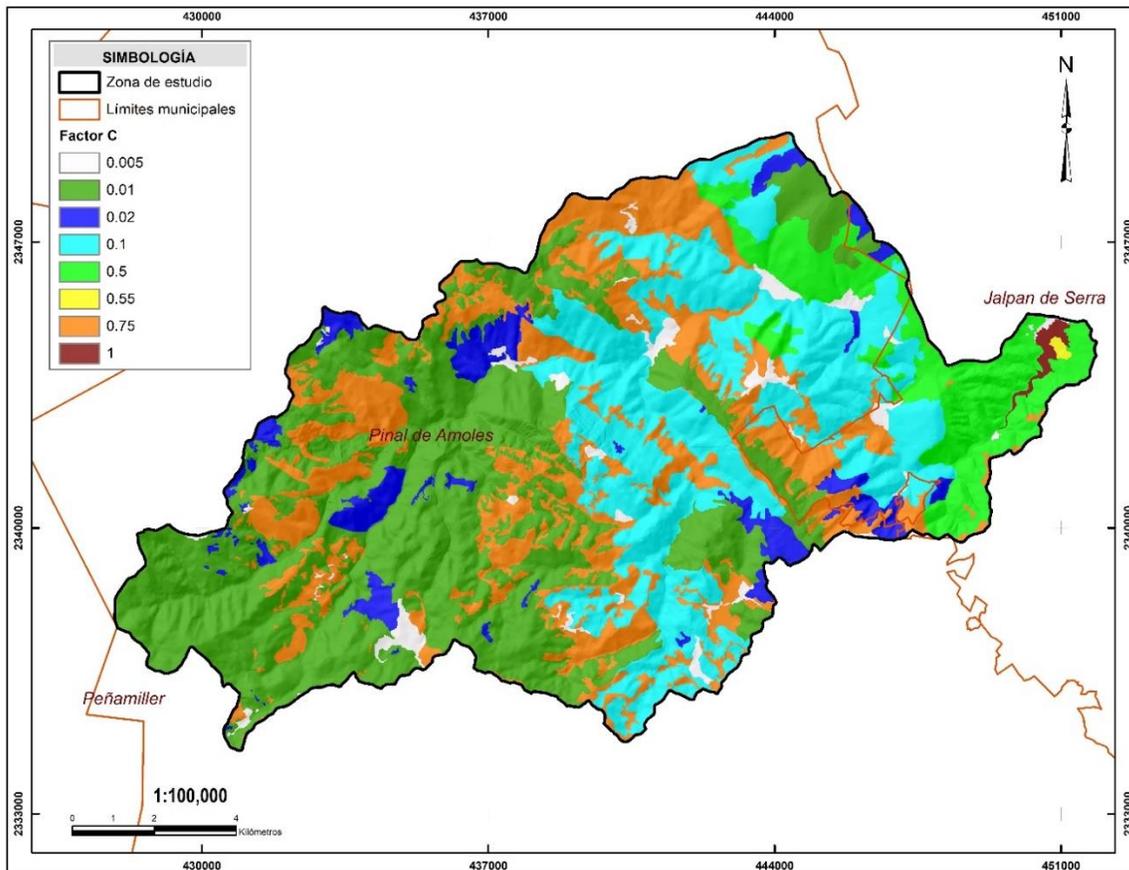


Figura 61. Mapa del factor cobertura vegetal (factor C) en la subcuenca Presa Jalpan.

6.3.5 Factor P

El efecto de las prácticas de conservación de suelo generalmente es omitido en los modelos de erosión como lo es la USLE, debido a que no se cuenta con información respecto a la ubicación, características y eficiencia de las prácticas dentro del área que se está estudiando. En este estudio no se quiso dejar de lado el efecto del factor P en la estimación de la pérdida de suelo en la subcuenca Presa Jalpan. Se identificaron 40 polígonos con prácticas de conservación de suelos dentro de la zona de estudio. La práctica que se ha realizado con mayor frecuencia en los últimos 10 años ha sido la reforestación con especies de pino y cedro. Entre las prácticas estructurales se encuentran las terrazas agrícolas, presas de piedra acomodada, cordones de ramas y barreras de piedra acomodada. Al comparar la erodabilidad (factor K) en los sitios donde se han implementado estas prácticas y sus áreas de control, se demostró que existe una disminución de la erosión. Con base en la eficiencia resultante en cada tipo de práctica se estableció el valor del factor P para ser utilizado en la USLE. Los valores de P se encuentran entre 0.62 y 0.90 (Tabla 34 y Figura 62), indicando que la eficiencia de la práctica es mayor a medida que el valor se acerca a 0 y menor cuando el valor es más cercano a 1. De las obras de conservación evaluadas, las terrazas agrícolas y las barreras de piedra acomodada mostraron mayor eficiencia en la reducción de la pérdida de suelo. Las reforestaciones combinadas con línea de maguey son las menos efectivas en el control de la erosión ya que el valor del factor P fue de 0.90.

Tabla 34. Valores de P utilizados para estimar las pérdidas de suelo en la zona de estudio.

<i>Práctica de conservación</i>	<i>Factor P</i>
Terrazas agrícolas	0.62
Líneas de maguey	0.85
Reforestaciones con pino-cedro a curva de nivel	0.85
Presas de piedra acomodada	0.88
Barreras de piedra acomodada	0.65
Cordones de ramas	0.80
Líneas de maguey y presas de piedra acomodada.	0.68
Reforestación pino-cedro y presas de piedra acomodada.	0.77
Reforestación p-c intercalada con líneas de maguey.	0.90

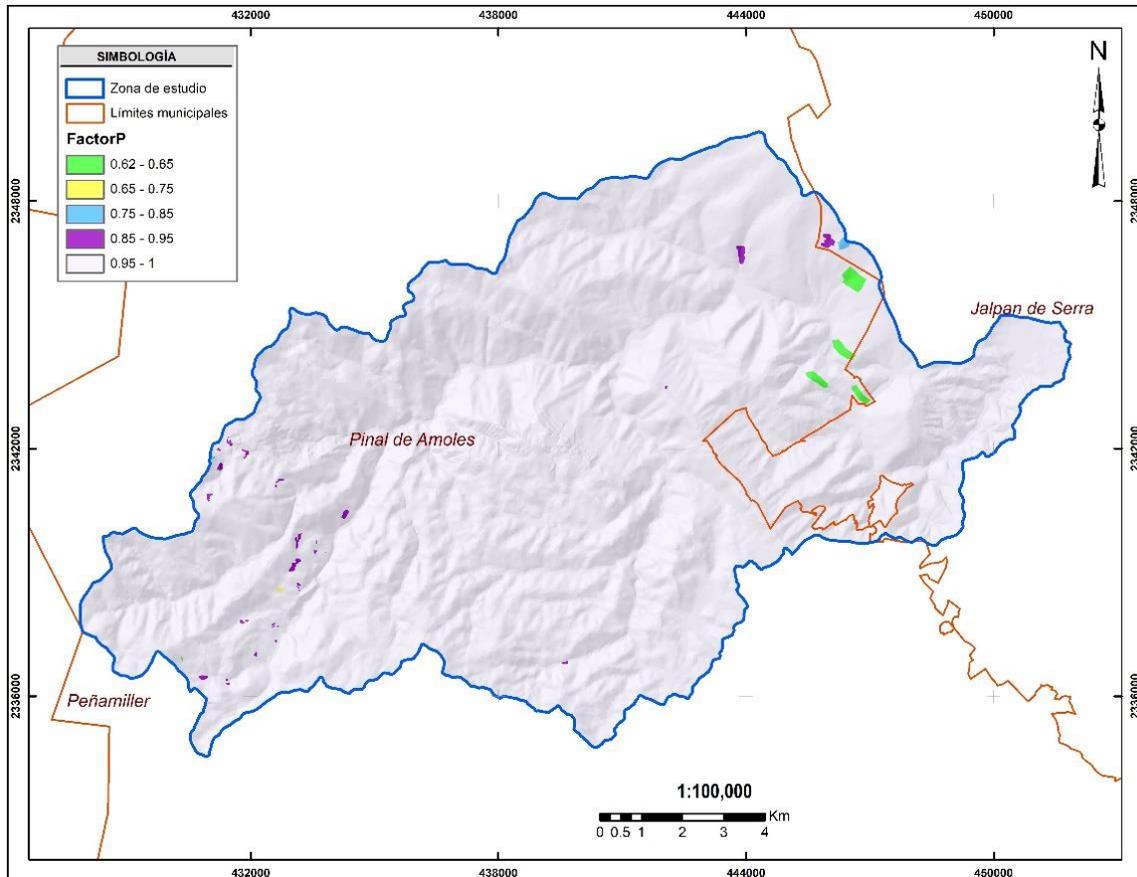


Figura 62. Mapa del factor P en la subcuenca Presa Jalpan.

6.3.6 Erosión potencial y actual en la subcuenca Presa Jalpan

6.3.6.1 Mapa de erosión potencial

El producto de la multiplicación de los mapas de los factores R, K y LS genera un mapa de erosión potencial (Figura 63) que refleja las pérdidas de suelo en ton/ha/año en un escenario donde no hay protección del suelo con cobertura vegetal y no existen prácticas de conservación. En la subcuenca se estima que se puede llegar a perder hasta 2,039,981.521 ton/año de suelo y en promedio 107.552 ton/ha/año. La erosión potencial alta (50 a 200 ton/ha/año) ocupa la mayor superficie de la subcuenca (44.47%), se distribuye sobre la zona funcional media en laderas de montaña. En segundo lugar, se encuentra la erosión potencial moderada (10 a 50 ton/ha/año), la cual ocupa el 38.20 % del área de estudio (7,245.96 ha) y se distribuye principalmente en la zona funcional alta y baja de la subcuenca. La erosión “muy alta” (50 a 200 ton/ha/año) se distribuye en manchones sobre la porción céntrica de la subcuenca, sobre pendientes muy accidentadas, ocupando el 13.75% de su superficie. Finalmente, la erosión nula o ligera ocupa la menor porción de la superficie con 679.51 ha, lo que corresponde al 3.58 % de la superficie (Tabla 35).

Tabla 35. Superficie ocupada por los diferentes grados de erosión dentro de la subcuenca.

Grado de erosión	Pérdida de suelo (T/ha/año)	Superficie dentro de la subcuenca (ha)	Porcentaje de la superficie (%)
Nula o ligera	<10	679.516	3.58
Moderada	10-50	7,245.964	38.20
Alta	50-200	8,434.619	44.47
Muy alta	>200	2,604.648	13.73

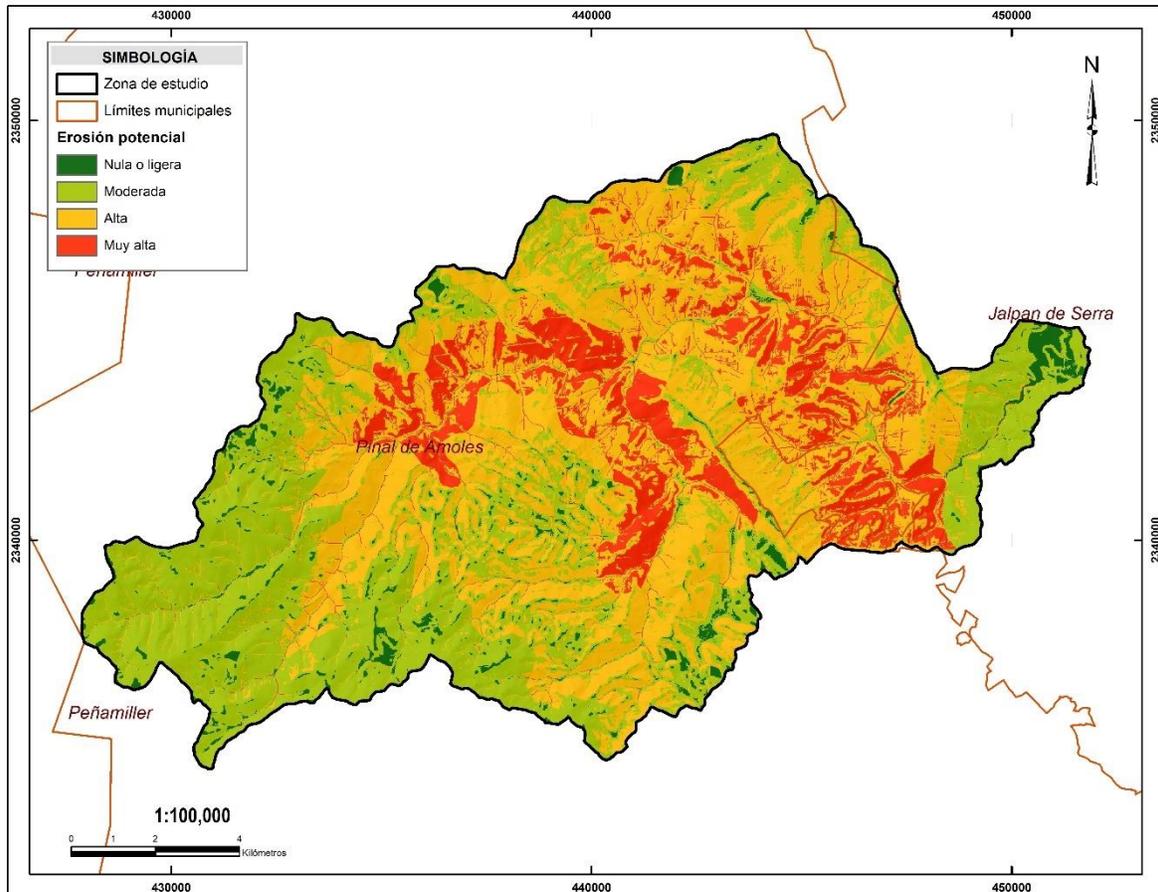


Figura 63. Mapa de erosión potencial en la subcuenca Presa Jalpan.

6.3.6.2 Mapa de erosión actual

El mapa de erosión actual muestra las pérdidas de suelo en la subcuenca presa Jalpan una vez que se integra el efecto de la cobertura vegetal (factor C) y el de las prácticas de conservación (factor P) (Figura 64). Al comparar el mapa de erosión potencial con el de la erosión actual, se notó una disminución de las áreas con categoría alta y muy alta, la categoría moderada se mantuvo similar y la nula o ligera incrementó de superficie.

La erosión nula o ligera en el mapa de erosión actual es la que ocupa el mayor porcentaje de la superficie total de la subcuenca (56.30 %), básicamente se presenta en zonas con mayor cobertura vegetal y menor pendiente del terreno. La erosión moderada se distribuye en el 31.42 % de la subcuenca, abarcando laderas inclinadas, áreas agrícolas y de uso forestal. La erosión alta ocupa el 11.74 % de la superficie, se distribuye principalmente en la zona funcional media y baja de la subcuenca, donde se desarrollan con mayor intensidad la agricultura y el uso

urbano. La categoría de erosión muy alta se distribuye en tan solo el 0.54 % de la superficie de la subcuenca, principalmente sobre los escurrimientos (Tabla 36).

En toda la superficie de la subcuenca se puede llegar a tener pérdidas de suelo por erosión hídrica de hasta 463,313.303 ton/año (24.44 ton/ha/año). Comparando este valor con el que se obtiene en la erosión potencial (2,039,981.521 ton/año) se tiene una diferencia de 1,576,412.65 ton/año, lo cual indica que la presencia de cobertura vegetal y las prácticas de conservación reducen en un 77.28 % las pérdidas anuales de suelo.

Tabla 36. Grados de erosión actual obtenidos para la subcuenca presa Jalpan.

Grado de erosión	Pérdida de suelo (T/ha/año)	Superficie dentro de la subcuenca (ha)	Porcentaje de la superficie (%)
Nula o ligera	<10	10, 669.481	56.30
Moderada	10-50	5954.801	31.42
Alta	50-200	2225.704	11.74
Muy alta	>200	102.175	0.54

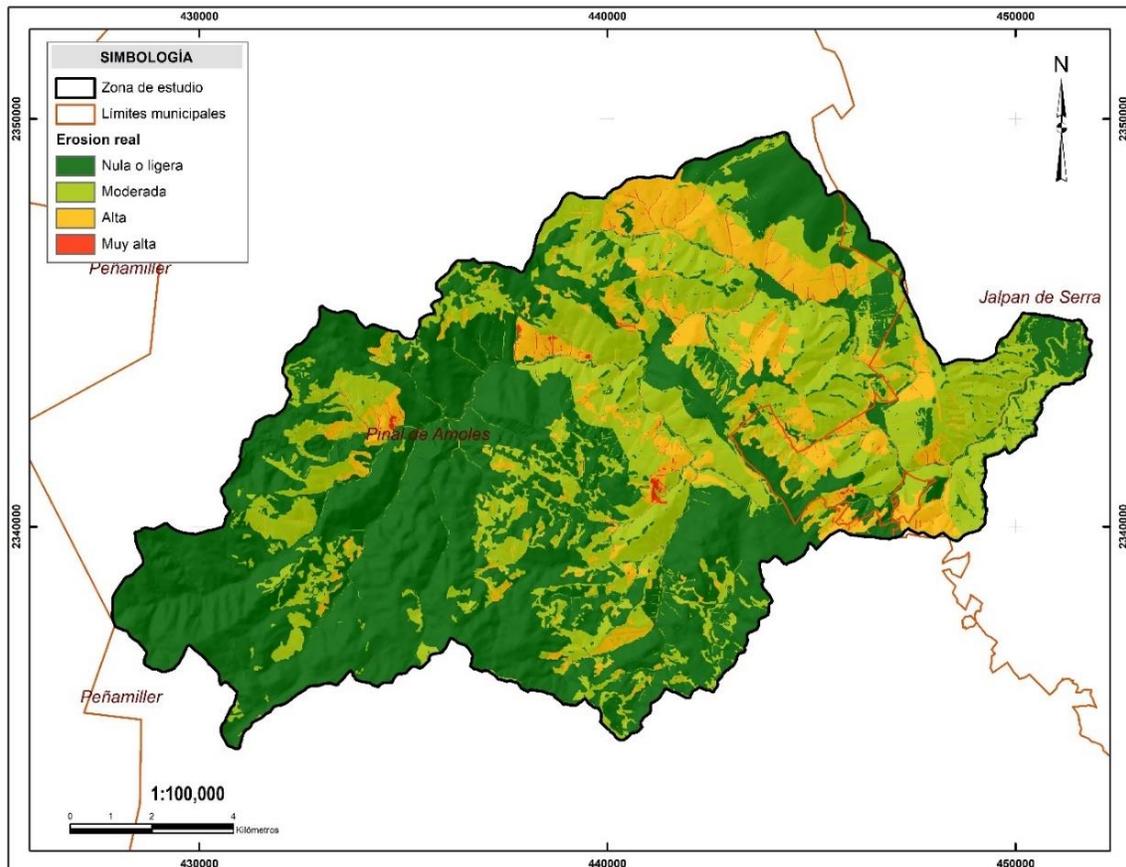


Figura 64. Mapa de erosión actual en la subcuenca presa Jalpan.

La tasa de erosión hídrica promedio para la zona de estudio (24.44 ton/ha/año) es baja comparada con las tasas reportadas para los municipios de Jalpan de Serra y Pinal de Amoles, donde se localiza la subcuenca; en el Programa de Manejo de la Reserva 1999, se reportó para el municipio de Pinal de Amoles una tasa de 65 a 190 ton/ha/año y para Jalpan de Serra 117 a 571 ton/ha/año (SEMARNAP, 1997: INE, 1999). Años después SEDESU (2009) reportó para el municipio de Jalpan de Serra 50 a 200 ton/ha/año y para Pinal de Amoles >200 ton/ha/año.

Así mismo, la tasa de erosión estimada en el presente estudio es inferior al valor reportado por Batalla (2013) para la misma subcuenca de estudio (232 kg/m²). Respecto a la estimación de Batalla, a pesar de haber empleado el mismo modelo de erosión USLE, las diferencias pueden radicar en las técnicas y procedimientos utilizados. Por ejemplo, para este estudio se trabajó el modelo USLE en un sistema de Información Geográfica (Arc GIS v.10. 4), donde cada variable que integra la ecuación se estimó por pixel (15 x 15 m). En cambio, en el estudio de Batalla se estimaron valores promedios de las variables que integran la USLE y se extrapolaron para toda la superficie de la subcuenca, esto puede implicar una sobrestimación.

6.3.6.3 *Erosión evitada con prácticas de conservación*

La erosión actual en la subcuenca ($R*K*LS*C*P$) es de 463,313.303 ton/año, si se omite el efecto de las prácticas de conservación (factor P) las pérdidas de suelo serían de 464,116.445 ton/año, lo cual indica que la cantidad y tipo de prácticas existentes en el área de estudio logran evitar una pérdida de 803. 141 ton de suelo al año o lo que corresponde a una eficiencia del 0.173 %.

A nivel subcuenca el impacto del conjunto de las prácticas de conservación en la reducción de la erosión es poco significativa, comparado con el efecto que tienen en la reducción de la erodabilidad a nivel parcela, tal y como se reportó en el apartado 6.2. Esto es de esperarse ya que a nivel subcuenca, el efecto de las prácticas es directamente proporcional al tipo de prácticas implementadas y a la superficie que abarcan, desafortunadamente en el presente estudio no se pudieron identificar todos los sitios intervenidos, los que fueron inventariados representan apenas el 0.51 % (96. 67 ha) de la superficie de la subcuenca, y aunque pudieran abarcar más, las instancias que las promueven no tienen una base completa y actualizada de las coordenadas de su ubicación. En cambio, para la evaluación del impacto de las prácticas a nivel parcela se comparó la erodabilidad en parcelas pareadas (área con prácticas de conservación y áreas de control) con similar superficie, condiciones topográficas y usos del suelo, por lo tanto, la eficiencia de las prácticas radicó únicamente en la disminución de la erodabilidad basada en las propiedades intrínsecas del suelo como textura, estructura, M. O., y permeabilidad.

6.3.7 Áreas de atención prioritaria

Las áreas prioritarias para el manejo de la erosión corresponden a las áreas con mayor tasa de erosión (categoría muy alta y alta del mapa de erosión actual) (Figura 65), el 81.07 % de ellas se localizan en la zona media, el 17.45 % en la zona baja, y el 1.48 % en la zona alta.

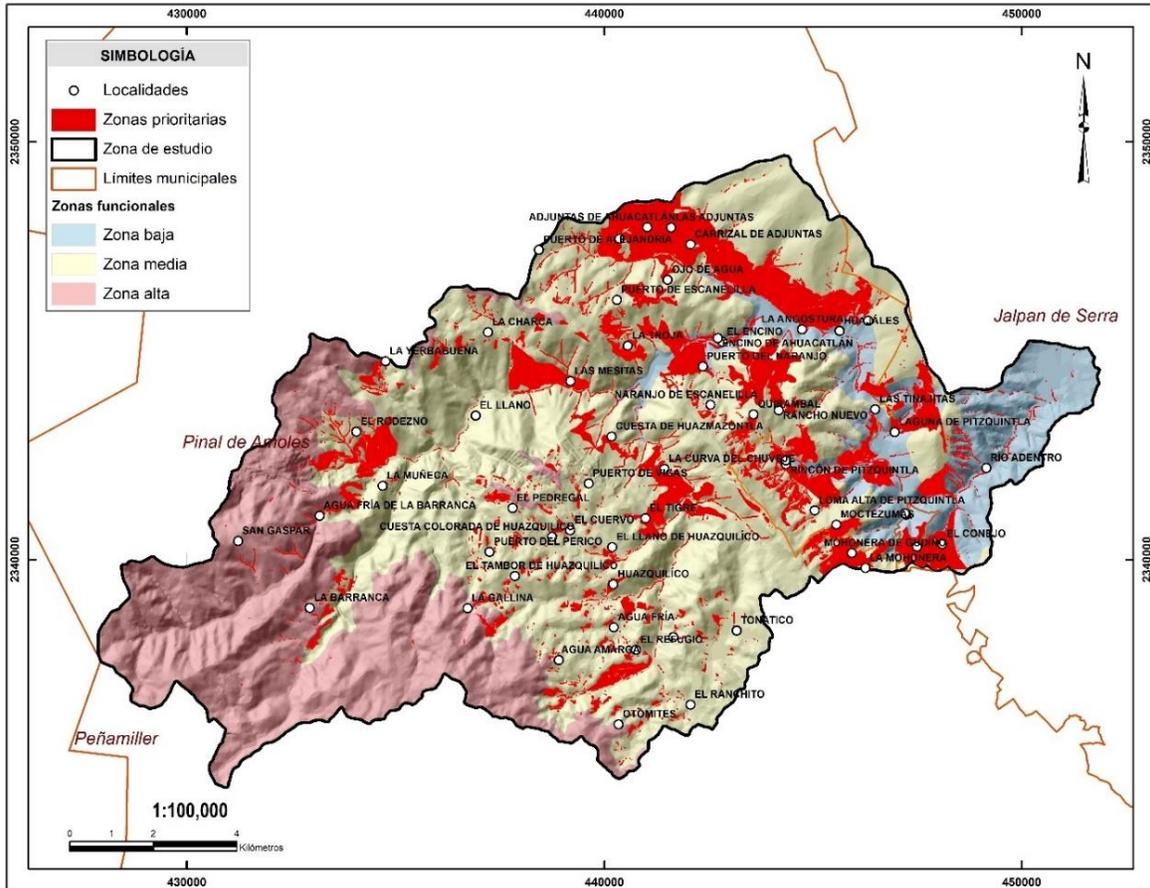


Figura 65. Áreas de atención prioritaria para el manejo de la erosión hídrica por zona funcional de la subcuenca Presa Jalpan.

En total se incluyen 58 localidades dentro de las zonas prioritarias, en la Tabla 37 se enlistan por zona funcional.

Tabla 37. Localidades dentro de las zonas prioritarias para la atención a la erosión hídrica de la subcuenca.

Alta	Media	Baja
Pinal de Amoles: San Gaspar, Agua Fria de la Barranca	Pinal de Amoles: La Barranca, Agua Fria de la Barranca, El Rodezno, La Muñeca, La Yerbabuena, La Charca, Las Mesitas, El Llano, El Pedregal, Cuesta Colorada de Huazquilico, Puerto del Perico, El Tambor de Huazquilico, Huazquilico, El Llano de Huazquilico, La Gallina, Agua Amarga, Otomites, El	Pinal de Amoles La Angostura, Huajáles y Las Tinajitas, El Conejo.

<i>Alta</i>	<i>Media</i>	<i>Baja</i>
Barranca, La Barranca.	Ranchito, El Refugio, Agua Fría, El Cuervo, El Tigre, Puerto de Vigas, Las Mesitas, Tonicico, Naranja de Escanelilla, La Troja, Escanelilla, Puerto de Escanelilla, Ojo de Agua, Puerto de Alejandría, La Joya de Ahuacatlán, Adjuntas de Ahuacatlán, Las Adjuntas, Carrizal de Adjuntas, Puerto del Naranja, El Encino, Encino de Ahuacatlán, Ahuacatlán, Quirambal, Rancho Nuevo, Cuesta de Huazmazontla, Mohonera de Guido, La Mohonera, Loma Alta de Puerto Hondo, La Curva del Chuveje	
	Jalpan de Serra: Rincón de Pitzquintla, Loma Alta de Pitzquintla y Moctezuma.	Jalpan de Serra Manzanillos, Laguna de Pitzquintla y Río Adentro.

Los programas de conservación de suelo deben dar prioridad a estas localidades, considerando también a las localidades que ya han sido beneficiadas en años anteriores, las cuales requieren apoyos para el mantenimiento de las prácticas implementadas en sus predios.

En las áreas prioritarias domina la agricultura de temporal, caracterizada por ser de autoconsumo y tener bajos rendimientos, debido a que se desarrolla en laderas pronunciadas sobre suelos someros y pobres en nutrientes. A pesar de que las condiciones no son favorables para el desarrollo de la agricultura, los habitantes mantienen la actividad por el fuerte arraigo de sus usos y costumbres. Esto implica la continuación de prácticas de manejo como el barbecho y rastreo con consecuencias en el deterioro del suelo, además los productores tienen la costumbre de introducir sus animales después de que se levanta la cosecha, ocasionando compactación del suelo y dejando la superficie desprovista de vegetación y propensa a los agentes erosivos.

En este contexto, las estrategias de mitigación de los procesos erosivos tienen que dirigirse más hacia la aplicación de una agricultura sustentable o de conservación, la cual incluya acciones como la aplicación de abonos orgánicos, la siembra directa, el mínimo laboreo y el establecimiento de cultivos anuales entre hileras de árboles forestales o frutales. Con estas técnicas se favorece la estructura del suelo (formación natural de los agregados del suelo), el contenido de materia orgánica, a la vez que se disminuye la compactación del suelo y se incrementa la infiltración con efectos positivos en la fertilidad (Loredo, 2005).

Para aprovechar al máximo el terreno y evitar que quede desnudo (propenso a los agentes erosivos) se puede favorecer el crecimiento de dos o más cultivos sobre el mismo terreno, pudiendo ser uno consecutivo después de cosechar el otro, y mantener al menos el 30 % de la superficie del suelo cubierta con residuos después de la siembra.

En las áreas de uso pecuario se recomienda el uso de sistemas agrosilvopastoriles (árboles con cultivos y ganadería), sistemas silvopastoriles (árboles asociados con ganadería) sistemas agropastoriles (cultivos combinados con ganadería). Así también se recomienda la rotación de potreros para favorecer la recuperabilidad de pastos o vegetación por lotes y mantener siempre una cobertura del suelo, lo cual es favorable para reducir el flujo de erosión.

Las terrazas agrícolas y barreras de piedra acomodada que se han aplicado en la zona de estudio pueden seguir realizándose ya que se demostró que pueden reducir la erodabilidad del suelo en áreas agrícolas con erosión laminar, sin embargo, para obtener mayores resultados se tienen que construir correctamente (siguiendo los manuales disponibles y asesoría técnica por expertos en la materia), preferentemente sobre terrenos con presencia de rocas evitando así la adquisición de material de fuentes externas. También se debe cumplir con el mantenimiento periódico para reponer las piedras en lugares donde falten o donde hayan quedado espacios grandes entre las rocas.

En zonas con presencia de cárcavas es factible la implementación de presas de piedra acomodada y mampostería, las cuales ayudan a reducir la velocidad de la corriente, retener azolves, y, por lo tanto, disminuir la profundidad de la cárcava. También se pueden construir otros tipos de presas como las presas de gavión, de geocostales, de malla de alambre, de ramas, de morillos, entre otras. Las dimensiones de estas obras deben considerar las características del suelo, la pendiente y el volumen del escurrimiento superficial, para asegurar su funcionalidad y estabilidad. Su características, función y requerimientos se pueden consultar en el Manual de Obras de Conservación de Suelo de la CONAFOR (2007) y el estudio de Barrientos (2013), quién hace una compilación de prácticas aplicables a la región semiárida. Estas acciones además deben ir acompañadas de otras prácticas vegetativas como el establecimiento de especies forestales o pastos en los terraplenes que se vayan formando con la acumulación de sedimentos.

Las reforestaciones y líneas de maguey mostraron bajos resultados de eficiencia dentro de la zona de estudio, debido a que no fueron llevadas a cabo correctamente, sin embargo, no deben descartarse en futuras actuaciones. Se recomienda que éstas se realicen durante las primeras lluvias para asegurar su establecimiento, y posteriormente continuar con los cuidados o mantenimiento de la planta mediante el manejo de arvenses, replante y formación de cajeteo para un mayor

almacenamiento de humedad. También se deberá monitorear la sanidad de la planta y brindar protección mediante un cercado para evitar el daño por el ganado. Es importante que los ejecutores de los programas tengan claro que las reforestaciones no culminan con el establecimiento de la planta, es necesario su mantenimiento periódico para asegurar que lleguen a un estado maduro. Adicionalmente las reforestaciones pueden combinarse con prácticas estructurales que capturen suficiente agua, como zanjas trincheras y terrazas individuales.

En áreas agrícolas y pecuarias abandonadas y en los claros que se encuentran al interior de la vegetación forestal, pueden implementarse prácticas de conservación que aceleren el proceso de restauración, como reforestaciones y la incorporación de sistemas agroforestales donde se asocian diversos cultivos y ganado a las masas forestales. Con estas prácticas no solo se generarán servicios ecosistémicos asociados a la conservación del suelo, sino que se brindará una opción productiva y rentable en un corto plazo para el dueño del terreno.

De acuerdo con Venegas (2016) y otros autores, el proceso de restauración y/o conservación en una cuenca hidrográfica debe iniciar en las partes altas, por el hecho de que, si no se consigue mitigar los procesos de erosión, sus consecuencias como el desplazamiento de suelo pueden afectar las prácticas de conservación realizadas en la parte media y baja de la cuenca. En el caso de la subcuenca Presa Jalpan, los trabajos de conservación se han enfocado en las partes altas, sin embargo, aún restan muchas zonas con alto riesgo de erosión (zonas prioritarias) que no han sido atendidas. Las futuras actuaciones deben abarcar la totalidad de las zonas prioritarias de la zona alta para posteriormente continuar con acciones en la parte media de la subcuenca, donde se concentra la mayor superficie afectada por erosión hídrica. Finalmente se debe concluir el trabajo de conservación en la zona baja donde se requiere estructuras mejor planificadas para la retención de azolves y evitar su llegada al embalse.

Así mismo, los programas de conservación que se han implementado en la subcuenca por las dependencias federales y organizaciones civiles deben reconfigurarse para que tengan mejores resultados en la mitigación de la erosión y aporte de sedimentos al embalse, las mejoras se recomiendan en los siguientes aspectos (Tabla 38).

Tabla 38. Propuesta de acciones para mejorar los programas de conservación de suelos implementados en la Subcuenca presa Jalpan.

Aspectos	Recomendación
Planeación y coordinación	-Planificar las acciones de conservación a nivel subcuenca y la intervención a nivel parcela, considerando las condiciones del terreno y necesidades del propietario.

Aspectos	Recomendación
	<p>-Es necesario considerar que las áreas más afectadas por la erosión son las zonas agrícolas, por lo que los programas deben estar encaminados hacia una agricultura sostenible, implementar sistemas agroforestales y de ser el caso la reconversión productiva (área agrícola a forestal).</p> <p>-Retomar las prácticas que han funcionado en la subcuenca, mejorarlas y sustituir las que hayan tenido un impacto nulo en la conservación del suelo.</p> <p>-Considerar prácticas de conservación con mayores beneficios económicos y ambientales para los dueños de los terrenos.</p> <p>-Fomentar la realización de prácticas de conservación del suelo que además de mitigar los procesos erosivos favorezcan la infiltración del agua, ya que es una de las necesidades de las localidades de la región.</p> <p>-Coordinar la participación de las dependencias y organizaciones civiles en la formulación de programas de conservación de suelo, mediante la programación mensual de reuniones, incluyendo la población beneficiada.</p>
Criterios de elegibilidad	<p>-Disminuir la complejidad de los trámites burocráticos para la solicitud de apoyos.</p> <p>-Requisitos menos estrictos para la participación en los programas</p> <p>-Desarrollar instrumentos (folletos y manuales) que ayuden a las localidades y comunidades a comprender de una forma clara y sencilla la forma en que operan los programas, a fin de que puedan tener una participación más activa en el ingreso de la solicitud y selección de los tipos de apoyos.</p> <p>-Dirigir los recursos de los programas de conservación de suelos a las áreas prioritarias delimitadas en el presente estudio las cuales presentan las tasas más elevadas de erosión.</p> <p>-Mejorar la asignación de apoyos evitando el acaparamiento por ejidos, comunidades y/o pequeños propietarios.</p> <p>-La asignación de recursos económicos deberán de estar en función de la gravedad de erosión que se pretende mitigar en los predios y de las condiciones socioeconómicas de los beneficiados.</p>
Seguimiento y Monitoreo	<p>-Realizar monitoreos semestrales para verificar la ejecución de las prácticas implementadas y el programa de mantenimiento respectivo. Contemplando indicadores de evaluación del proceso de implementación e indicadores de resultados.</p>
Evaluación en la reducción de la erosión hídrica y sedimentación	<p>-Realizar evaluaciones anuales de la eficiencia de las prácticas de conservación, a través de parcelas de monitoreo y trampas de sedimentos.</p>
Retroalimentación	<p>-Con base en las evaluaciones detectar las prácticas que no han tenido un efecto positivo en la conservación del suelo o que son de poca aceptación por los beneficiados, de tal forma que se puedan sustituir en los futuros programas. Del mismo modo deben retomarse aquellas con resultados favorables.</p>
Apropiación y pertinencia	<p>-Capacitar a los beneficiados en la ejecución de prácticas de conservación.</p> <p>-Realizar talleres para el fortalecimiento de capacidades.</p>

6.4 Entrega de sedimentos en la subcuenca Presa Jalpan

En la subcuenca presa Jalpan se estimó la erosión actual en 463,313.304 ton/año (Con la USLE), lo que equivale a 308,875.54 m³ de suelos, considerando una densidad aparente de 1.5 (ton/m³), valor recomendado por el departamento de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos (1999) para suelos franco arcillosos, los cuales dominan en la subcuenca (Tabla 39).

Tabla 39. Densidad aparente por tipo de textura del suelo.

Clases texturales	(Ton/m ³)
Arena (Sands)	1.70-1.80
Arena gruesa (Coarse sand)	1.60-1.70
Arena y arena fina (Sand and Fine Sand)	1.55-1.65
Arena muy fina (Very fine sand)	
Arena franca (Loamy sands)	1.60-1.70
Arena franca gruesa (Loamy coarse sand)	1.55-1.65
Arena franca, Arena franca fina (Loamy sand, Loamy fine sand)	1.55-1.60
Arena franca muy fina (Loamy very fine sand)	
Franco arenosa (Sandy loams)	1.55-1.60
Franco arenosa gruesa (Coarse sandy loam) Franco arenosa y Franco arenosa fina (Sandy loam Fine sandy loam)	1.50-1.60
Franco arenosa muy fina (Very fine sandy loam)	1.45-1.55
Franca y franco limosa (Loam and Silty loam)	1.45-1.55
Limo (Silt)	1.40-1.50
Franco arcillosa (Clay loam)	1.40-1.50
Franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa (Sandy clay loam Silty clay loam)	1.45-1.55
Arcilla arenosa (Sandy clay)	1.35-1.45
Arcilla limosa (Silty clay)	1.40-1.50
Arcilla (Clay 35-50%)	1.35-1.45
(Clay 50-65%)	1.25-1.35

Fuente: USDA (1999)

No todo este volumen de suelo será perdido, gran parte será depositado o atrapado al interior de la subcuenca (Becerra, 2005). Para estimar la cantidad de sedimentos que salen de la subcuenca después de su recorrido por la superficie y cauces de la misma (aporte de sedimentos), se multiplicó los 308,875.54 m³ de suelo erosionado calculado con la USLE por el coeficiente de entrega de sedimentos CES = 0.1499 determinado mediante la metodología de Avendaño *et al.*, 1994:

$$AS=TE*CES$$

Donde:

AS=Aporte de sedimentos

TE=Volumen de sedimentos erosionados (Estimada con la USLE)

CES=Coeficiente de entrega de sedimentos

$$CES = 36A^{-0.2} + \frac{2}{\log P} + \log BR$$

Donde:

CES: % del total de material movilizado en la cuenca que sale de la misma;

A = superficie de la cuenca en km²;

P = pendiente del curso principal expresada en tanto por uno;

BR = coeficiente de bifurcación de la red hidrográfica.

Aplicando los valores del área de estudio se tiene que:

$$CES = 36 * 189.676^{-0.2} + \frac{2}{\log 0.835} + \log 3.37$$

$$CES=14.99\%$$

$$AS= 308, 875.54 \text{ m}^3 * 0.1499$$

$$AS= 46,306.42 \text{ ton/ año}$$

De acuerdo con lo anterior, la subcuenca presa Jalpan tiene un aporte de sedimentos de 46,306.42 m³ anuales (degradación específica). Este volumen puede considerarse como el máximo que puede ser aportado a la presa Jalpan debido a que es el punto de salida de la subcuenca. Sin embargo, los estudios batimétricos realizados en 2010 por la empresa Diseño y Urbanística, S. A. de C. V. a petición de la CEA, indican que en la presa Jalpan se sedimentan 24,688.92 m³ anuales por arriba de la elevación prevista para azolves. Esto significa que del total de material aportado por la subcuenca a la presa Jalpan, cerca del 53.32 % se queda sedimentado en el embalse, probablemente el resto (material más fino) se escapa por el vertedero o por las salidas hacia los canales de riego.

El estudio realizado por Batalla (2013) en la misma subcuenca, estimo un aporte de sedimentos a la salida de la subcuenca de 29, 260 m³ al año (Obtenida por USLE y un CES de 40.95 %). Lo cual significa un incremento de 17,046.42 m³ (58.26 %) en

relación al presente estudio. Esta diferencia puede explicarse con el factor tiempo, en 9 años los factores más dinámicos que influyen en el proceso erosivo como la lluvia y la cobertura vegetal se han transformado sustancialmente en la Sierra Gorda; las lluvias se han vuelto más intensas y concentradas en periodos más cortos, a su vez que la zona boscosa se ha reducido por la expansión de las actividades humanas; tan sólo en el periodo de 2000 a 2010 en la RBSG hubo una pérdida de 2,775 hectáreas de suelo forestal para favorecer a los pastizales y áreas agrícolas (Ríos, 2015). En el supuesto de un incremento similar de pérdida de suelo para el periodo 2010 a la fecha, las cifras de sedimentación estimadas en el presente estudio cobran sentido, ya que los procesos erosivos son más intensos a medida que disminuye la cobertura vegetal.

Sin embargo, la diferencia también puede deberse a las técnicas y procedimientos utilizados para estimar la erosión, ya que a pesar de emplear la USLE en ambos casos, en el estudio de Batalla se obtuvieron valores promedios de las variables y después se extrapolaron a toda la superficie de la cuenca. En cambio, en este estudio, se utilizó como herramienta los SIG para determinar los valores que integran la USLE para cada pixel de la superficie de la subcuenca.

En todos los casos para evitar incertidumbre sobre los resultados en el aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan, es necesario realizar evaluaciones frecuentes, con la finalidad de determinar el valor real de material que se puede acumular al año, ya que de ello depende el cálculo de su

vida útil y la propuesta de medidas oportunas para prolongar su uso.

6.4.1 Consideraciones finales del apartado

La presa Jalpan fue diseñada con una vida útil de 50 años (1975), al momento en que se realizó el estudio batimétrico en 2010, la vida útil se redujo a 37.7 años. Considerando que en el presente estudio se estimó un incremento en el aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan del 58.26 % en relación con el estudio de Batalla (2013), se puede inferir que la vida útil estimada en 37.7 años para el embalse pudo disminuir sustancialmente. A esta situación se le suma el hecho de que el 20% de las prácticas de conservación de suelos (estructurales) verificadas en campo se encontraron llenas de azolve, y el resto a un 50% de su capacidad, por lo tanto, no hay obstáculos que limiten el transporte de sedimentos hasta la presa Jalpan.

Sin embargo, es necesario realizar otro estudio batimétrico para actualizar los datos de azolvamiento, acompañado de mediciones directas de sedimentación a la entrada y salida del embalse, a fin de generar pronósticos más certeros de la vida útil del proyecto los cuales orienten el diseño de medidas para evitar su rápida colmatación. Así mismo son oportunos los estudios sobre la estructura y composición de los sedimentos atrapados en el embalse ya que la mayoría de ellos

tienen la capacidad de retener contaminantes y nutrientes los cuales pueden desencadenar procesos de eutrofización.

La acelerada acumulación de sedimentos sobre el embalse desencadena un sin número de consecuencias ambientales, económicas y sociales que se extienden más allá de los límites de la subcuenca aportadora. La más visible es la reducción de la disponibilidad del agua útil para uso doméstico, agrícola y pecuario. El sector agropecuario es el más afectado, ya que 5 millones de m³ de los 6.5 millones m³ que le restan de almacenamiento a la presa Jalpan están concesionados a la unidad de riego Jalpan (Ruiz, 2022) y sólo 714, 816. 00 m³ están concesionados para uso urbano. Entre otras adversidades que ha traído la acumulación de sedimentos en el embalse está la proliferación de peces exóticas como la tilapia y lobina, así como de almejas y caracoles invasores que prefieren zonas con sedimentos finos y resisten más a la contaminación que las especies nativas (Duran, 2018).

En el peor de los casos, la colmatación anticipada de la Presa Jalpan traería consigo la pérdida de un humedal de importancia internacional, y con ello el hábitat de mamíferos, peces y aves acuáticas que utilizan la presa Jalpan como sitio de refugio, alimentación y reproducción. Así también se estiman cuantiosas pérdidas económicas y de fuentes de empleo para el sector de población dedicado al turismo, pesca y comercio.

Ante este pronóstico es urgente llevar a cabo un control y seguimiento de la evolución de los sedimentos en el embalse, esto podría realizarse en periodos de 5 años, durante la época de sequía y después de crecidas extraordinarias que es cuando hay aportaciones significativas de sedimentos. Los resultados de estos controles servirían para alimentar modelos predictivos con resultados más precisos sobre el grado y tasa de colmatación de la presa, a fin de adoptar medidas más adecuadas para controlar los sedimentos aguas arriba.

La forma más viable de mantener la vida útil del embalse es mediante el control de los sedimentos generados a partir de procesos erosivos en la subcuenca aportadora. Una de las estrategias planteadas en el presente estudio es el manejo de erosión en las zonas prioritarias (zonas con categoría alta y muy alta de erosión), principalmente sobre las áreas agrícolas en pendientes no aptas para ese uso. Ya que el dragado y retiro completo de azolves del embalse representa una inversión elevada y afecta la vida acuática (peces, flora y otros organismos) que a través de los años han formado una red trófica bastante desarrollada.

De esta forma se proponen estrategias para mitigar la sedimentación de la Presa Jalpan:

1. Elaborar un Plan de Manejo de la erosión a nivel subcuenca, donde se establezcan los lineamientos para el diseño, ejecución, monitoreo y evaluación de las estrategias de conservación de suelo adecuadas para la subcuenca.

2. Creación de un Comité de Gestión de la Subcuenca, constituida por pobladores de la parte alta, media y baja, representantes de organizaciones civiles, representantes de los municipios y dependencias federales, a través de la cual se facilite la coordinación para dar solución a los problemas de erosión y sedimentación, y en general la aplicación de acciones para el desarrollo integral del territorio. Dicho comité tendrá la facultad de tomar decisiones respecto al manejo y uso del territorio de la subcuenca, en la elaboración y aplicación de acciones de conservación de suelos, sin que se contravengan con el Programa de Manejo de la Reserva y planes de ordenamiento ecológicos aplicables al territorio.
3. Consolidar fuentes de financiamiento tanto de instituciones bancarias como de programas de gobierno de carácter federal, estatal o municipal, así como de asociaciones civiles, fundaciones y organismos internacionales. El fondo recaudado será operado por el comité de la subcuenca para realizar trabajos de conservación de suelos y mantenimiento de la presa Jalpan.
4. Organizar y coordinar conversatorios en el que participen especialistas sobre temas ambientales, actores de las diferentes dependencias del gobierno, y población en general que se beneficia de manera directa o indirecta del embalse, a fin de crear conciencia para su conservación.
5. Fortalecer la cooperación entre municipios y la participación de otras dependencias federales en la conservación de suelos. Hasta el momento la CONAFOR y CONANP a través de la Dirección de la RBSG son las dos instituciones que mantienen programas de conservación vigentes, es necesario que la SADER, SEDEA y la CEA tengan una mayor intervención en el área. Se considera que estas instituciones pueden mejorar su participación y apoyar en los siguientes aspectos (Tabla 40):

Tabla 40. Formas en las que pueden aportar las dependencias gubernamentales, organizaciones y población en general a la conservación del suelo al interior de la subcuenca Presa Jalpan.

Institución	Aporte
CEA	-Elaboración de estudios batimétricos cada 5 años. -Monitoreo de la vida útil del embalse.
CONAGUA	-Dar mantenimiento a la estructura del embalse. -Destinar parte del presupuesto a obras hidráulicas aguas arriba del embalse que retengan los sedimentos antes de la llegada al embalse. -Regular concesiones de aguas, distribución justa y eficiente.
SEDEA	-Apoyar con obras de conservación de suelo en predios degradados. -Capacitación a productores agrícolas en la realización de obras de conservación de suelos. -Fomento y apoyo de prácticas agrícolas más sustentables -Apoyar en el mantenimiento de los canales de riego por donde se está desperdiciando agua. -Regular la distribución del agua en los canales de riego
SADER	-Retomar el programa de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua en áreas agrícolas de la reserva, beneficiando a pobladores de la subcuenca con fuertes problemas de erosión en sus predios. -Compensar la reconversión productiva en áreas no aptas para la agricultura y pastoreo de ganado y en terrenos preferentemente forestales.
Municipios	-Mejorar los criterios para otorgar las licencias de construcción y la compensación ambiental por remoción de vegetación. -Creación de un fondo intermunicipal (Pinal-Jalpan) destinado a la conservación de suelos y conservación del embalse.

Institución	Aporte
SEMARNAT	-Condicionar las autorizaciones de proyectos y/o actividades en materia de impacto ambiental y cambio de uso de suelo en terrenos forestales, a compensar de forma obligada con mejores prácticas de conservación de suelo y agua.
CONAFOR	-Brindar capacitación a los beneficiados en sus programas -Compensar las prácticas de reconversión productiva (agrícola, pecuaria a uso forestal). -Focalizar las obras de conservación de suelo en áreas con mayor tasa de erosión (áreas prioritarias).
CONANP	-Brindar capacitación a los beneficiados en sus programas. -Desarrollar un programa de monitoreo y vigilancia de las prácticas implementadas.
Asociaciones civiles, fundaciones organismos internacionales	-Apoyar con obras de conservación de suelos en áreas agrícolas y forestales. -Aportar recursos económicos al fondo para la conservación de suelos en la subcuenca, operados por el Comité de Gestión de la Subcuenca presa Jalpan.
Instituciones educativas	-Estudios de procesos erosivos y sedimentación. -Otorgar asesoría para el desarrollo de mejores estrategias de conservación de suelos. -Formular y coordinar programas de educación ambiental.
Población en general	-Aportar recursos económicos al fondo para la conservación de suelos en la subcuenca, sobre todo aquellos que se benefician de forma directa del agua almacenada. -Participar en monitoreos de sedimentos que se transportan en el cauce principal. -Participar en forma de <i>tequios</i> a la realización de prácticas de conservación de suelos dentro de la subcuenca.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

Una vez analizados los resultados, se presenta una breve conclusión y recomendación, vinculadas a los objetivos particulares planteados en el proyecto.

Objetivo 1. Analizar las prácticas de conservación de suelo en la zona de estudio.

Inicialmente se propuso hacer el análisis de la totalidad de las prácticas de conservación de suelos existentes al interior de la subcuenca Presa Jalpan, por lo menos las realizadas en los últimos 10 años. Sin embargo, las instituciones y organizaciones que las implementaron no se han dado a la tarea de georreferenciar correctamente las áreas beneficiadas e incorporarlas en una base de datos con toda la información necesaria para darles un seguimiento y facilitar su localización en campo. Ante esta situación solo se presentó un análisis de las prácticas de conservación localizadas en 40 polígonos dentro de la subcuenca, los cuales representan el 0.51 % de su superficie. Se trata principalmente de prácticas estructurales y vegetativas como presas de piedra acomodada, barreras de piedra a curvas de nivel, cordones de ramas, terrazas agrícolas, reforestaciones de pino-cedro y líneas de maguey. Se encontró que el 30 % de las prácticas estructurales verificadas en campo requieren mantenimiento y el 20 % ya no están funcionando, mientras que las prácticas vegetativas fueron las que se encontraron en peor estado (planta muerta, abandonada y dañada por el ganado). Los resultados del estado actual de las prácticas de conservación en la subcuenca, es un claro ejemplo de lo que podría estar sucediendo en todo el país con la implementación de los programas de conservación de suelo, es por ello que necesitan ser reestructurados. Las principales causas del fracaso de los programas radican en la falta de seguimiento que se les da a las prácticas, que a su vez está relacionado con el bajo presupuesto con el que operan las dependencias, los cambios administrativos, las necesidades e intereses de los beneficiados y la falta de mecanismos para que la población logre apropiarse de ellas. Cabe señalar que el presente análisis se derivó de la información proporcionada por los promotores de las prácticas (dependencias federales y organización civil) y de verificaciones en campo, poco se pudo interactuar con los dueños del terreno ya que el estudio no tenía un corte social y se disponía de poco tiempo para concluirlo, por lo que en futuras investigaciones sería importante incluir la perspectiva de los beneficiados, especialmente encontrar las razones por las cuales no logran apropiarse de las prácticas.

Objetivo 2. Determinación del efecto de las prácticas de conservación de suelo en la erodabilidad del suelo.

Las evaluaciones de erodabilidad (factor K) realizadas en sitios con prácticas de conservación y sus respectivas áreas de control demuestran que a pesar del mal estado en el que se encuentra, la mayoría tienen un impacto benéfico en el suelo, es decir, reducen la erodabilidad en un rango del 5% al 99%. Ya que el grado de eficiencia está relacionada directamente con el estado actual en el que se encuentran, es importante realizar su mantenimiento y seguimiento frecuente para incrementar su eficiencia. En el caso de las reforestaciones con pino- cedro, se detectó alta mortandad de la planta por lo que la reducción de la erodabilidad fue mínima, comprobando que está práctica no tiene un impacto significativo en la conservación del suelo cuando se implementa de forma incorrecta. A pesar de que las prácticas estructurales resultaron con mayor grado de eficiencia deben combinarse con prácticas vegetativas y agrícolas, ya que por sí solas no logran prevenir el desprendimiento de partículas de suelo ni propician la regeneración vegetal. En adelante, las prácticas que se propongan en la subcuenca deben considerar las características del terreno y los grados de degradación existentes en el predio, además de la necesidades y posibilidades del dueño.

Objetivo 3. Estimar la erosión hídrica en la zona de estudio e identificar áreas prioritarias para su manejo.

En términos generales, los resultados de erosión en la subcuenca presa Jalpan publicados en años anteriores, como lo es el de Batalla (2013), distan mucho de los expuestos en este trabajo, valdría la pena que futuras investigaciones pudieran hacer evaluaciones utilizando otra metodología para estandarizar los resultados y marcar una tendencia predictora. Pero también debe considerarse que son casi 10 años en los que no se habían hecho estudios de este tipo, y que los factores vegetación y precipitación han sido más dinámicos en los últimos años debido a los procesos globales que estamos enfrentando como el cambio climático y la deforestación.

Así también, la metodología planteada para la estimación de la erosión en la subcuenca (USLE y SIG) incorpora el factor P (prácticas de conservación de suelos) que muchas veces es omitido en estudios de esta índole. En este caso particular se intentó realizar un inventario completo de las prácticas de conservación en la subcuenca, sin embargo, no se logró conseguir información suficiente para su georreferenciación, por lo que se consideraron únicamente los polígonos proporcionados por las instancias, además de que la superficie de la zona de estudio es muy grande y se requiere de una gran inversión económica y de tiempo para un inventario completo. Dada estas condiciones el factor P (prácticas de conservación de suelo) no marcó una diferencia significativa en la estimación de la

tasa de erosión actual, seguramente para superficies pequeñas y con un amplio conocimiento de las prácticas de conservación, la incorporación de este factor pueda señalar su importancia en la reducción de la erosión hídrica.

No obstante, el modelo USLE permitió generar una línea base para demarcar las áreas más afectadas por erosión hídrica dentro de la subcuenca presa Jalpan (áreas de atención prioritaria) sobre las cuales las dependencias y organizaciones tienen que dirigir los recursos en materia de conservación de suelos. Ya que hasta el día de hoy se han aplicado sin estudios previos ni criterios objetivos, lo cual se ha reflejado en el incremento de la pérdida de suelo y otros problemas relacionados (sedimentación del embalse, pérdida de productividad y disminución de la infiltración del agua). Por lo que se recomienda que las instituciones promotoras de los programas de conservación de suelos en conjunto con los dueños del terreno, instancias educativas y sociedad en general unan esfuerzos y generen un plan de acciones que ofrezcan mejores resultados en términos ambientales y sociales. Así también es indispensable que en futuros trabajos se les pueda dar seguimiento a dichas áreas para percibir incrementos o decrementos en la superficie que abarcan y reevaluar las prácticas implementadas.

Objetivo 4. Determinación del aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan.

Con el presente estudio se estimó un aporte de sedimentos a la presa Jalpan de 46,306.42 m³ anuales, aproximadamente el 53.32 % de este volumen (24,688.92 m³) se está quedando retenido en la presa afectando su capacidad de almacenamiento. Considerando que en el presente estudio se estimó un incremento en el aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan del 58.26 % en relación con el estudio de Batalla (2013), se puede deducir que la vida útil estimada en 37.7 años por la CEA (2010) pudo disminuir sustancialmente, incluso más considerando que el 20 % de las prácticas de conservación de suelo instaladas en la subcuenca aportadora se encontraron sin funcionamiento (llenas de azolve), y el resto a un 50% de su capacidad. Sin embargo, se tienen que comparar el aporte de sedimentos del presente estudio, con un estudio batimétrico actual para obtener una cifra más precisa del volumen neto retenido por la presa. Y porque no, utilizar otras metodologías como mediciones directas de sedimentos a la entrada y salida del embalse.

Ante este escenario desalentador es preciso actuar urgentemente; implementar un plan de control y vigilancia de los sedimentos que se acumulan en la presa Jalpan, lo cual permita mantener su vida útil. En el presente estudio se han sugerido estrategias generales que lejos de recomendar las acciones convencionales de dragado, se enfocan más hacia el manejo de las zonas con alta erosión dentro de la subcuenca, así como la formación de un comité de gestión de la subcuenca constituido por pobladores de la diferentes zonas funcionales, representantes de los

municipios y dependencias federales, organizaciones civiles e instituciones educativas para realizar acciones conjuntas en beneficio de la subcuenca y embalse. Toda vez que la colmatación anticipada de la Presa Jalpan desencadenaría un sin número de consecuencias ambientales, económicas y sociales con un impacto más allá de los límites de la subcuenca aportadora, debido a que es un humedal de importancia internacional, y el sector agropecuario, turístico y comercial dependen directamente de su capacidad de almacenamiento.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alatorre, L. C., y Beguería, S. (2009). Los modelos de erosión: una revisión. *Revista C & G.*, 23 (1-2), 29-48. <http://www.monfragueresiliente.com/>.
- Alonso, G. R., Ruiz, M. E., Schietecatte, W., Día, J., y Almoza, Y. (2007). Riesgo de Erosión Hídrica en la Cuenca Hidrográfica La Güira, Río Cuyaguatete, Cuba. *Zonas Áridas*, 11(1), 110-123.
- Albaladejo, J., Ortiz, R., y Martínez-Mena, M. (1988). Evaluation and mapping of erosion risks. An example for S.E. Spain. *Soil Technology.* 1 (1), 77-87. [https://doi.org/10.1016/S0933-3630\(88\)80007-2](https://doi.org/10.1016/S0933-3630(88)80007-2)
- Andrade, E., Espinosa, M., Belmonte, F., Rivera, P., y Gomaríz, F. (2017). *Evaluación, protección y conservación de suelos agropecuarios en el norte de Tamaulipas (México)* (1a Ed.). Murcia: Ediciones de la Universidad de Murcia.
- Antonio, R., y Perles, M. (2015). Erosión hídrica y modificación del caudal de inundación en ambientes mediterráneos. Aproximación Metodológica. *Monfragüe Desarrollo Resiliente*, IV (1), 152-163.
- Arriaga, L., Aguilar, V., y Alcocer J. (2002). *Aguas continentales y diversidad biológica de México* (227 p.), Ciudad de México: Comisión Nacional para la Biodiversidad.
- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar C., Martínez E., Gómez, L., y Loa, E. (Eds.). (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Ciudad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html>
- Avendaño, C., Calvo, J. P., Cobo, R. y Sanz, M. E. (1994) La modelización matemática, ajuste y contraste del coeficiente de entrega de sedimentos a los embalses. Aplicación al cálculo de la erosión de cuencas fluviales. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Madrid. 40 p.
- Barrientos, G. (2013). *Propuesta de prácticas de conservación de suelos en ambientes semiáridos: Caso microcuenca La Joya* (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma de Querétaro. <http://ri.uaq.mx/handle/123456789/1367>.
- Batalla, G. (2013): *Efecto del cambio de uso de suelo en el aporte de sedimentos hacia la presa Jalpan (Sierra Gorda Querétaro)* (Tesis de Maestría), Universidad autónoma de Querétaro. <http://ri.uaq.mx/handle/123456789/2505>.
- Benites, F. (2017). *Análisis comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la Subcuenca del río Puzmalaca-Piura* (Tesis de Licenciatura), Universidad Nacional Federico Villarreal. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/1932>.
- Beretta, A. N., Silbermann, A. V., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., y García-Lamohte, A. (2014). Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method. *Ciencia e investigación agraria*, 41(2), 263-271.
- Becerra, M. A. (2005). Escorrentía, erosión y conservación de suelo. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco de Mora. 375 p.
- Bienes, R. (2006). La erosión hídrica: Importancia y clases. Parámetros climáticos condicionantes de la erosión (intensidad, torrencialidad, aridez, déficit hídrico, tamaño de gota). En R. Bienes y

- M.J. Marqués (Eds.), *Conservación del medio ambiente: revegetación, recuperación del suelo y empleo de residuos en el control de la erosión* (pp. 43-61). Consejería de Economía e Innovación Tecnológica.
- Black, P. E. (1997). Watershed functions, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 33 (1), 1, U.S.A.
- Barrios, A. G., y Quiñónez, E. (2000). Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R) USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. *Revista forestal venezolana*, 44 (1), 65-71.
- Bodoque, J. M., Pedraza, J., Martín-Duque, J. F., Sanz, M. A., Carrasco, R. M., Díez, A., y Mattera, M. (2001). Evaluación de la degradación específica en la cuenca vertiente al embalse de Puente Alta (Segovia) mediante métodos de estimación directos e indirectos. *Revista C. & G*, 15 (3-4), 21-36.
- Bolaños, M. A., Paz, F., Cruz, C. O., Argumedo, J. A., Romero, V. M., y De la Cruz, J. C. (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana*, 34 (3), 271-288.
- Bonilla, C. A., Reyes, J. L., y Magri, A. (2010). Estimación de la Erosión Hídrica Empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) y GIS en Chile Central. *Revista Chilena de Investigaciones Agropecuarias* 70 (1), 159-169.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Oost, K, V., Montanarella, L., y Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*, 8(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>.
- Bouma, J. (2012). Hydropedology as a powerful tool for environmental policy and regulations; Towards sustainable land use, management and planning. *Hydropedology*, 483-512. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386941-8.00015-0>.
- Bribiesca, M. A., González, F. J., y Sánchez, S. A. (septiembre de 2018). Estimación del aporte de sedimentos en la cuenca "El Tule", México, Mediante el uso de diferentes Métodos Empíricos. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Buenos Aires, Argentina.
- Camargo, C., Pacheco, C., y López, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de información Geográfica. *Gestión y Ambiente*, 20 (2), 265-280.
- Camas, R., Turrent, A., Cortes, J. I., Livera, M., González, A., Villar, B., López, J. Espinoza, N., y Cadena, P. (2012). Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3 (2), 231-243.
- Calixto, A. (2013). *Análisis de frecuencias con distribuciones conjuntas, para el estado de Querétaro*. (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Querétaro).
- Carvajal, R., y Giráldez, J. (2000). Análisis de la producción de Sedimentos en una cuenca con un sistema de información geográfica. El sistema Cubillas-Colmera. *Ingeniería del Agua*, 7 (3), 225-236. <https://doi.org/10.4995/ia.2000.2845>.

- Castro, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 34 (2), 3-16.
- Cerdà, A. (2001). La erosión del suelo y sus tasas en España. *Ecosistemas: Revista de Ecología y Medio Ambiente*, 3, 1-16.
- Colín, G., Ibáñez, L. A., Reyes, J., y Arteaga, R. (2013). Diagnóstico de la erosión hídrica de la Cuenca del Río Pichucalco. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 5 (1), 23-31.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2020). *Lineamientos para la Ejecución del Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies en Riesgo 2020* (Archivo PDF). <https://www.conanp.gob.mx/prorest/prorest2020/LineamientosPROREST2020.pdf>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (21 de mayo de 2020). Presa de Jalpan, un sitio Ramsar dentro de la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/presa-de-jalpan-un-sitio-ramsar-dentro-de-la-reserva-de-la-biosfera-sierra-gorda?idiom=es> (última consulta: diciembre de 2020).
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2007). *Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de Obras Prácticas*. Zapopan, Jalisco: Gerencia de Restauración Forestal.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y Colegio de Postgraduados (CP). (2008). *Restauración de Suelos Forestales. Evaluación Externa Ejercicio Fiscal 2007 (Evaluación de poyos 2004-2006)*. 10.13140 / RG.2.2.29995.13602.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2010). *Estudios técnicos especializados para la recuperación de áreas degradadas por disturbios y/o perturbaciones antropogénicas. Términos de referencia/PROCYMAF 2010* (Archivo PDF). <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/40TDR-RESTAURACION%202010.pdf.pdf>.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2014). Inventario Forestal y de Suelos Querétaro-2014. Conjunto vectorial estatal de recurso forestal.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2022). Áreas elegibles. Recuperado de: <https://www.conafor.gob.mx/transparencia/t-map-areas.html> (última consulta: 15 de enero de 2022).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (1 de diciembre 2020). Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (11 de marzo de 2008). Precipitación total anual. Metadatos. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (última consulta: 25 de octubre de 2021).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (25 de marzo de 2008). Isotermas Medias Anuales. Metadatos. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (última consulta: 25 de octubre de 2021).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2015). Áreas de Importancia para la conservación de las aves. Recuperado de: <http://avesmx.conabio.gob.mx/AICA.html> (última consulta: 19 de octubre de 2021).

- Comisión Estatal de Aguas (CEA). (2010). Estudio Batimétrico de la presa de "Jalpan", Municipio de Jalpan de Serra (Archivo PDF).
- Cortés, E., y Vargas, V. (2017). *Evaluación de cuatro prácticas agroecológicas de conservación de suelos de ladera en Guasca-Cundinamarca* (Tesis de licenciatura, Corporación Universitaria Minuto de Dios). <https://hdl.handle.net/10656/5473>.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2012). Índices de Intensidad Migratoria México-Estados Unidos 2010. http://www.conapo.gob.mx/swb/CONAPO/Indices_de_intensidad_migratoria_Mexico-Estados_Unidos_2010 (última consulta: 13 de octubre de 2020).
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (4 de octubre de 2021). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372> (última consulta: 11 de octubre de 2020).
- Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEC). (2006). Vegetación, uso del suelo y unidades del paisaje en la Sierra Gorda Queretana. Tomo XI. Reporte Técnico. Querétaro, Qro.
- Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS). (2016). Monitoreo de políticas públicas. Presupuesto forestal 2016 ¿Nuevos riesgos para los bosques? Nota informativa No. 43. Recuperado de: <https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2015/10/NOTA-43-Presupuesto-y-cambios-en-Conafor-2016-1.pdf> (Última consulta: 28 de marzo de 2022).
- Córdova, M. (2010). *Priorización de áreas para recuperar la función hidrológica de la subcuenca Támbula-Picachos, Guanajuato* (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma de Querétaro.
- Cortés, H. G. (1991). *Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados* (Tesis de Maestría), Colegio de Postgraduados campus Montecillo, México.
- Cook, H.L. (1936). The nature and controlling variables of the water erosion process. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1 (C), 487-494. <https://doi.org/10.2136/sssaj1937.03615995000100000085x>.
- Cotler, H. (2006). *Manejo integral de cuencas en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Ciudad de México, México.
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83, 5-71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908302>
- Cotler H., Cram, S., Martínez S., y Bunge, V. (2015). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera. *Investigaciones Geográficas*, 88, 6-18. <https://doi.org/10.14350/rig.47378>.
- Crosson, P., y Anderson J. R. (2000). Land degradation and food security: economic impacts of watershed degradation. En R. Lal (Ed.). *Integrated watershed management in the global ecosystem* (pp. 291-303). CRC Press LLC.

- Desmet, P. y Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, 51(5), 427-433.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1997). Decreto por el que se declara área natural protegida con carácter de Reserva de la Biosfera la región denominada Sierra Gorda localizada en los municipios de Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Peñamiller, Pinal de Amoles y Landa de Matamoros, Qro. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4879875&fecha=19/05/1997.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (31 de diciembre de 2002). NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Recuperado de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf> (última consulta: 10 de diciembre de 2021)
- Díaz, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería e Investigación*, 31(3), 80-90. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/38548>.
- Dickinson W.T. y Rudra R.P. (1990). *The Guelph model for evaluating effects of agricultural management systems on erosion and sedimentation*. User's manual. Version 3.01. University of Guelph. School of engineering. Technical Reports 126-86.
- De Shutter, A. (1983). *Investigación participativa: una opción metodológica para la educación de los adultos*. CREFAL. Michoacán, México.
- Durán, O. (2018). *Estudio integrado para el manejo de moluscos acuáticos exóticos en la microcuenca del Río Jalpan* (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma de Querétaro. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1006>.
- Dumas, Á. (2012). *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del Río Mundo* (Tesis de Maestría), Universitas Complvtensis Matritensis.
- Espinosa, M., Andrade, E., Rivera, P. y Romero, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, (53-54), 77-88. <https://revistas.um.es/geografia/article/view/143451>.
- European statistics (Eurostat). (2012). Land Use/Cover Area Frame Survey. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/data/primary-data/2012> (ultima consulta: 24 de noviembre de 2021).
- Eyherabide, M., Saíenz, H., Barbieri, P., y Echeverría, H. E. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelos. *Ciencia del Suelo*, 32 (1), 13-19.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1978). Soil erosion by water: Some measures for its control on cultivated lands. *Land and Water Development Series, Sales & Marketing Group*, 7.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2009). Guía para la descripción de suelos (4ta Ed.) FAO: Roma, Italia.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). Propiedades Físicas del Suelo. Recuperado de: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=La%20textura%20del%20suelo%20se,materia%20org%C3%A1nica%20y%20otras%20propiedades>. (última consulta: 10 de enero de 2022).
- Foth, H.D., y Turk, L. M. (2003). *Fundamentals of Soil Science*. John Wiley & Sons: New York, USA. 360 p.
- Faustino, J., y Jiménez, F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Figueroa, S., Amante, O., Cortés T., Pimentel, L., Osuna, C., Rodríguez, O., Morales, F. (1991). *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Colegio de Posgraduados. Salinas, San Luis Potosí, México. 113 p.
- Foster, G. R., Meyer D. K., y Onstad C. A. (1977). A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. *Trans. ASAE*. 20 (4): 683-687.
- Fortuño, J. (2014). *Estudio de la erosión de cuencas naturales mediante KINEROS 2* (Tesis de Especialidad, Universidad Politécnica de Catalunya). <http://hdl.handle.net/2099.1/24492>
- Febles, J. M., y Vega, M. B. (2016). Estimación del aporte de la erosión hídrica al azolve del embalse Mampostón. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(3), 18-30.
- Flotermersch, J. E., Leibowitz, S. J., Hill, R. A., Stoddard, J. L., Thoms, M. C., y Tharme, R. E. (2015). A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *River Research and Applications*, 32 (7), 1654–1671. <https://doi.org/10.1002/rra.2978>
- García, W. (2002). *Planificación de Cuencas Hidrográficas bajo la perspectiva de los sistemas complejos* (Tesis de Doctorado), Universidad Nacional de Colombia. Repositorio institucional-Universidad Nacional de Colombia.
- García, H., Luna, M., Montoya, M. P., Santiago, N. D., Santos, E., y García, O. R. (2015). La pertinencia del enfoque de cuencas como unidad de gestión del espacio geográfico. *Digital Ciencia @UAQRO*, 1-11.
- García, A. F., Campos, J. J., Villalobos, R., y Jiménez, F., y Solórzano, R. (2005). *Enfoques de manejo de recursos naturales a escala de paisaje: convergencia hacia un enfoque ecosistémico* (Informe Técnico no. 340). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/1635>.
- Gaitán, J., Navarro, M. F., Carfagno, P., y Vuegen, L.T. (Eds). (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina (1ª ed.)*. Ediciones INTA.
- Garrido, A., Pérez, J., y Enríquez, C. (2010). Delimitación de las Zonas Funcionales de las cuencas hidrográficas de México. En H. Cotler (Ed.), *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización* (1ª ed., pp.14-17). Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C.V.

- Garrido, A y Cotler, H. (2010). Degradación de suelos en las cuencas hidrográficas de México. En H. Cotler (Ed.), *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización* (1ª ed., pp.104-107). Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C.V.
- Geilfus, F. (2001). *80 Herramientas para el desarrollo participativo. Diagnóstico, Planificación, Monitoreo y Evaluación*. SAGARPA-INCA RURAL-IICA. 208 p.
- Gisbert, J.M., Ibáñez, S. y Soriano (2002). *Técnicas y medidas sostenibles en conservación de suelos*. Fundación Biodiversidad-Universidad Politécnica-Fondo Social Europeo. Editorial UPV (CD).
- Giménez, M. C. (2008). Metodología de cálculo del factor topográfico, LS integrado en los modelos RUSLE y USPED. Aplicación al arroyo del lugar, Guadalajara (España) (Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid).
- Grupo Ecológico Sierra Gorda I.A.P. (GESG I. A. P.). (2014). La importancia de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda. Recuperado el 15 de enero de 2021 de <https://sierragorda.net/en/la-importancia-de-la-reserva-de-la-biosfera-sierra-gorda/>.
- Grupo Ecológico Sierra Gorda I.A.P. (GESG I. A. P.). (2020). Reconoce la fundación Río Arronte su alianza con el Grupo Ecológico Sierra Gorda I. A. P. Recuperado el 13 de septiembre de 2020 de: <https://sierragorda.net/reconoce-la-fundacion-gonzalo-rio-arronte-su-alianza-con-el-grupo-ecologico-sierra-gorda-i-a-p-2/>.
- Gutierrez, A. (2012). *Estudio Hidrológico y Análisis Hidráulico del arroyo Los Izotes Aguas arriba de la localidad San Francisco, Nayarit. Aporte de Sedimentos de la Cuenca los izotes*. SIIG Ingeniería y Consultoría.
- Gutierrez, A. (2021). Regionalization of hurricane rainfall in the forests, protected and reserved zones of Mexico. *Land Degradation & Development*, 32(18), 5203-5215. <https://doi.org/10.1002/ldr.4102>.
- González, G., Nava, G., Arteaga, T. T., y García, B. (2020). Análisis del Programa de Conservación de Suelos en el área de flora y fauna Nevado de Toluca. *Investigaciones Geográficas*, 102, 1-19.
- Lugo, J. I. (1988). *Elementos de geomorfología aplicada*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (1999). *Programa de Manejo Reserva de la Biósfera Sierra Gorda*. SEMARNAP. México.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2007). Degradación del suelo. Recuperado el 5 de mayo de 2021 de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/312/sueloedo.html>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Sistema topoformas. Recuperado el 15 de noviembre de 2021 de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267582>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2007). Conjunto de datos vectoriales Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II. Continuo Nacional Querétaro. Recuperado el 12 de septiembre de 2021 de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825235628>.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/> (última consulta: 10 de noviembre de 2021).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). Características de las localidades y del entorno urbano. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/cleu/2014/#Microdatos> (última consulta: 5 de octubre de 2021).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014b). Guía para la interpretación de cartografía de erosión del suelo, Escala 1: 250 000, Serie I (25 p.). Aguascalientes. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (5 de diciembre de 2015). Estadísticas a propósito del día mundial del suelo: datos nacionales. Aguascalientes, México. Recuperado el 20 de diciembre de 2020 de https://www.ues.mx/Docs/banners/Dia_mundial_del_suelo.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (16 de marzo de 2021). Censo de Población y Vivienda 2020. Principales resultados por localidad (ITER) (Archivo Excel). https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Datos_abiertos.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica F14C48 (Jalpan) Escala 1:50 000. Recuperado el 6 de diciembre de 2021 de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463854883>.
- Jiménez, F. (2005). Gestión integral de cuencas hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales. *Recursos, ciencia y decisión (CATIE)*, 2, 1-4.
- Jiménez, C. (2010). *Evaluación de obras de conservación de suelos en el Distrito de Coixtlahuaca (Oaxaca, México) y bases para actuaciones futuras* (Tesis de grado), Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/13759/>.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., y Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.
- León, J. D. (2003). Métodos experimentales para el seguimiento y estudio de la erosión hídrica. *Gestión y Ambiente*, 6(1), 39-56. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/89005>
- Llerena, P. (1988). Uso de varillas para medir la erosión hídrica. *Revista Forestal, Perú*, 15 (2), 47-57.
- López, P. A., y Martínez, M. M. R., (2012). El análisis morfométrico como una propuesta de priorización de subcuencas para la restauración hidrológica. XXXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, noviembre, 2012, Zacatecas, México.
- Loredo, C. (Ed.). (2005). *Prácticas para la conservación de suelo y agua en zonas áridas y semiáridas* (Libro técnico no. 1). Instituto Nacional de Investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias (INIFAP).
- Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (MAGIC). (2014). Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca Pinal-Presa Jalpan. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Mancilla, G. (2008). Uso y Conservación de Suelos. Apuntes Docentes. Recuperado el 31 de enero de 2022 de: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120400>.

- Martínez, M. M. (2005). *Estimación de la Erosión del Suelo*. SAGARPA-COLPOS-INCA RURAL. México.
- McCool, D.K., Brown, L. C., Foster, G. R. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transacciones de la ASAE*, 30, 1387-1396.
- McCool, D. K., Foster, G. R., Mutchler, C. K., y Meyer, L. D. (1989). Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transacciones de la ASAE*, 32 (5), 1571-1576. doi: 10.13031 / 2013.31192.
- Mejía, J., Dal Pozzo, F., Montilla, P., y Torres, G. (2010). Evaluación cuali-cuantitativa de la erosión hídrica en la microcuenca Aguas Calientes, estado Mérida-Venezuela. *Revista geográfica venezolana*, 51 (2), 203-223.
- Montes, M. A. L., Uribe, E. M., y García, E. (2011). Mapa Nacional de Erosión Potencial. *Tecnología y ciencias del agua*, 2 (1) 5-17.
- Morgan R. P. (2001). A simple approach to soil loss prediction. A revised Morgan-Morgan-Finney model. *Catena* 44 (4), 305 – 322.
- Morgan, R.P.C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3a Ed.). Blackwell Science Ltd. 304 pp.
- Musalem, K., Cámara, J., Laino, R., González, M., y Ramírez, N. (2014). Manejo integral de cuencas hidrográficas (MICH): el enfoque utilizado en el proyecto FORDECyT Cuenca Grijalva. En M. González y M.C. Brunel (Eds.), *Montañas, pueblos y agua. Dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva (pp.82-102)*. Colegio de la Frontera Sur - Juan Pablos Editors.
- Municipio de Jalpan de Serra (2003). Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Jalpan de Serra. Recuperado de: https://www.jalpan.gob.mx/transparencia/pdf/plan_de_desarrollo_urbano.pdf (última consulta:3 de enero de 2021).
- Nieto, J. (2002). Entre la tradición y la transición proceso migratorio en el norte queretano. En J. Nieto (Ed.). *Migración y cambio cultural en Querétaro (pp. 81-145)*. Santiago de Querétaro, México: UAQ.
- Novoa, Z. I. (2011). ¿Qué es una cuenca hidrográfica? Cartilla técnica. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf (última consulta: 12 de octubre de 2012).
- Olivares, B., Lobo, D., y Verbist, K. (2015). Aplicación del modelo USLE en parcelas de erosión bajo prácticas de conservación de suelo y aguas en San Pedro de Melipilla, Chile. *Ciencia e Ingeniería*, 3-10.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo (GTIS). (2016). *Estado mundial del recurso suelo. Resumen Técnico* (Archivo PDF). <http://www.fao.org/3/i5126s/i5126s.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2009). *Guía para la descripción de suelos (pp. 25-30)*. 2da edición. Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2022). Propiedades físicas del suelo. Recuperado el 25 de diciembre de 2021 de: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.
- Orozco, A. P., y Ángel, J. M. 2017. *Análisis de la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica en la finca El Recuerdo, zona rural del municipio de San Calos, Córdoba* (Tesis de licenciatura, Universidad de Córdoba).
- Oyarzun, C. E. (1993). Evaluación del modelo U.S.L.E para predecir pérdidas de suelo en áreas forestales de la cuenca del río Bío, Bío. *Bosque* 14 (1), 45-44.
- Palacio, J. L. (1983). Geomorfología de la región de Cuernavaca-Tenancingo-Ixtapan de la Sal, en los estados de Morelos y México. *Investigaciones geográficas*, 13, 105-129.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Van Der Zanden, E., Poesen, J., y Alewell, C. (2015). Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. *Environmental Science & Policy*, 51, 23-34.
- Pérez, E. (2022,10 de junio). A un cuarto de su capacidad, 7 presas de Querétaro. *El Universal de Querétaro*. <https://www.eluniversalqueretaro.mx/metropoli/un-cuarto-de-su-capacidad-7-presas-de-queretaro>.
- Poder legislativo de la federación (1992). Ley Agraria. Diario Oficial de la Federación. 26 de febrero de 1992. México. D.F.
- Porras, A. (2017). Método Kriging de inferencia espacial. Documento de trabajo. Recuperado el 20 de diciembre de 2021 de <http://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/160>.
- Prado, J., Rivera, P., De León, B., Carrillo, M., y Martínez A. (2017). Calibración de los modelos de pérdidas de suelo USLE y MUSLE en una cuenca forestal de México: Caso el Malacate. *Revista Agrociencia*, 51 (3), 265-284.
- Quiroz, G. (2018). *Evaluación de la degradación específica y emisión de sedimentos en la cuenca vertiente al embalse de Beniarrés (Alicante)* (Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia).
- RAMSAR (2003). Ficha Informativa de los Humedales de RAMSAR (FIR). Recuperado el 6 de enero de 2021 en http://www.conanp.gob.mx/conanp/dominios/ramsar/docs/sitios/FIR_RAMSAR/Queretaro/Presas_Jalpan/Presas%20Jalpan.pdf.
- Ramírez, J., y Aparicio, J. (2009). Estimación de producción de sedimentos en cuencas. Aplicación al río Apulco, México. *Ingeniería hidráulica en México*, XXIV (4), 145-157.
- Ramírez, L. (2010). *Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta* (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Salta).
- Ramírez, H., Pedroza, A., Martínez, J. G., y Valdez, R. D. (2011). Evaluación participativa de la degradación del suelo en la Reserva de la Biosfera Mapimí. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17, 1-9.
- Ramos, C. S. (2014). *Propuesta de norma para el monitoreo participativo de calidad de agua en ríos usando macroinvertebrados acuáticos* (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro).

- Registro Agrario Nacional (RAN) (01 septiembre de 2020). Datos geográficos perimetrales de los núcleos agrarios certificados, por estado, formato SHAPE. Recuperado de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-perimetrales-de-los-nucleos-agrarios-certificados-por-estado--formato-shape> (última consulta: 5 de octubre de 2020).
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D. K., y Yoder, D. C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook No. 703. Washington, DC: Government Printing Office.
- Ríos, G. A. (2015). Estudio de la Tasa de Cambio de las Cubiertas del Suelo para la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda (Querétaro) con insumos del proyecto MAD-mex. Informe Final. https://simec.conanp.gob.mx/TTH/SierraGorda/SierraGorda_TTH_2000_2010.pdf
- Ríos, A. de los Á. (2020). Los derechos económicos, sociales, culturales y ambientales (DESCA) a la luz del presupuesto 2019 – 2020 (caso México). *Perfiles De Las Ciencias Sociales*, 7(14), 1-24. <https://revistas.ujat.mx/index.php/perfiles/article/view/3741>
- Ríos, E., Cotler, H., González, I. D., Arredondo, D. A., Gómez, N., Merino, M. C., Michel, E., Palmas, M. A., y Pineda, R. F (2015). *Suelos, bases para su manejo y conservación*. Ciudad de México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Rivas, G. M. R. (2004). *Determinación de la Tasa Efectiva de Aportación de Sedimentos en Cuencas, Hidrográficas* (Tesis de Maestría, Universidad, Autónoma de Querétaro).
- Ruiz, H. (2022, 20 de febrero). Preocupa a especialistas presa de Jalpan de Serra. AM de Querétaro. <https://amqueretaro.com/queretaro/2022/02/20/preocupa-a-especialistas-presa-de-jalpan-de-serra/>
- Sánchez, Y., Martínez, A. M., y Yenes, M. (2018). Cálculo del volumen de sedimentos erosionados en la cuenca vertiente del Jerte. *Sociedad Geológica de España*. 64, 171-174.
- Secretaría de Turismo de Querétaro (SECTUR). (26 de mayo de 2014). Ruta de la Sierra Gorda. Recuperado de: <https://www.queretaro.travel/es/region/7/sierra-gorda/> (última consulta 10 de octubre de 2020).
- Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro (SEDESU). (17 de abril de 2009). Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Querétaro. *La Sombra de Arteaga*.
- Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro (SEDESU). (2010). Datos vectoriales de geofomas en el estado de Querétaro. Recuperado el 6 de octubre de 2021 en: <http://www.queretaro.gob.mx/transparencia>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2020). Panorama Minero del Estado de Querétaro.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Informe de la situación del medio ambiente en México. Recuperado de http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/index.htm. Última consulta el 24 de noviembre de 2020.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales Recuperado de

- https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/indicadores16/conjuntob/indicador/03_suelos/3_.html
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y Colegio de Postgraduados (SEMARNAT y COLPOS). (2003). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. México.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y Desempeño Ambiental. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001623.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). La degradación de los suelos en México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_2.html.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2014). Sistema Nacional de Indicadores Ambientales. Recuperado de http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/indicador/03_suelos/3_4.html
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). Información de la Situación del Medio Ambiente en México. Suelos. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap3.html>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). La degradación de los suelos en México. Recuperado el 20 de septiembre de 2020 en https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_2.html.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Compendio de Estadísticas Ambientales 2020. Superficie beneficiada por el Programa Nacional de Suelos Forestales de CONAFOR*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2020/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/W
- Siebe, C., Jahn, R., y Stahr., K. (2016). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo*. Ciudad de México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. 57 p.
- Stocking, M., y Murnaghan, N. (2001). Land degradation. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 8242-8247.
- Tapia, R., Carmona, J., y Martínelli, M. (2020). Velocidad de infiltración e infiltración base en dos comunidades arbustivas del desierto hiper árido de San Juan (Argentina). *Ecosistemas, Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 29 (3), 1-8.
- Tejeda, D. (2016). Prácticas de conservación y restauración de suelos en climas húmedos. *Agroproductividad*, 10 (1), 37-43.
- Torres, M. (2018). *Integridad ecológica como una herramienta de evaluación en cuencas hidrográficas. Caso de estudio Microcuencas Río Jalpan* (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma de Querétaro.
- Trujillo, J.M., Mahecha, J.D., y Torres, M.A. (2018). El recurso suelo: Un análisis de sus funciones, capacidades de uso e indicadores de calidad. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 9 (2), 1-10.

- Trueba, A., Trueba, S., y Anaya, M. (1981), *Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica en terrenos agrícolas de temporal*, DGSA-SARH, pp.89-100.
- United States Department of Agriculture (USDA). (1983). *Soil Survey Manual. Handbook No.430*. Washigton: United States Department of Agriculture.
- United States Department of Agricultura (USDA). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y la salud del suelo*. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Washington: Departamento de Agricultura de Estados Unidos.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2017). *Soil Survey Manual. Handbook No.18*. Washington: United States Departamento of Agriculture. 437 p.
- Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2014). *Informe Final de Resultados del Monitoreo y Evaluación Complementaria de los apoyos de Reforestación y Suelos 2012*. México: CONAFOR.
- Valdés, A. (2017). *Diagnóstico integrado y participativo del paisaje en las zonas funcionales de la microcuenca potrero de la Palmita, Nayarit* (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma de Querétaro.
- Valdés, A., y Hernández, J. (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palma, Nayarit, México. *Revista Geográfica de América Central*, 60, 189-229. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.7>
- Vega, M. B., y Febles, J. M. (2005). La investigación de suelos erosionados: Métodos e índices de diagnóstico. *Minería y Geología*. 21 (2), 1-18.
- Vásquez, A., y Tapia, M. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Revista Ingeniería*. 18 (3), 42-50.
- Velásquez, S. (2008). *Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)*. Cantón de Coronado, Costa Rica: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza, 54 p.
- Vanegas, 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 0089333 "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:
- Williams, J. R., y Berndt, H. D. (1972). Sediment yield computed with universal equation. *Journal of the Hydraulics Division*, 98(12), 2087-2098.
- Wischmeier, W. H., Johnson, C. B., and Cross, B. V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation* 26, 189-193.
- Wischmeier, W. H. (1976). *Use and misuse of the universal soil loss equation*. *Soil and Water Conservation*.
- Wischmeier, W. H., y Smith, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning* (No. 537). United States Department of Agriculture. Science and Education Administration. 58 p.

- White, P. S. (2013). Derivation of the extrinsic values of biological diversity from its intrinsic value and of both from the first principles of evolution. *Conservation Biology*, 27(6), 1279-1285.
- Xiong, M., Sun, R., y Chen, L. (2018). Effects of soil conservation techniques on water erosion control: A global analysis. *Science of the Total Environment*, 645, 753-760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.124>
- Zaccagnini, M., Wilson, M., Oszust, J. (2014). *Manual de Buenas Prácticas para la Conservación del suelo, la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Buenos Aires.
- Zaragoza, P. (2021). *Análisis multitemporal de la cobertura del terreno y su asociación con las tasas de erosión hídrica en Acoculco, Puebla* (Tesis de Maestría), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Zuidam, R. V. (1986). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping* (No. C 25102). Smits Publishers.

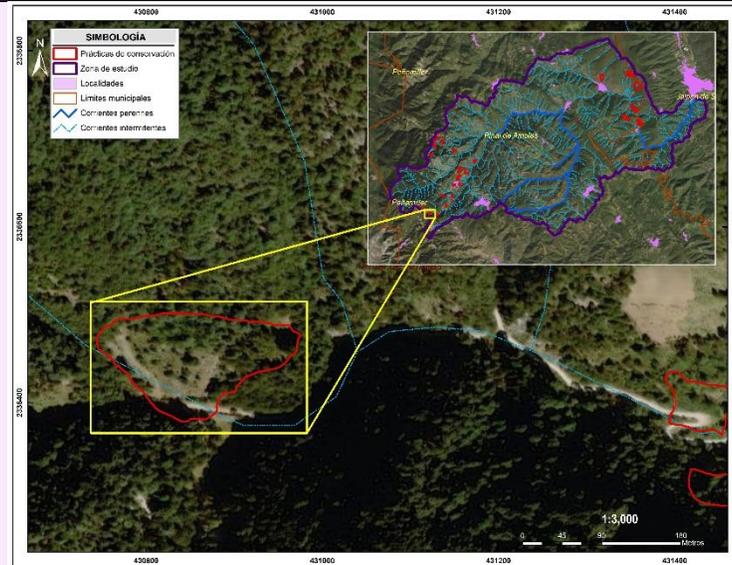
9 ANEXOS

Anexo 1. Formato de entrevista para copilar información respecto a las prácticas de conservación en la subcuenca Jalpan de Serra.

GUION DE TEMAS Y PREGUNTAS.
<i>Datos generales del entrevistado</i>
Nombre: _____
Institución que representa: _____
Cargo: _____
<i>Identificación y caracterización de las prácticas de conservación de suelo</i>
¿Cuál es la importancia que tiene el suelo en relación con las actividades que desarrolla su institución?
¿Existe un área o un grupo de trabajo que aborde el trabajo en cuanto al manejo de los suelos?
¿La institución destina recursos para el cuidado o restauración de los suelos?
¿Conoce las prácticas de conservación de suelos?
Si las conoce, ¿Qué tipo de prácticas realizan?
¿Cuándo fueron construidas? ¿Qué función cumplen?
¿Dónde se localizan las prácticas antes mencionadas?
¿Qué criterios fueron tomados en cuenta para la selección de los sitios donde se implementaron las prácticas de conservación?
¿Existe un monitoreo o evaluación de las prácticas antes mencionadas?, ¿En qué consisten?
¿Cuenta con alguna información adicional que pueda proporcionarnos (por ejemplo, informes, archivos shapefile, Excel, entre otros)?
<i>Percepción del impacto de las prácticas</i>
¿Ha notado cambios o beneficios con la realización de las prácticas de conservación de suelos en la zona de estudio?
¿Cuál ha sido la aceptación por parte de los propietarios de los terrenos beneficiados?
¿Cree que una propuesta de mejores prácticas de conservación de suelos sea necesario para la zona, de ser afirmativa su respuesta, detalle su respuesta?

Anexo 3. Fichas de control para la caracterización de los sitios verificados con prácticas de conservación de suelos.

Sitio 2: Reforestación con pino-cedro



Mapa de localización de la práctica



Reforestación pino-cedro

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro _____

Tipo de vegetación: Bosque de pino

Tipo de suelo: Leptosol húmico

Textura del suelo: Franco arcillosa

Carbono orgánico: 5.05 %

Estructura: Granular media

Permeabilidad: Lenta a moderada

Porcentaje de pedregosidad: 10%

Profundidad del suelo (cm) _____

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclínada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)

No. Sitio: 2; Predio: Ejido La Barranca
 Municipio: Pinal de Amoles
 Año de instalación: 2019
 Superficie donde se aplicó la práctica: 1.779 ha
 Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro _____

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

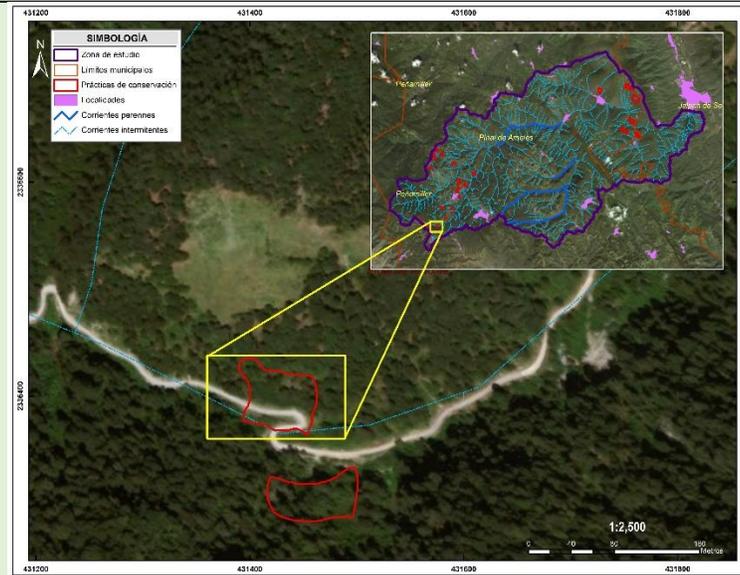
Condición actual de la práctica

Estructural
 Tipo: _____
 No. de obras por ha _____
 Ancho de la estructura (m) _____ Largo (m) _____
 Espaciamiento entre estructura _____
 % Deterioro de la estructura _____

<input type="checkbox"/> Plana (0-2) Intercepción con escurrimientos: <u>sí</u> <input type="checkbox"/> Perennes <input checked="" type="checkbox"/> Intermitentes Clima: <u>C (w2) templado subhúmedo</u> Precipitación media anual (mm): <u>800-850</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Vegetativa Tipo: <u>Reforestación con pino-cedro</u> % Supervivencia de la reforestación: <u>40%</u> Vigor de la planta: <u>alta</u> <input type="checkbox"/> Agronómica Tipo: _____ % Frecuencia de ejecución _____
Rasgos de degradación de suelo <input type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada _____ <input type="checkbox"/> Surcos: No. _____; ancho prom (m) _____; profundidad prom (m) _____ <input type="checkbox"/> Pedestales: No. _____; altura prom (m) _____ <input checked="" type="checkbox"/> Cárcavas: No. <u>2</u> ; ancho borde prom (m) <u>1.70</u> ; ancho base prom (m) <u>0.60</u> ; profundidad prom (m) <u>0.70</u> <input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____ <input type="checkbox"/> Terracetas : % de área afectada: _____ <input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____ <input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____	
Observaciones finales La reforestación realizada presenta bajo porcentaje de supervivencia, sobre todo de pino. La reforestación se realizó sobre un terreno de uso forestal con ladera inclinada y en la época de secas, al estar alejado de los asentamientos humanos no se realizaron actividades de mantenimiento a la reforestación.	



Sitio 3: Reforestación con pino-cedro



Mapa de localización de la práctica

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

% de cobertura: herbáceo: 50% ; arbustivo: 30% arbóreo: 20%

Tipo de suelo: Leptosol húmico

Porcentaje de pedregosidad: 15%

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: sí

- Perennes
- Intermitentes

Clima: C (w2) templado subhúmedo



Reforestación con pino-cedro

No. Sitio: 3 ; **Predio:** Ejido La Barranca

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2019

Superficie donde se aplicó la práctica: 0.347 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: _____

No. de obras por ha _____

Ancho de la estructura (m) _____ Largo (m) _____

Espaciamiento entre estructura _____

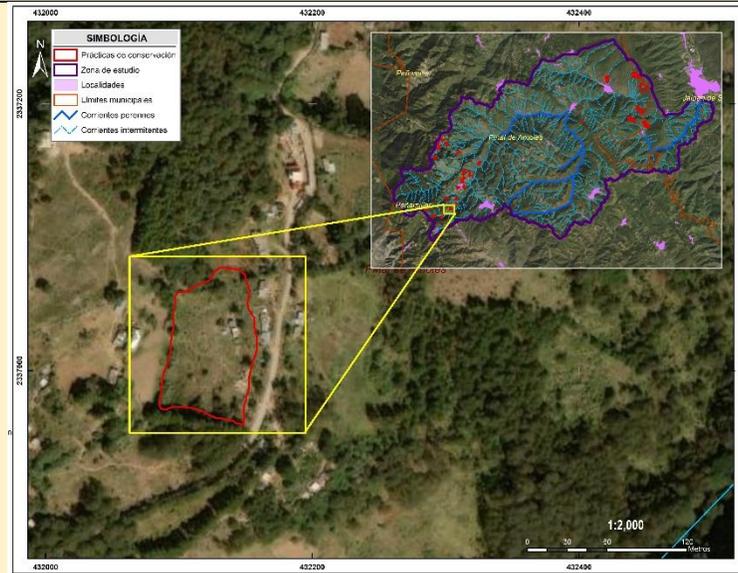
% Deterioro de la estructura _____

Vegetativa

Tipo: Reforestación pino-cedro a curva de nivel,
espaciamiento entre planta 2 x 2 m

<p>Precipitación media anual (mm): <u>800-850</u></p>	<p>% Supervivencia de la reforestación: <u>50%</u> Vigor de la planta: <u>media</u> Especies nativas: (si/no): <u>si</u> <input type="checkbox"/> Agronómica Tipo: _____ % Frecuencia de ejecución _____</p>
<p>Rasgos de degradación de suelo</p>	
<p><input checked="" type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada <u>15%</u> <input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m)____; profundidad prom (m)____ <input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m)____ <input type="checkbox"/> Cárcavas: No. ____; ancho borde prom (m)____; ancho base prom (m)____; profundidad prom (m)____ <input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: <u>25 %</u> <input type="checkbox"/> Terracetos: % de área afectada: _____ <input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m)____ <input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm)_____</p>	
<p>Observaciones: Se encuentra en terreno accidentado con buena cobertura vegetal, sin embargo, se identificaron superficies con erosión laminar. La reforestación realizada presenta bajo porcentaje de supervivencia, la especie de cedro presentó mayor supervivencia que el pino.</p>	

Sitio 5: Reforestación con pino-cedro



Mapa de localización de la práctica



Reforestación con pino-cedro

No. Sitio: 5 ; **Predio:** Ejido La Barranca
Municipio: Pinal de Amoles
Año de instalación: 2019

Superficie donde se aplicó la práctica: 0.619 ha
Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro _____

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: _____
 No. de obras por ha _____
 Ancho de la estructura (m) _____ Largo (m) _____
 Espaciamiento entre estructura _____
 % Deterioro de la estructura _____

Vegetativa

Tipo: Reforestación pino-cedro a curva de nivel,
espaciamiento entre planta 3x 2 m

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro _____

Tipo de vegetación: Pastizal inducido con remanentes de vegetación de pino-encino

Tipo de suelo: Leptosol húmico

Textura del suelo: Franco arcillosa

Carbono orgánico: 3.04 %

Estructura: Granular media

Permeabilidad: Lenta a moderada

Porcentaje de pedregosidad: 10%

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

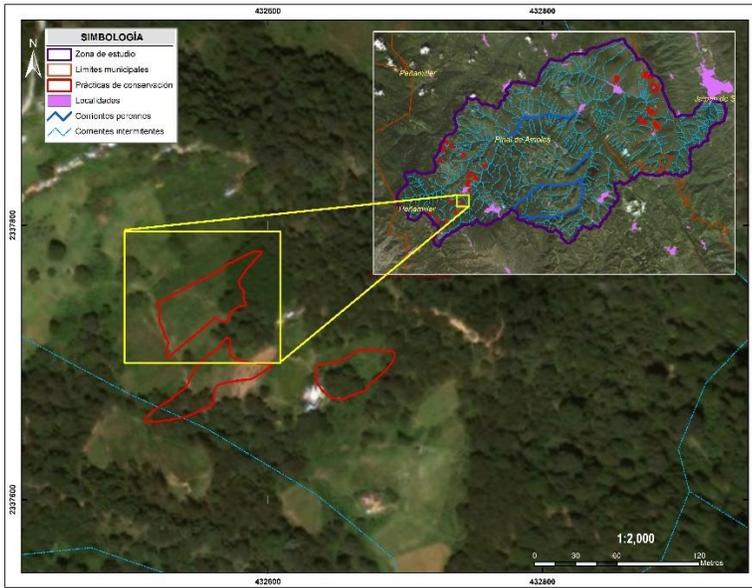
Forma del terreno: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

<p>Intercepción con escurrimientos: <u>no</u></p> <p><input type="checkbox"/> Perennes <input type="checkbox"/> Intermitentes</p> <p>Clima: <u>C (w2) templado subhúmedo</u></p> <p>Precipitación media anual (mm): <u>800 a 850</u></p>	<p>Altura promedio de la planta: <u>87 cm</u></p> <p>% Supervivencia de la reforestación: <u>35%</u></p> <p>Vigor de la planta: <u>media</u></p> <table border="1" data-bbox="919 300 1572 331"> <tr> <td>Agronómica</td> </tr> </table> <p>Tipo: _____</p> <p>% Frecuencia de ejecución _____</p>	Agronómica
Agronómica		
<p>Rasgos de degradación de suelo</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada <u>15%</u></p> <p><input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m); ____; profundidad prom (m) ____</p> <p><input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m) _____</p> <p><input type="checkbox"/> Cárcavas: No. ____; ancho borde prom (m) ____; ancho base prom (m) ____; profundidad prom (m) ____</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: <u>25 %</u></p> <p><input type="checkbox"/> Terracetas: % de área afectada: _____</p> <p><input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. De la pared (m) _____</p> <p><input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____</p>		
<p>Observaciones: Se trata de reforestación con pino-cedro, con bajo porcentaje de supervivencia en la especie de pino. De la superficie total de apoyo sólo se reforestó una tercera parte.</p>		

Sitio 7: Líneas de maguey



Mapa de localización de la práctica

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro

Tipo de vegetación: Cultivos de temporal (maíz)

Tipo de suelo: Leptosol húmico

Textura del suelo: Franco arcillosa

Carbono orgánico: 0.15 %

Estructura: Granular gruesa

Permeabilidad: Lenta a moderada

Porcentaje de pedregosidad: 15%

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)



Reforestación con agave

No. Sitio: 7 ; **Predio:** Ejido La Barranca

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2019

Superficie donde se aplicó la práctica: 0.231 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: _____

No. de obras por ha _____

Ancho de la estructura (m) _____ Largo (m) _____

Espaciamiento entre estructura _____

% Deterioro de la estructura _____

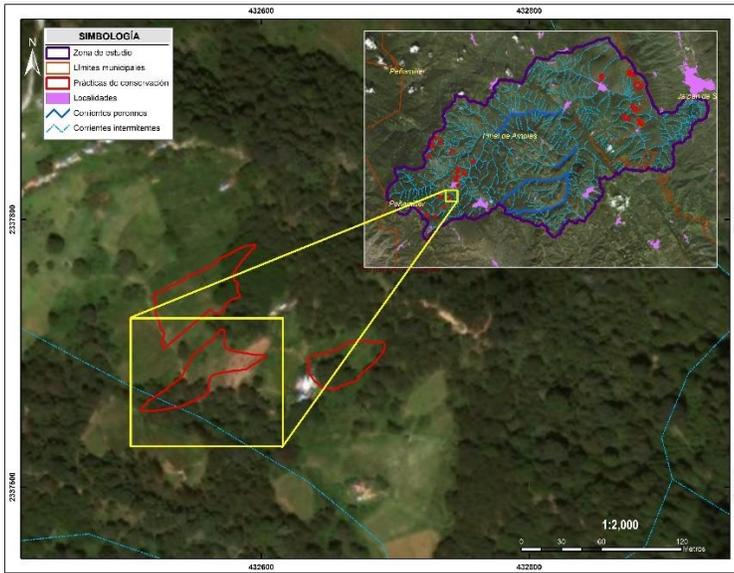
Vegetativa

Tipo: Líneas de maguey en diferentes estados vegetativos

% de sobrevivencia de la planta: 50%

<p>Intercepción con escurrimientos: <u>no</u></p> <p><input type="checkbox"/> Perennes <input type="checkbox"/> Intermitentes</p> <p>Clima: <u>C (w2) templado subhúmedo</u></p> <p>Precipitación media anual (mm): <u>850-900</u></p>	<p>Altura promedio de la planta: <u>60 cm</u></p> <p>Vigor de la planta: <u>alta</u></p> <p><input type="checkbox"/> Agronómica</p> <p>Tipo: _____</p> <p>% Frecuencia de ejecución _____</p>
<p>Rasgos de degradación de suelo</p> <p><input type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada _____</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Surcos: No. <u>2</u>; ancho prom (m) <u>0.50</u>; profundidad prom (m) <u>0.15</u></p> <p><input type="checkbox"/> Pedestales: No. _____; altura prom (m) _____</p> <p><input type="checkbox"/> Cárcavas: No. _____; ancho borde prom (m) _____; ancho base prom (m) _____; profundidad prom (m) _____</p> <p><input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Terracetas: % de área afectada: <u>10 %</u></p> <p><input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____</p> <p><input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____</p>	
<p>Observaciones: Las líneas de maguey no siguen las curvas de nivel, se encuentran dispuestas a diferente espaciamiento y en bajas densidades. Del total de la superficie apoyada, solamente en la mitad se instalaron las plantas de maguey.</p>	

Sitio 8: Líneas de maguey



Mapa de localización de la práctica

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro

Tipo de vegetación: Cultivos de temporal

% de cobertura: herbáceo: 60% ; arbustivo: 5% arbóreo: 5%

Tipo de suelo: Leptosol húmico

Porcentaje de pedregosidad: 5%

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: sí

- Perennes
- Intermitentes

Clima: C (w2) templado subhúmedo

Precipitación media anual (mm): 850 a 900



Reforestación con agave

No. Sitio: 8 ; **Predio:** Ejido La Barranca

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2019

Superficie donde se aplicó la práctica: 0.172 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: _____

No. de obras por ha _____

Ancho de la estructura (m) _____ Largo (m) _____

Espaciamiento entre estructura _____

% Deterioro de la estructura _____

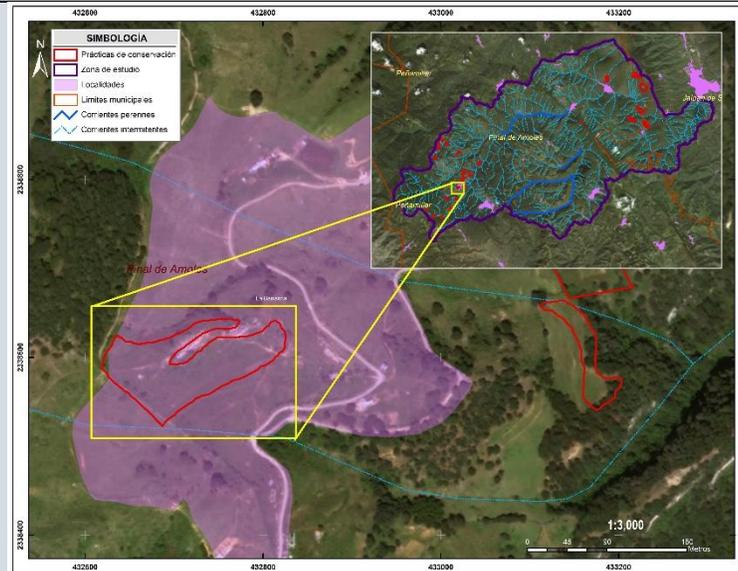
Vegetativa

Tipo: Líneas de maguey con diferentes estados vegetativos

% Supervivencia de la vegetación: 30 %

	Vigor de la planta: <u>alta</u> Especies nativas: (si/no): si _____ <input type="checkbox"/> Agronómica Tipo: _____ % Frecuencia de ejecución _____
Rasgos de degradación de suelo	
<input type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada _____ <input type="checkbox"/> Surcos: No. _____; ancho prom (m) _____; profundidad prom (m) _____ <input type="checkbox"/> Pedestales: No. _____; altura prom (m) _____ <input checked="" type="checkbox"/> Cárcavas: No. <u>1</u> ; ancho borde prom (m) <u>0.60</u> ; ancho base prom (m) <u>35</u> ; profundidad prom (m) <u>20</u> <input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____ % <input type="checkbox"/> Terracetas: % de área afectada _____ <input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____ <input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____	
Observaciones finales	
Se encuentran en terrenos agrícolas sobre laderas con pendiente pronunciada. Presentan erosión en cárcavas. La planta no está dispuesta en línea más bien tienen la apariencia de una reforestación.	

Sitio 12: Líneas de maguey y presas de piedra acomodada



Mapa de localización de la práctica



Reforestación con pino-cedro

No. Sitio: 12 ; **Predio:** Ejido La Barranca

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2019

Superficie donde se aplicó la práctica: 1.226 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro

Tipo de vegetación: Agricultura de temporal (maíz)

Tipo de suelo: Luvisol crómico

Textura del suelo: Franco arcilloso

Carbono orgánico: 2.56 %

Estructura: Granular gruesa

Permeabilidad: Lenta a moderada

Porcentaje de pedregosidad: 10%

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

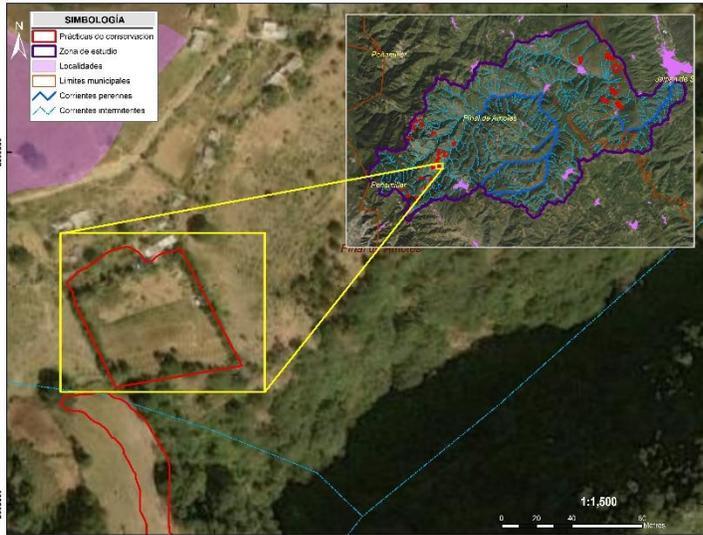
Condición actual de la práctica

Estructural
 Tipo: Presas de piedras acomodada sobre escurrimiento intermitente.
 No. de obras: 10 Ancho promedio de la estructura (m) 0.90 Largo prom (m) 4.63 Altura prom (m): 0.60
 Espaciamiento entre estructura: 10
 % Deterioro de la estructura 20

Vegetativa
 Tipo: Establecimiento de líneas de maguey

<p>Intercepción con escurrimientos: <u>sí</u></p> <p><input type="checkbox"/> Perennes <input checked="" type="checkbox"/> Intermitentes</p> <p>Clima: <u>C (w2) templado subhúmedo</u></p> <p>Precipitación media anual (mm): <u>850-900</u></p>	<p>% Supervivencia de la vegetación: <u>55 %</u></p> <p>Vigor de la planta: <u>alta</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Agronómica</td> </tr> </table> <p>Tipo: _____</p> <p>% Frecuencia de ejecución _____</p>		Agronómica
	Agronómica		
<p>Rasgos de degradación de suelo</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada <u>20</u></p> <p><input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m)____; profundidad prom (m)_____</p> <p><input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m)_____</p> <p><input type="checkbox"/> Cárcavas: No. __; ancho borde prom (m)____; ancho base prom (m)____; profundidad prom (m)____</p> <p><input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____%</p> <p><input type="checkbox"/> Terracetas: % de área afectada _____</p> <p><input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m)_____</p> <p><input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm)_____</p>			
<p>Observaciones: Se encuentra en terrenos agrícola sobre ladera con pendiente muy pronunciada. Se encontró líneas de maguey en diferentes estados de crecimiento cubriendo el 60 % de la superficie apoyada. Sobre el cauce del escurrimiento intermitente se localizaron presas de piedra acomodada las cuales necesitan mantenimiento. No hay evidencia de cárcavas que justifiquen la construcción de presas, que son más funcionales cuando existe remoción en masa.</p>			

Sitio 13: Líneas de maguey intercaladas con pino-cedro



Mapa de localización de la práctica



Reforestación con pino-cedro

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro _____

Tipo de vegetación: Cultivos anuales

% de cobertura: herbáceo: 30% ; arbustivo: 10% arbóreo: _____

Tipo de suelo: Luvisol crómico

Textura del suelo: Franco arcillosa

Carbono orgánico: 4.02 %

Estructura: Subangular en bloques

Permeabilidad: Lenta a moderada

Porcentaje de pedregosidad: 10%

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclínada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: no

- Perennes
- Intermitentes

No. Sitio: 13 ; **Predio:** Ejido La Barranca

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2019

Superficie donde se aplicó la práctica: 0.508 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro _____

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: _____

No. de obras por ha _____

Ancho de la estructura (m) _____ Largo (m) _____

Espaciamiento entre estructura _____

% Deterioro de la estructura _____

Vegetativa

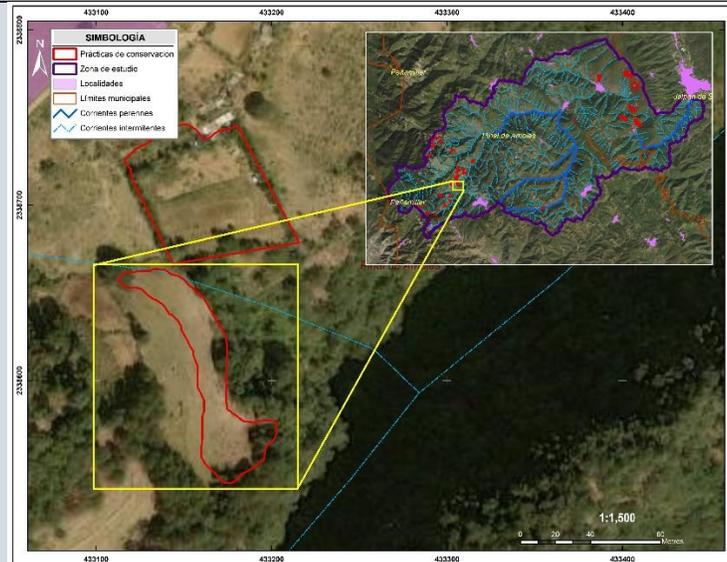
Tipo: Líneas de maguey, intercaladas con reforestación de pino-cedro, espaciamiento entre planta 3 x 2 m

% Supervivencia de la vegetación: 30%

<p>Clima: <u>C (w2) templado subhúmedo</u></p> <p>Precipitación media anual (mm): _____</p> <p>Intensidad de la lluvia: _____</p>	<p>Vigor de la planta: <u>media</u></p> <p>Especies nativas: (si/no): <u>si</u></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="background-color: #e6f2ff; text-align: center;">Agronómica</td> </tr> </table> <p>Tipo: _____</p> <p>% Frecuencia de ejecución _____</p>	Agronómica
Agronómica		
<p>Rasgos de degradación de suelo</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada <u>30</u></p> <p><input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m)____; profundidad prom (m)_____</p> <p><input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m)_____</p> <p><input type="checkbox"/> Cárcavas: No. __; ancho borde prom (m)____; ancho base prom (m)____; profundidad prom (m)____</p> <p><input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____</p> <p><input type="checkbox"/> Terracetas: % de área afectada _____</p> <p><input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____</p> <p><input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____</p>		
<p>Observaciones: Se encuentra en terreno agrícola sobre ladera con pendiente muy pronunciada. Presenta erosión laminar. Se encontró magüey intercalados con pino-cedro, los pinos se encuentran en su mayoría secos, los cedros fueron más resistentes. El dueño del predio permite el ingreso de su ganado (borregas) quienes dañan físicamente a la planta.</p>		



Sitio 14: Reforestación con pino-cedro



Mapa de localización de la práctica

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro _____

Tipo de vegetación: Sin cultivos

Tipo de suelo: Luvisol crómico

Porcentaje de pedregosidad: 10%

Profundidad del suelo (cm) _____

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclínada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: si

- Perennes
- Intermitentes

Clima: C (w2) templado subhúmedo

Precipitación media anual (mm): 800 a 850



Reforestación con pino-cedro

No. Sitio: 14 ; **Predio:** Ejido La Barranca

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2019

Superficie donde se aplicó la práctica: 0.299 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro _____

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: _____

No. de obras por ha _____

Ancho de la estructura (m) _____ Largo (m) _____

Espaciamiento entre estructura _____

% Deterioro de la estructura _____

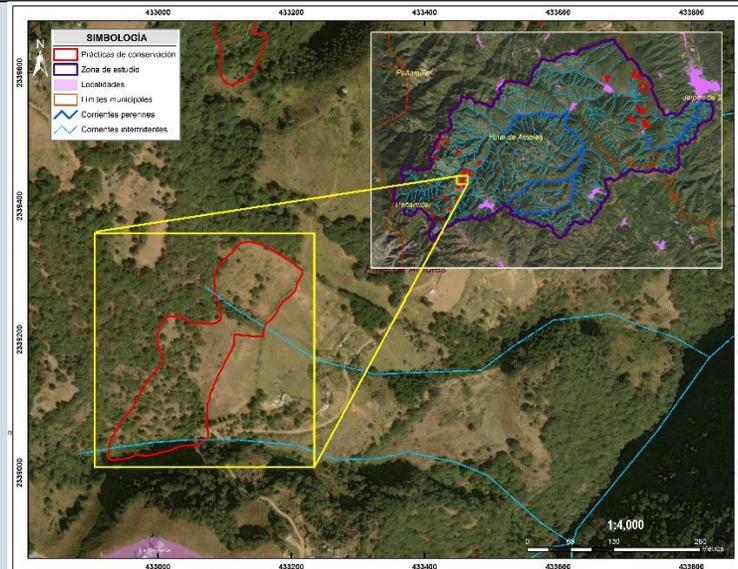
Vegetativa

Tipo: Reforestación de pino-cedro, espaciamiento entre planta 3 x 2 m

% Supervivencia de la vegetación: 65%

	Vigor de la planta: <u>alta</u> Especies nativas: (si/no): <u>si</u> <input type="checkbox"/> Agronómica Tipo: _____ % Frecuencia de ejecución _____
Rasgos de degradación de suelo	
<input checked="" type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada <u>20</u> <input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m)____; profundidad prom (m)____ <input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m)____ <input checked="" type="checkbox"/> Cárcavas: No. <u>1</u> ; ancho borde prom (m) <u>4.5</u> ; ancho base prom (m) <u>5</u> ; profundidad prom (m) <u>2</u> <input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____ <input type="checkbox"/> Terracetos: % de área afectada _____ <input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m)____ <input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm)_____	
Observaciones: Se encuentra en terreno agrícola sobre ladera con pendiente pronunciada. Presenta erosión laminar y en cárcavas. Se reforestó con pino-cedro; la planta se encontró en buen estado, aproximadamente con un 65 % de sobrevivencia de la planta.	

Sitio 15: Líneas maguey



Mapa de localización de la práctica



Líneas de maguey

No. Sitio: 15 ; **Predio:** Ejido La Barranca

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2019

Superficie donde se aplicó la práctica: 3.520 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: _____

No. de obras por ha _____

Ancho de la estructura (m) _____ Largo (m) _____

Espaciamiento entre estructura _____

% Deterioro de la estructura _____

Vegetativa

Tipo: Líneas de maguey en estado maduro

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro _____

Tipo de vegetación: Pastos anuales

Tipo de suelo: Leptosol húmico

Porcentaje de pedregosidad: 10%

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: si _____

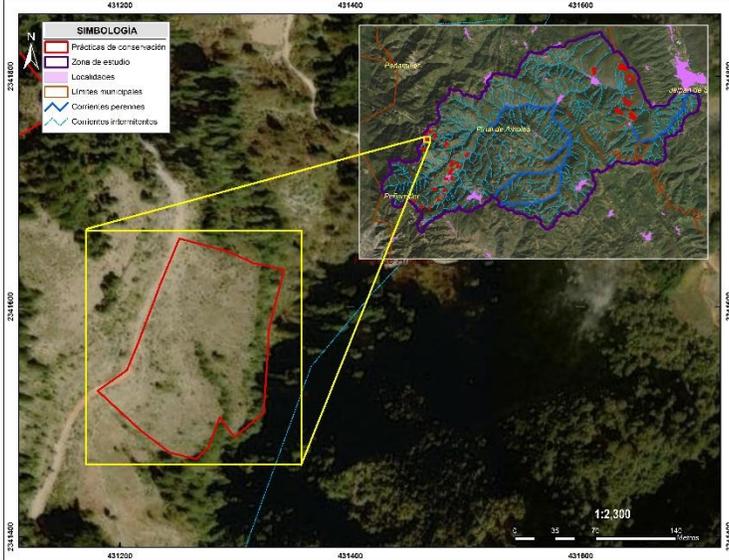
- Perennes
- Intermitentes

Clima: C (w2) templado subhúmedo

Precipitación media anual (mm): 800-850

	% Supervivencia de la vegetación: <u>70%</u> Vigor de la planta: <u>alta</u> Especies nativas: (si/no): <u>si</u> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Agronómica</div> Tipo: _____ % Frecuencia de ejecución _____
Rasgos de degradación de suelo	
<input checked="" type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada <u>35</u> <input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m) _____; profundidad prom (m) _____ <input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m) _____ <input type="checkbox"/> Cárcavas: No. ____; ancho borde prom (m) ____; ancho base prom (m) ____; profundidad prom (m) ____ <input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____ <input checked="" type="checkbox"/> Terracetos: % de área afectada <u>15</u> <input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____ <input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____	
Observaciones: Se presenta sobre terreno pecuario con pendiente pronunciada, se trata únicamente de líneas de maguey en diferentes estados de crecimiento (en su mayoría maduro). Del total de la superficie apoyada el 30% presenta líneas de maguey.	

Sitio 22: Reforestación pino-cedro



Mapa de localización de la práctica



Reforestación pino-cedro

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro

Tipo de vegetación: Pastos naturales

% de cobertura: herbáceo: 70 % ; arbustivo: 10 % arbóreo: 5 %

Tipo de suelo: Leptosol húmico

Porcentaje de pedregosidad: 10%

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: no

- Perennes
- Intermitentes

No. Sitio: 22 ; **Predio:** Localidad El Llano de San Francisco

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2020

Superficie donde se aplicó la práctica: 1.847 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro

Condición actual de la práctica

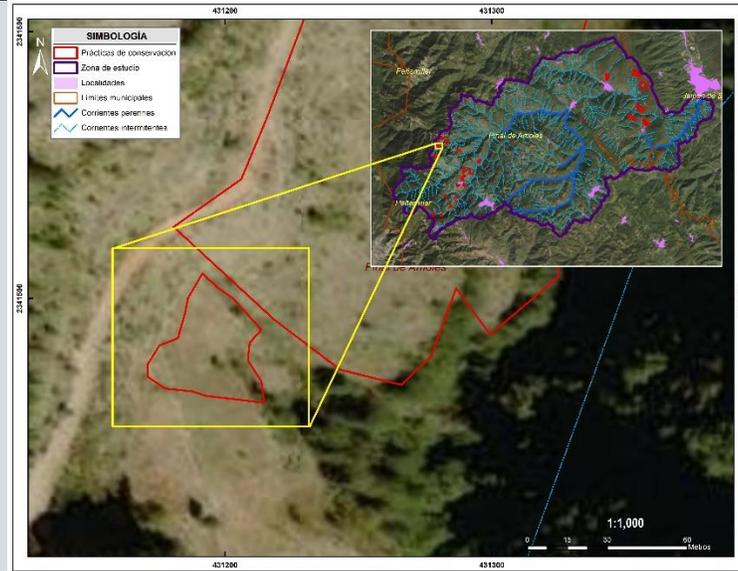
Estructural

Tipo: _____

No. de obras por ha _____

<p>Clima: C (w2) templado subhúmedo _____</p> <p>Precipitación media anual (mm): 800 a 850 _____</p>	<p>Ancho de la estructura (m) _____ Largo (m) _____</p> <p>Espaciamiento entre estructura _____</p> <p>% Deterioro de la estructura _____</p> <p>Vegetativa</p> <p>Tipo: Reforestación de pino-cedro (30 cm de altura), espaciamiento 3 x 3 m.</p> <p>% Supervivencia de la vegetación: 65% _____</p> <p>Vigor de la planta: media _____</p> <p>Agronómica</p> <p>Tipo: _____</p> <p>% Frecuencia de ejecución _____</p>
<p>Rasgos de degradación de suelo</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> No se observa</p> <p><input type="checkbox"/> Erosión laminar. Porcentaje de área afectada _____</p> <p><input type="checkbox"/> Surcos. No. ____; ancho prom (m) _____; profundidad prom (m) _____</p> <p><input type="checkbox"/> Pedestales. No. ____; altura prom (m) _____</p> <p><input type="checkbox"/> Cárcavas. No. ____; ancho borde prom (m) ____; ancho base prom (m) ____; profundidad prom (m) ____</p> <p><input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____</p> <p><input type="checkbox"/> Terracetas: % de área afectada _____</p> <p><input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____</p> <p><input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____</p>	
<p>Observaciones: Se presenta sobre terrenos de pastoreo con pendiente pronunciada, la reforestación se realizó con pino-cedro, algunas plantas no sobrevivieron. En la zona se observó el pastoreo de ganado ovino.</p>	

Sitio 23: Terrazas agrícolas



Mapa de localización de la práctica



Terrazas agrícolas

No. Sitio: 23 ; **Localización:** Localidad El Llano de San Francisco

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2020

Superficie donde se aplicó la práctica: 0.124 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro: _____

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: Terrazas agrícolas

No. de obras 3 Ancho promedio (m) 0.40 Largo (m) 16 Altura (m) 2.10

Espaciamiento entre estructura 6

% Deterioro de la estructura 10

Vegetativa

Tipo: _____

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro

Tipo de vegetación: Cultivos anuales (maíz)

% de cobertura: herbáceo: 60% ; arbustivo: _____ arbóreo: _____

Tipo de suelo: Leptosol húmico

Textura del suelo: Franco arcilloso arenoso

Carbono orgánico: 7.67 %

Estructura: Granular media

Permeabilidad: Lenta a Moderada

Porcentaje de pedregosidad: 5 %

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

<p>Intercepción con escurrimientos: <u>no</u></p> <p><input type="checkbox"/> Perennes <input type="checkbox"/> Intermitentes</p> <p>Clima: <u>C (w2) templado subhúmedo</u></p> <p>Precipitación media anual (mm): <u>800-850</u></p>	<p>% Supervivencia de la vegetación: _____</p> <p>Vigor de la planta: _____</p> <p><input type="checkbox"/> Agronómica</p> <p>Tipo: _____</p> <p>% Frecuencia de ejecución _____</p>
<p>Rasgos de degradación de suelo</p> <p><input type="checkbox"/> No se observa</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada <u>10</u></p> <p><input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m)____; profundidad prom (m)_____</p> <p><input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m)_____</p> <p><input type="checkbox"/> Cárcavas: No. __; ancho borde prom (m)____; ancho base prom (m)____; profundidad prom (m)____</p> <p><input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Terracetas: % de área afectada <u>10</u></p> <p><input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m)_____</p> <p><input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm)_____</p>	
<p>Observaciones: Se presentó evidencia de erosión laminar y en terracetas. Las terrazas se encuentran en buen estado posiblemente se les da mantenimiento anualmente debido a que tiene una finalidad agrícola.</p>	

Sitio 24: Reforestación pino-cedro y presas de piedra acomodada



Mapa de localización de la práctica



Reforestación pino-cedro y presas de piedra acomodada

No. Sitio: 24; **Localización:** Localidad El Llano de San Francisco

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2020

Superficie donde se aplicó la práctica: 0.982 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro _____

Tipo de vegetación: Bosque de pino

% de cobertura: herbáceo: 30% ; arbustivo: 20% arbóreo: 15%

Tipo de suelo: Leptosol húmico

Textura del suelo: Franco arenoso

Materia orgánica (COT): 8.27%

Estructura: Granular gruesa

Permeabilidad: Moderada a rápida

Porcentaje de pedregosidad: 15%

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: si

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro _____

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: Presas de piedra acomodada

No. de obras 4 Ancho promedio de la estructura (m) 1 Largo prom. (m) 12.20 Alto prom (m) 1.28

Espaciamiento entre estructura 20

% Deterioro de la estructura 60

Vegetativa

Tipo: Reforestación de pino-cedro

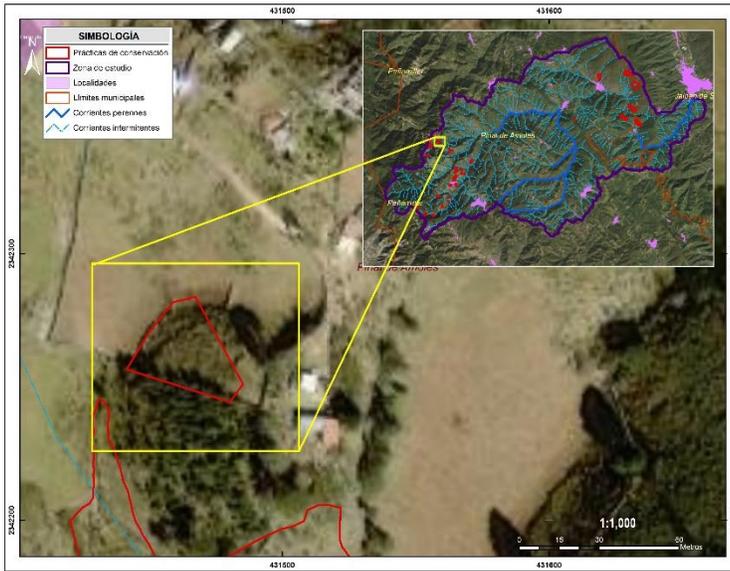
% Supervivencia de la vegetación: 55%

Vigor de la planta: media

Agronómica

<input type="checkbox"/> Perennes <input checked="" type="checkbox"/> Intermitentes Clima: <u>C (w2) templado subhúmedo</u> Precipitación media anual (mm): <u>800-850</u>	Tipo: _____ % Frecuencia de ejecución _____
Rasgos de degradación de suelo <input checked="" type="checkbox"/> No se observa <input type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada _____ <input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m) _____; profundidad prom (m) _____ <input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m) _____ <input type="checkbox"/> Cárcavas: No. ____; ancho borde prom (m) ____; ancho base prom (m) ____; profundidad prom (m) ____ <input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____ <input type="checkbox"/> Terracetas: % de área afectada _____ <input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____ <input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____	
Observaciones: Actualmente el suelo se encuentra protegido con herbáceas y arbustivas, no se observaron rasgo de degradación. La reforestación es reciente (2020) pero las presas tienen años de ser construidas puesto que han alcanzado su máxima capacidad para retener sedimentos.	

Sitio 26: Reforestación pino-cedro



Mapa de localización de la práctica



Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro _____

Tipo de vegetación: Pastos silvestres

Tipo de suelo: Leptosol húmico

Porcentaje de pedregosidad: 15%

Profundidad del suelo (cm) _____

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: colina

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclínada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: no

- Perennes
- Intermitentes

Clima: C (w2) templado subhúmedo

Precipitación media anual (mm): 800 a 850

No. Sitio: 26; **Localización:** Localidad El Llano de San Francisco

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2020

Superficie donde se aplicó la práctica: 0.092 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrenría
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro _____

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: Programa PROREST de la CONANP
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: _____

No. de obras por ha _____

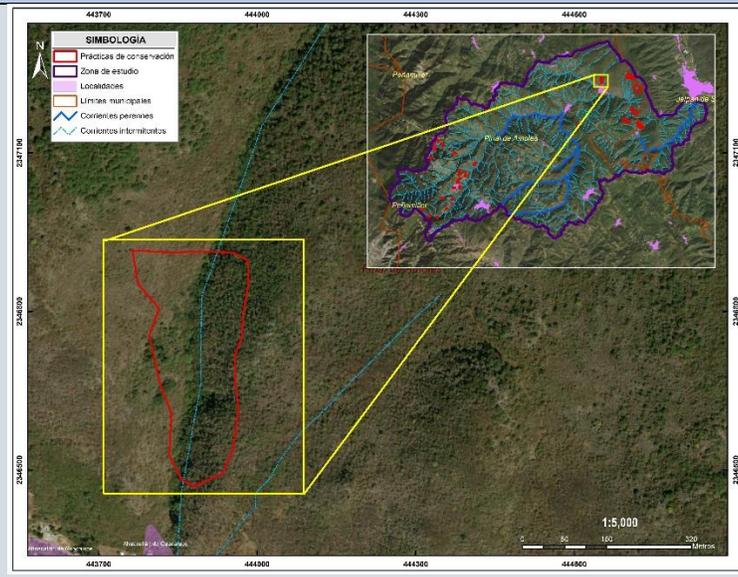
Ancho de la estructura (m) _____ Largo (m) _____

Espaciamiento entre estructura _____

% Deterioro de la estructura _____

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: black; color: white; text-align: center;">Vegetativa</td> </tr> <tr> <td>Tipo: Reforestación de pino-cedro</td> </tr> <tr> <td>% Supervivencia de la vegetación: <u>60%</u></td> </tr> <tr> <td>Vigor de la planta: <u>media</u></td> </tr> <tr> <td style="background-color: black; color: white; text-align: center;">Agronómica</td> </tr> <tr> <td>Tipo: _____</td> </tr> <tr> <td>% Frecuencia de ejecución _____</td> </tr> </table>	Vegetativa	Tipo: Reforestación de pino-cedro	% Supervivencia de la vegetación: <u>60%</u>	Vigor de la planta: <u>media</u>	Agronómica	Tipo: _____	% Frecuencia de ejecución _____											
Vegetativa																			
Tipo: Reforestación de pino-cedro																			
% Supervivencia de la vegetación: <u>60%</u>																			
Vigor de la planta: <u>media</u>																			
Agronómica																			
Tipo: _____																			
% Frecuencia de ejecución _____																			
Rasgos de degradación de suelo																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>No se observa</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Erosión laminar: % de área afectada <u>23</u></td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>Surcos: No. ____; ancho prom (m)____; profundidad prom (m)_____</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>Pedestales: No. ____; altura prom (m)_____</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>Cárcavas: No. __; ancho borde prom (m)____; ancho base prom (m)____; profundidad prom (m)____</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>Montículos: % de área afectada:_____</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Terracetas: % de área afectada <u>10</u></td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>Remontantes: % de área afectada:____; profundidad prom. de la pared (m)_____</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm)_____</td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/>	No se observa	<input checked="" type="checkbox"/>	Erosión laminar: % de área afectada <u>23</u>	<input type="checkbox"/>	Surcos: No. ____; ancho prom (m)____; profundidad prom (m)_____	<input type="checkbox"/>	Pedestales: No. ____; altura prom (m)_____	<input type="checkbox"/>	Cárcavas: No. __; ancho borde prom (m)____; ancho base prom (m)____; profundidad prom (m)____	<input type="checkbox"/>	Montículos: % de área afectada:_____	<input checked="" type="checkbox"/>	Terracetas: % de área afectada <u>10</u>	<input type="checkbox"/>	Remontantes: % de área afectada:____; profundidad prom. de la pared (m)_____	<input type="checkbox"/>	Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm)_____
<input type="checkbox"/>	No se observa																		
<input checked="" type="checkbox"/>	Erosión laminar: % de área afectada <u>23</u>																		
<input type="checkbox"/>	Surcos: No. ____; ancho prom (m)____; profundidad prom (m)_____																		
<input type="checkbox"/>	Pedestales: No. ____; altura prom (m)_____																		
<input type="checkbox"/>	Cárcavas: No. __; ancho borde prom (m)____; ancho base prom (m)____; profundidad prom (m)____																		
<input type="checkbox"/>	Montículos: % de área afectada:_____																		
<input checked="" type="checkbox"/>	Terracetas: % de área afectada <u>10</u>																		
<input type="checkbox"/>	Remontantes: % de área afectada:____; profundidad prom. de la pared (m)_____																		
<input type="checkbox"/>	Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm)_____																		
Observaciones: La baja supervivencia de la reforestación puede deberse a que se plantó fuera del periodo de lluvias.																			

Sitio 33 Presas de piedra acomodada



Mapa de localización de la práctica



No. Sitio: 33; **Localización:** Ejido Ahuacatlán
Municipio: Pinal de Amoles
Año de instalación: 2019
Superficie donde se aplicó la práctica: 6.586
Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro _____

Tipo de vegetación: Selva baja caducifolia

% de cobertura: herbáceo: 30% ; arbustivo: 35% arbóreo: 35%

Tipo de suelo: Regosol húmico

Textura del suelo: Franca

Carbono orgánico (COT): 8.6 %

Estructura: Granular gruesa

Permeabilidad: Moderada

Porcentaje de pedregosidad: 20%

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Cañada

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclínada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: si

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro _____

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: CONAFOR
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

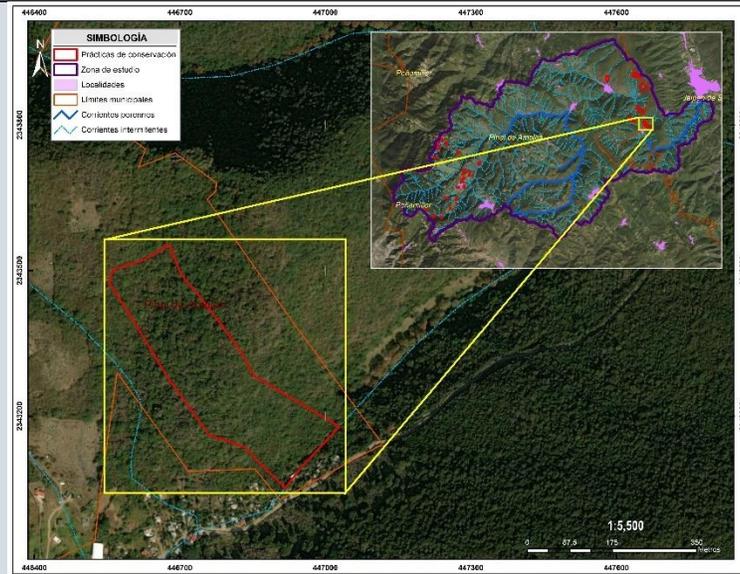
Condición actual de la práctica

Estructural
 Tipo: Presas de piedra acomodada
 No. de obras: 6 Ancho promedio de la estructura (m): 0.70
 Largo prom (m): 6 Alto prom (m): 1.5
 Espaciamiento entre estructura (m) 10
 % Deterioro de la estructura 80

Vegetativa
 Tipo: _____
 % Supervivencia de la vegetación: _____
 Vigor de la planta: _____

<input type="checkbox"/> Perennes <input checked="" type="checkbox"/> Intermitentes Clima: (A) C(w0) (w) semicálido subhúmedo Precipitación media anual (mm): <u>950 a 1000</u>	Especies nativas: (si/no): <input type="checkbox"/> Agronómica Tipo: _____ % Frecuencia de ejecución _____
Rasgos de degradación de suelo <input checked="" type="checkbox"/> No se observa <input type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada _____ <input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m)____; profundidad prom (m)____ <input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m)____ <input type="checkbox"/> Cárcavas: No. __; ancho borde prom (m)____; ancho base prom (m)____; profundidad prom (m)____ <input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____ <input type="checkbox"/> Terracetos: % de área afectada _____ <input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m)____ <input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm)_____	
Observaciones: Las barreras de piedra acomodada se encuentran bastante deterioradas sobre el cauce de un escurrimiento intermitente, en un sitio poco accesibles. Presenta abundante cobertura vegetal.	

Sitio 34 Barreras de piedra acomodada



Mapa de localización de la práctica



No. Sitio: 34; **Localización:** Ejido Pitzquintla

Municipio: Jalpan de Serra

Año de instalación: 2017

Superficie donde se aplicó la práctica: 8.101 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro _____

Tipo de vegetación: Bosque de transición entre Encino y Selva baja caducifolia

% de cobertura: herbáceo: 25% ; arbustivo: 50% arbóreo: 25%

Tipo de suelo: Regosol húmico

Textura del suelo: Franco arenosa

Carbono orgánico: 12.07 %

Estructura: Granular media

Permeabilidad: Moderada a rápida

Porcentaje de pedregosidad: 20 %

Profundidad del suelo (cm) _____

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclined (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro _____

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: CONAFOR
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

Condición actual de la práctica

Estructural

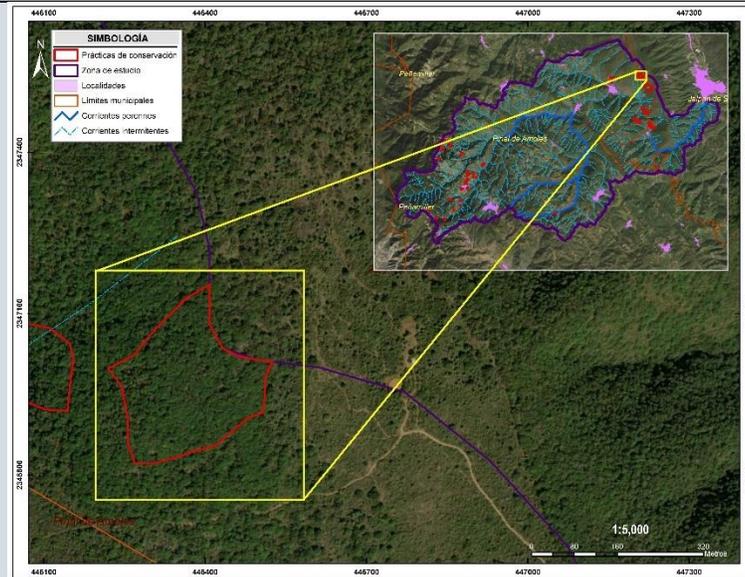
Tipo: Barreras de piedra acomodada a curvas de nivel
 No. de obras: 1 Ancho promedio de la estructura (m): 0.70
 Largo prom (m): 30 Alto prom: 1.5
 Espaciamiento entre estructura: no aplica
 % Deterioro de la estructura 30

Vegetativa

Tipo: _____
 % Supervivencia de la vegetación: _____

<input type="checkbox"/> Plana (0-2) Intercepción con escurrimientos: <u>si</u> <input type="checkbox"/> Perennes <input checked="" type="checkbox"/> Intermitentes Clima: <u>(A) C(w0) (w) semicálido subhúmedo</u> Precipitación media anual (mm): <u>900 a 950</u>	Vigor de la planta: _____ Especies nativas: (si/no): _____ <input type="checkbox"/> Agronómica Tipo: _____ % Frecuencia de ejecución _____
Rasgos de degradación de suelo <input checked="" type="checkbox"/> No se observa <input type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada _____ <input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m) _____; profundidad prom (m) _____ <input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m) _____ <input type="checkbox"/> Cárcavas: No. __; ancho borde prom (m) ____; ancho base prom (m) ____; profundidad prom (m) ____ <input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____ <input type="checkbox"/> Terracetos: % de área afectada _____ <input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____ <input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____	
Observaciones: Las barreras de piedra se encuentran en un área muy conservada con vegetación de selva baja caducifolia sin evidencia de erosión. Solo en algunas secciones la barrera requiere de mantenimiento (reacomodo de piedra)	

Sitio 38 Cordones de ramas



Mapa de localización de la práctica



No. Sitio: 38; **Localización:** Ejido Huajales
Municipio: Jalpan de Serra
Año de instalación: 2014
Superficie donde se aplicó la práctica: 5.559 ha
Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro

Tipo de vegetación: Bosque de encino-pino

% de cobertura: herbáceo: 10 % ; arbustivo: 20 % arbóreo: 50 %

Tipo de suelo: Leptosol éutrico lítico

Porcentaje de pedregosidad: 14 %

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Ladera de montaña

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: no

- Perennes
- Intermitentes

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: CONAFOR
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro: _____

Condición actual de la práctica

Estructural

Tipo: Cordones de ramas

No. de obras dentro del polígono: 6 cordones

Ancho de la estructura (m) 0.35 Largo (m) 7

Espaciamiento entre estructura 8

% Deterioro de la estructura 70

Vegetativa

Tipo: _____

% Sobrevivencia de la vegetación: _____

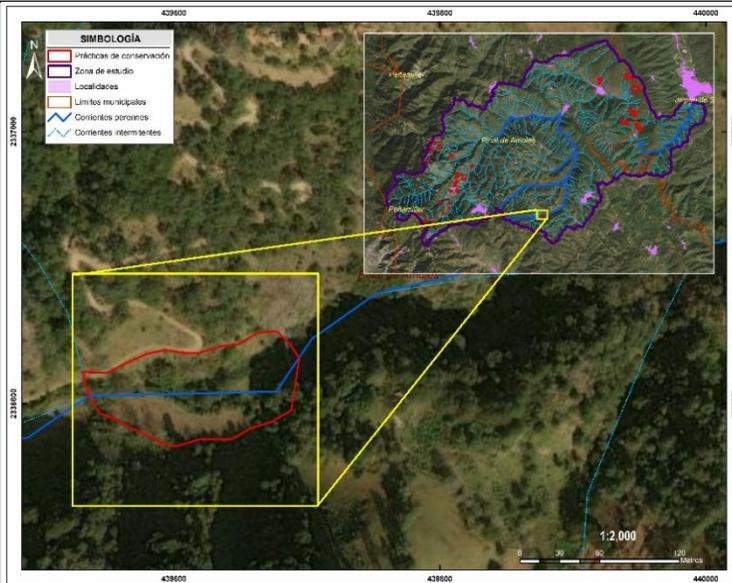
Vigor de la planta: _____

Especies nativas: (si/no): _____

Agronómica

Clima: <u>(A) C(w0) (w) semicálido subhúmedo</u> Precipitación media anual (mm): <u>900 a 950</u>	Tipo: _____ % Frecuencia de ejecución _____
Rasgos de degradación de suelo	
<input checked="" type="checkbox"/> No se observa	
<input type="checkbox"/> Erosión laminar: % de área afectada _____	
<input type="checkbox"/> Surcos: No. ____; ancho prom (m) _____; profundidad prom (m) _____	
<input type="checkbox"/> Pedestales: No. ____; altura prom (m) _____	
<input type="checkbox"/> Cárcavas: No. ____; ancho borde prom (m) ____; ancho base prom (m) ____; profundidad prom (m) ____	
<input type="checkbox"/> Montículos: % de área afectada: _____	
<input type="checkbox"/> Terracetas: % de área afectada _____	
<input type="checkbox"/> Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____	
<input type="checkbox"/> Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____	
Observaciones: Los cordones de ramas se construyeron sobre escurrimientos intermitentes y en laderas para retener suelo, su estructura actualmente se encuentra muy deteriorada y no hay evidencia de material retenido.	

Sitio 40 Presas de mampostería y piedra acomodada



Mapa de localización de la práctica



No. Sitio: 40; **Localización:** Agua Amarga

Municipio: Pinal de Amoles

Año de instalación: 2010

Superficie donde se aplicó la práctica: 0.906 ha

Zona funcional de la microcuenca donde se localiza la práctica:

- Alta/captación
- Media/almacenamiento
- Baja/descarga

Tipo de práctica

- Agronómica
- Vegetativa
- Estructural

Objetivo de la práctica

- Mitigación de la erosión
- Control de escorrentía
- Incremento de cobertura protectora del suelo
- Mejorar la productividad
- Otro

Origen de la práctica

- Investigación: _____
- Subsidios: _____ Grupo _____ Ecológico _____ Sierra Gorda I.A.P. _____
- Iniciativa usuarios de la tierra: _____
- Otro _____

Condición actual de la práctica

- Estructural**
- Tipo: Presas de piedra acomodada consecutivas finalizando aguas abajo con una presa de mampostería
- No. de obras dentro del polígono: 4 presas de piedra acomodada (PA) y 1 presa de mampostería (PM)
- Ancho de la estructura (m) 1 (PA) y 2.5 (PM) Largo (m) 10 (PA) y 25 (PM)
- Espaciamiento entre estructura 20 (PA)
- % Deterioro de la estructura: 15

Uso de la tierra

- Agrícola
- Tierras de pastoreo
- Forestal
- Abandonado
- Otro _____

Tipo de vegetación: Agricultura de temporal anual

% de cobertura: herbáceo: 40 % ; arbustivo: 30 % arbóreo: 10 %

Tipo de suelo: Luvisol crómico

Porcentaje de pedregosidad: 14 %

Profundidad del suelo (cm)

- 0-20
- 20-50
- 50-80
- 80-120
- > 120

Forma del terreno y orientación: Llanura aluvial

Pendiente (%)

- Muy escarpada (>60)
- Escarpada (30-60)
- Inclinada (16-30)
- Poco inclinada (8-16)
- Pendiente ligera (5-8)
- Casi plana (2-5)
- Plana (0-2)

Intercepción con escurrimientos: si

- Perennes
- Intermitentes

<p>Clima: <u>(A) C(w0) (w) semicálido subhúmedo</u></p> <p>Precipitación media anual (mm): _____</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="912 191 1580 222">Vegetativa</td> </tr> <tr> <td data-bbox="912 226 1580 258">Tipo: _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="912 262 1580 294">% Supervivencia de la vegetación: _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="912 298 1580 329">Vigor de la planta: _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="912 333 1580 365">Especies nativas: (si/no): _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="912 369 1580 401">Agronómica</td> </tr> <tr> <td data-bbox="912 405 1580 436">Tipo: _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="912 441 1580 472">% Frecuencia de ejecución _____</td> </tr> </table>	Vegetativa	Tipo: _____	% Supervivencia de la vegetación: _____	Vigor de la planta: _____	Especies nativas: (si/no): _____	Agronómica	Tipo: _____	% Frecuencia de ejecución _____										
Vegetativa																			
Tipo: _____																			
% Supervivencia de la vegetación: _____																			
Vigor de la planta: _____																			
Especies nativas: (si/no): _____																			
Agronómica																			
Tipo: _____																			
% Frecuencia de ejecución _____																			
<p>Rasgos de degradación de suelo</p>																			
<table border="1"> <tr> <td data-bbox="138 497 180 529"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td data-bbox="183 497 1580 529">No se observó</td> </tr> <tr> <td data-bbox="138 533 180 564"><input type="checkbox"/></td> <td data-bbox="183 533 1580 564">Erosión laminar: % de área afectada _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="138 569 180 600"><input type="checkbox"/></td> <td data-bbox="183 569 1580 600">Surcos: No. ____; ancho prom (m) _____; profundidad prom (m) _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="138 604 180 636"><input type="checkbox"/></td> <td data-bbox="183 604 1580 636">Pedestales: No. ____; altura prom (m) _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="138 640 180 672"><input type="checkbox"/></td> <td data-bbox="183 640 1580 672">Cárcavas: No. ____; ancho borde prom (m) ____; ancho base prom (m) ____; profundidad prom (m) ____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="138 676 180 707"><input type="checkbox"/></td> <td data-bbox="183 676 1580 707">Montículos: % de área afectada: _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="138 711 180 743"><input type="checkbox"/></td> <td data-bbox="183 711 1580 743">Terracetas: % de área afectada _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="138 747 180 779"><input type="checkbox"/></td> <td data-bbox="183 747 1580 779">Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="138 783 180 814"><input type="checkbox"/></td> <td data-bbox="183 783 1580 814">Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____</td> </tr> </table>		<input checked="" type="checkbox"/>	No se observó	<input type="checkbox"/>	Erosión laminar: % de área afectada _____	<input type="checkbox"/>	Surcos: No. ____; ancho prom (m) _____; profundidad prom (m) _____	<input type="checkbox"/>	Pedestales: No. ____; altura prom (m) _____	<input type="checkbox"/>	Cárcavas: No. ____; ancho borde prom (m) ____; ancho base prom (m) ____; profundidad prom (m) ____	<input type="checkbox"/>	Montículos: % de área afectada: _____	<input type="checkbox"/>	Terracetas: % de área afectada _____	<input type="checkbox"/>	Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____	<input type="checkbox"/>	Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____
<input checked="" type="checkbox"/>	No se observó																		
<input type="checkbox"/>	Erosión laminar: % de área afectada _____																		
<input type="checkbox"/>	Surcos: No. ____; ancho prom (m) _____; profundidad prom (m) _____																		
<input type="checkbox"/>	Pedestales: No. ____; altura prom (m) _____																		
<input type="checkbox"/>	Cárcavas: No. ____; ancho borde prom (m) ____; ancho base prom (m) ____; profundidad prom (m) ____																		
<input type="checkbox"/>	Montículos: % de área afectada: _____																		
<input type="checkbox"/>	Terracetas: % de área afectada _____																		
<input type="checkbox"/>	Remontantes: % de área afectada: _____; profundidad prom. de la pared (m) _____																		
<input type="checkbox"/>	Encostramiento del suelo: Profundidad prom (mm) _____																		
<p>Observaciones: Las presas de piedra acomodada se encuentran sobre un escurrimiento de tipo intermitente (marcado en la cartografía como perenne), se encuentran equidistante a 25 metros, aguas abajo se localiza una presa de mampostería con grandes dimensiones indicando que en el pasado el caudal era bastante significativo. Las estructuras se encuentran aproximadamente con un 15 % de deterioro.</p>																			

