



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD DURANGO**

EVALUACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE OBRAS DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SUELOS EN BOSQUES TEMPLADOS

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL**

PRESENTA

ING. LORENA AMADOR SIERRA

DIRECTORES:

DR. GUSTAVO PÉREZ VERDÍN

DRA. MARÍA ELENA PÉREZ LÓPEZ



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-13
REP-2017

**ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS
Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS**

Ciudad de México, a 19 de enero del 2021

El Colegio de Profesores de Posgrado de IPN-CIIDIR Unidad Durango en su Sesión
(Unidad Académica)

Ordinaria No. 1 celebrada el día 18 del mes enero de 2021, conoció la solicitud
presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	AMADOR	Apellido Materno:	SIERRA	Nombre (s):	LORENA
-------------------	--------	-------------------	--------	-------------	--------

Número de registro: B 2 0 0 8 5 2

del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

Evaluación ambiental y económica de obras de conservación y restauración de suelos en bosques templados

Objetivo general del trabajo de tesis:

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: Dr. Gustavo Pérez Verdín 2° Director: Dra. María Elena Pérez López

No aplica: ☐

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

IPN- CIIDIR Unidad Durango

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis:

Dr. Gustavo Pérez Verdín

Aspirante:

Lorena Amador Sierra

2° Director de Tesis (en su caso)

Dra. María Elena Pérez López

Presidente del Colegio

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
IPN- CIIDIR DURANGO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

SIP-14
REP 2017

En la Ciudad de Durango siendo las 12:05 horas del día 04 del mes de noviembre del 2022, se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: CIIDIR IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada: **EVALUACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE OBRAS DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SUELOS EN BOSQUES TEMPLADOS**

Nombre del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Amador	Apellido Materno:	Sierra	Nombre (s):	Lorena
-------------------	--------	-------------------	--------	-------------	--------

Número de registro:

B 2 0 0 8 5 2

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Maestría en ciencias en Gestión Ambiental

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 3 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI ☐ NO ☒ **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*

El porcentaje de similitud reportado en software Turnitin es bajo

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** ☒ **SUSPENDER** ☐ **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** ☒ o **MAYORÍA** ☐ en virtud de los motivos siguientes:

No existen más comentarios o revisiones por parte de la comisión revisora

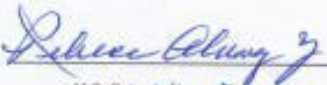
COMISIÓN REVISORA DE TESIS


Director de Tesis
Dr. Gustavo Pérez Verdín

2º Director de Tesis (en su caso)
Dra. María Elena Pérez López


Dr. Isaias Cháirez Hernández

Dr. José Ángel Prieto Rúa


M.C. Rebeca Álvarez Zagoys

Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES
PROFESORADO DE POSGRADO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTERIOR REGIONAL
IPN CIIDIR DURANGO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Durango, Dgo., el día 04 del mes de noviembre del año 2022, la que suscribe Lorena Amador Sierra alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental, con número de registro B1200852, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. CIIDIR-IPN Unidad Durango, manifiesta que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Gustavo Pérez Verdín y de la Dra. María Elena Pérez López y cede los derechos del trabajo titulado “EVALUACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE OBRAS DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SUELOS EN BOSQUES TEMPLADOS”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones lamadors2000@alumno.ipn.mx, guperezv@ipn.mx y mperezl@ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

LORENA AMADOR SIERRA

Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional
P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Lorena Amador Sierra (se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada EVALUACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE OBRAS DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SUELOS EN BOSQUES TEMPLADOS, en adelante "La Tesis" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales (la reproducción total o parcial del contenido de la tesis, así como su distribución en medios impresos o digitales con el debido reconocimiento de su autoría) "La Tesis" por un periodo de 5 (cinco) años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a "El IPN" de su terminación.

En virtud de lo anterior, "El IPN" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "La Tesis".

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de "La Tesis", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "La Tesis", por lo que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de "La Tesis" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

México, D. F., 04 de noviembre de 2022 .

Atentamente


Lorena Amador Sierra

La presente tesis fue realizada bajo la dirección del Dr. Gustavo Pérez Verdín y la codirección de la Dra. María Elena Pérez López, el levantamiento de información se realizó en las localidades de Los Altares, Bajíos del Pinto, Ciénega de Salpicalagua, El Cambray, Garamé de Abajo, San Nicolás de Arriba, San José de la Chaparra, Silvestre Revueltas y Laguna de la Chaparra del Municipio de Santiago Papasquiaro, Durango. El análisis y procesamiento de información fue realizado en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango (CIIDIR-IPN).

AGRADECIMIENTOS

Al CONACyT por el financiamiento para realizar los estudios de posgrado.

Al CIIDIR-IPN Unidad Durango por el apoyo brindado.

Al Comité Tutorial de este proyecto, en especial a los directores, gracias por todo.

A la UAF Santiago Papasquiaro y a las personas de las diferentes localidades por facilitar el trabajo para esta investigación.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
I ANTECEDENTES.....	3
1.1 Descripción de la erosión del suelo.....	3
1.2 Proceso de formación de una cárcava	3
1.3 Propiedades fisicoquímicas del suelo.....	4
1.3.1 Potencial Hidrogeno (pH)	4
1.3.2 Conductividad eléctrica	5
1.3.1 Materia orgánica.....	5
1.3.2 Carbono orgánico.....	6
1.3.3 Densidad.....	6
1.3.4 Textura.....	6
1.4 Factores geomorfológicos que influyen en la erosión del suelo.....	7
1.4.1 Pendiente	7
1.4.2 Sedimentación.....	7
1.5 El suelo y la coproducción de servicios ecosistémicos.....	8
1.6 Valoración de servicios ecosistémicos	8
1.6.1 Método del costo de reemplazo.....	9
1.7 Antecedentes de conservación y restauración de ecosistemas en México...	10
1.7.1 Obras y prácticas para el control de la erosión en laderas	11
1.7.2 Obras y prácticas para el control de la erosión en cárcavas	12
1.7.3 Diseño Hidrológico en Líneas Clave (DHLC)	13
1.7.4 Reforestación	13
1.8 Ordenación de cuencas hidrográficas	15
1.9 Antecedentes de desazolves en cuerpos de agua.	16

1.9.1	Vaso de la presa Abelardo L. Rodríguez, municipio de Tijuana.....	17
1.9.2	Encauzamiento y desazolve del rio Tunal del km. 2+340 al km 4+820, municipio de Durango, Dgo.	17
1.9.3	Limpieza y desazolve del rio san Agustín y Tecolapan, Veracruz.....	18
1.10	Experiencias anteriores sobre evaluación de obras de suelos.	18
II	JUSTIFICACIÓN.....	21
III	OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	22
3.1	Objetivo general	22
3.2	Objetivos específicos	22
3.3	Hipótesis	22
IV	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
4.1	Localización del área de estudio	23
4.2	Caracterización física de las presas filtrantes.....	25
4.2.1	Ubicación de presas filtrantes.....	25
4.2.2	Caracterización morfológica de las presas filtrantes	25
4.2.3	Cálculo del volumen de azolve	26
4.3	Análisis de las muestras de sedimentos en laboratorio.	27
4.3.1	Tratamiento de las muestras	27
4.3.2	Medición de pH y conductividad eléctrica.....	28
4.3.3	Análisis de materia orgánica.....	28
4.3.4	Determinación de materia orgánica del suelo (MOS) por el método de calcinación.....	29
4.3.5	Determinación del carbono orgánico del suelo (COS)	29
4.4	Efectos del manejo forestal en el volumen retenido de suelo por las obras de conservación.....	29

4.4.1	Análisis de los datos con STATISTICA 7.....	29
4.5	Determinación del valor económico de las presas por medio del costo de reemplazo.....	30
V	RESULTADOS.....	33
5.1	Caracterización física de las presas filtrantes.....	33
5.1.1	Ubicación de presas filtrantes.....	33
5.1.2	Caracterización morfológica de las presas filtrantes.....	33
5.1.3	Cálculo del volumen de azolve.....	34
5.2	Análisis de las muestras de sedimentos en laboratorio.....	34
5.3	Descripción de los efectos del volumen de vegetación y cobertura de copa en el volumen retenido por las presas.....	37
5.4	Valor económico de las presas filtrantes por la acción de retener el suelo en la parte alta de la cuenca.....	41
VI	DISCUSIÓN.....	44
6.1	Caracterización morfológica de las presas.....	44
6.2	Relación de variables dasométricas con la retención de sedimentos.....	45
6.3	Costo de reemplazo.....	46
VII	CONCLUSIONES.....	48
VIII	RECOMENDACIONES.....	49
IX	REFERENCIAS.....	51
X	ANEXOS.....	61

Relación de figuras

Figura 1. Proceso de formación de una cárcava. Fuente: USDA, 2002; citado por (Pizarro et al., 2010).....	4
Figura 2. Presas filtrantes de llantas, morillos de madera y piedra.	8
Figura 3. Mapa de localización de las presas filtrantes evaluadas.	24
Figura 4. Representación de una microcuenca, tomado de Ordoñez-Gálvez (2011). ..	26
Figura 5. División de la cara frontal de la presa en figuras geométricas para el cálculo de su área total.	27
Figura 6. Secado de las muestras fuera de las bolsas.	28
Figura 7. Resultados de la ANOVA de dos vías del peso de los azolves, MOS y COS con los materiales de construcción de las presas.	38
Figura 8. Diagrama de dispersión del peso del azolve y el volumen de vegetación. ..	40
Figura 9. Diagrama de dispersión del peso del azolve y la pendiente.	40

Relación de cuadros

Cuadro 1. Caracterización general de las presas filtrantes.	33
Cuadro 2. Valores de pH, CE, MOS Y COS presentes en los azolves.	34
Cuadro 3. Textura de los azolves de las presas filtrantes según su material de construcción.	35
Cuadro 4. Caracterización física del azolve respecto a su tamaño y contenido de MO tangible.	36
Cuadro 5. Datos de la vegetación.	36
Cuadro 6. Correlación del peso del azolve con otras variables.	37
Cuadro 7. Resumen de la correlación las variables obtenidas.	39
Cuadro 8. Resultados de la regresión lineal del peso de los azolves con la vegetación y la cobertura de copa.	41
Cuadro 9. Resumen de proyectos de desazolve llevados a cabo en México.	41
Cuadro 10. Relación de costos y beneficios del proyecto.	42

EVALUACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE OBRAS DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SUELOS EN BOSQUE TEMPLADO

Resumen

Las cárcavas son producto de la erosión hídrica, mismas que deben ser controladas para evitar problemas de erosión del suelo, pérdida de nutrientes y azolvamiento de presas para almacenamiento de agua. Las presas filtrantes son estructuras utilizadas para el control de la erosión en cárcavas y retención de azolves. En este proyecto se realizó una caracterización física de las presas filtrantes en la regulación del agua y se analizó el efecto del manejo forestal, a través de la densidad residual, en el azolve retenido por estas obras de conservación en el bosque templado del noroeste de Durango. Asimismo, se determinó el valor económico de las presas filtrantes por la acción de retener el suelo en la parte alta de la cuenca. Se evaluaron obras de diferente tipo de construcción como piedra, morillos y llantas y se delimitaron microcuencas de captación de agua en las presas para cuantificar la densidad de arbolado aledaño a la presa. Para la valoración económica, se utilizó el método de costo de reemplazo para estimar el valor que representan las presas al retener los sedimentos del suelo aguas arriba de la cuenca. Se utilizaron análisis descriptivos, correlaciones, ANOVA y análisis de regresión múltiple para la evaluación del volumen de suelo retenido en función de variables dasométricas. Los resultados indican que la superficie total del área de estudio es de 11.59 ha, en la cual se encontraron 58 presas filtrantes de piedra, 18 de morillos y 3 de llantas, realizadas entre 2013 y 2018, con 303 ton de azolve retenido en ellas, de los cuales 15.85 son materia orgánica. La variable que más se relaciona con el volumen del suelo retenido es la vegetación, ya que a medida que esta se incrementa, el volumen de azolve disminuye. Los resultados del método de costo de reemplazo indican que el análisis de costo beneficio es de 1.15 y el valor actual neto es de \$7,062.17, por lo que establecer presas filtrantes es una alternativa viable para minimizar la pérdida del suelo en el ecosistema.

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF SOIL CONSERVATION AND RESTORATION WORKS IN TEMPERATE FOREST

Summary

Gullies are the product of water erosion that must be controlled to avoid problems of soil erosion, loss of nutrients, and siltation of dams for water storage. Check dams are structures used to control erosion in gullies and retain soil sediments. In this project, a physical characterization of the check dams in the regulation of water was carried out to analyze the effects of forest management, through residual tree density, in the silt retained by these conservation works and to determine the economic value of the filter dams for retaining the soil in the upper part of the basin. The research work was conducted in the temperate forest of northwestern Durango. The study evaluated 79 check dams made with different materials, such as stone, wood, and tires, to analyze the volume of retained soil. Micro-basins were delimited to quantify the density of trees surrounding the dam. The replacement cost method was used to assess the economic value of the soil retained. Descriptive analysis, correlations, ANOVA, multiple and stepwise regression analysis were performed to evaluate the volume of soil retained as a function of dasometric variables. The results indicate that the total area of the study area is 11.59 ha, in which 58 rock-made, 18 wood-based, and 3 tires-based check dams were found. They were constructed between 2013 and 2018 and approximately 303 tons of silt have been retained, of which 15.85 are organic matter. The variable that is most related with soil retention is vegetation; the higher the volume, the lower quantity of sediments retained. In the replacement cost, it was obtained that by establishing 79 filter dams, the cost benefit analysis is 1.15 and the net present value is \$7,062.17; hence, establishing filter dams is viable alternative to minimize the loss of soil in the ecosystem.

INTRODUCCIÓN

El suelo es fundamental para sostener la vida sobre la Tierra, debido a que brinda soporte a la vegetación, la infraestructura y el hábitat de la biodiversidad (Montaño-Arias *et al.*, 2018). El crecimiento poblacional, la demanda de productos y el consumo global ejercen una gran presión sobre el suelo lo que aumenta su deterioro. El suelo es considerado un bien consumible y, aunque es renovable, su capacidad de renovación es lenta y frágil, ya que un centímetro de suelo tarda alrededor de cien años en formarse de manera natural (Zink, 2005).

Los suelos, particularmente los forestales proveen una gran cantidad de servicios ecosistémicos. En ellos se genera la germinación, crecimiento y reproducción de las plantas, los hábitats para muchos organismos, la regulación del agua y el almacenamiento de carbono, entre muchos otros (Burbano-Orjuela, 2016). Este último es importante dada su influencia en el cambio climático.

Se ha considerado al suelo como sumidero de carbono por su capacidad de almacenarlo en forma orgánica e inorgánica, que supera el potencial de la atmósfera y las plantas. La captura de este elemento impacta en la fertilidad del suelo, mitiga la concentración de CO₂ en la atmósfera, reduce la toxicidad y escorrentía de contaminantes y previene la erosión del suelo. No obstante, es esencial la implementación de medidas de gestión adecuadas para garantizar el secuestro de carbono en el suelo (Hernández *et al.*, 2014).

La erosión es un fenómeno natural inevitable causado por el agua, el viento y otros factores que se acelera en combinación con ciertas actividades humanas, afectando negativamente la productividad del suelo y las corrientes de agua (Díaz-Mendoza, 2011). Las tasas de erosión natural pueden sostenerse, no así las aceleradas, que se manifiestan en zonas con grandes socavones o cárcavas que al mismo tiempo actúan como conductos para captación y arrastre de agua y partículas de suelo desprendido (Almorox-Alonso, 2010).

Entre las alternativas para controlar la erosión y contribuir a la conservación, restauración y prestación de servicios ecosistémicos del suelo (Berrio, Villegas, &

Arango, 2019), se incluye el establecimiento de presas filtrantes, que son construcciones con materiales locales que se colocan transversalmente a la dirección del flujo de la corriente (López, Beguería, & García, 2003), con ello se incrementa la infiltración del agua, se reduce la velocidad del escurrimiento, la erosión hídrica y se logra la estabilización del fondo y longitud de la cárcava, favoreciendo eventualmente el desarrollo de especies vegetales (Callata, 2018).

Por lo anterior, la conservación y valoración económica de los servicios ecosistémicos es necesaria para lograr estimar el análisis beneficio-costos (ABC) y el valor actual neto (VAN) de los servicios obtenidos de los suelos (Cristeche y Penna, 2008).

Para dar cumplimiento a la presente investigación, se estableció como objetivo general realizar una evaluación ambiental y económica de las obras de conservación y restauración de suelos a través de la caracterización de las presas filtrantes presentes en bosques templados de pino encino del noroeste de Durango, Dgo., las cuales fueron elaboradas de diferentes materiales: piedra, morillos y llantas en, así como describir los efectos del manejo forestal (volumen de la vegetación y cobertura de copa) y finalmente determinar el valor económico de las presas filtrantes por la acción de retener el suelo en la parte alta de la cuenca.

Los resultados de la evaluación ambiental se reflejaron en cuanto a cantidad en volumen y peso de sedimentos retenidos en las estructuras y en la valoración económica se evidencia en la factibilidad de realizar este tipo de proyectos de restauración y en la obtención del VAN que representan los azolves captados en las presas filtrantes.

I ANTECEDENTES

1.1 Descripción de la erosión del suelo

Uno de los problemas ambientales más graves a nivel mundial es la erosión del suelo, que es el movimiento de partículas, sus efectos negativos abarcan la pérdida progresiva de suelo y nutrientes, lo cual afecta su potencial biológico, abatiendo uno de los recursos primordiales para la vida (Castelán *et al.*, 2017). La degradación del suelo resulta de la relación entre factores humanos y ambientales, tales como el tipo de suelo, topografía, clima, deforestación, sobrepastoreo, densidad poblacional, el uso que se da a los recursos naturales y el tipo y estado de la cobertura vegetal (González *et al.*, 2007).

Existen varios tipos de erosión entre los que destacan: la **antrópica**, que ocurre cuando el causante erosivo es el ser humano, cuando origina el cambio de uso del suelo y se construyen nuevas obras civiles o le da algún otro uso al suelo; la **eólica**, cuando el agente causal es el viento y la **hídrica**, ocasionada por el agua, que representa un agente muy significativo de erosión ocasionando cárcavas en niveles de degradación severa (Díaz-Mendoza, 2011).

En México, la erosión hídrica es la causa principal de afectación en los bosques templados, posiblemente porque se ubican en zonas de montaña, cuyas pendientes elevan el efecto del escurrimiento. Los daños podrían elevarse si los bosques sufren alguna perturbación, como corte de leña, extracción de tierra de monte o su uso como agostadero (SEMARNAT, 2012).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en México, la superficie afectada por el factor eólico es de 46,779.32 km² (2.41%), mientras que la erosión hídrica considera 1'027,611.50 km² (52.86%) y el ser humano es causante de alrededor de 2,387.50 km² (0.12%) (INEGI, 2014).

1.2 Proceso de formación de una cárcava

La erosión laminar es el primer signo de degradación provocada por una lluvia prolongada que lava el suelo y además lo satura. Posteriormente se forman riles o canalículos, que cuando rebasan los 30 cm de profundidad, son llamados cárcavas,

las cuales son signos de erosión severa, que se forman durante las tormentas y se caracterizan por poseer un corte cabezal y varios peldaños a lo largo de su curso, creando una depresión que aumenta hasta formar un canal que durante las tormentas seguirá colapsando y arrastrando sedimentos disponiéndolos aguas abajo, tal como se puede apreciar en la Figura 1 (García-Chevesich, 2015).

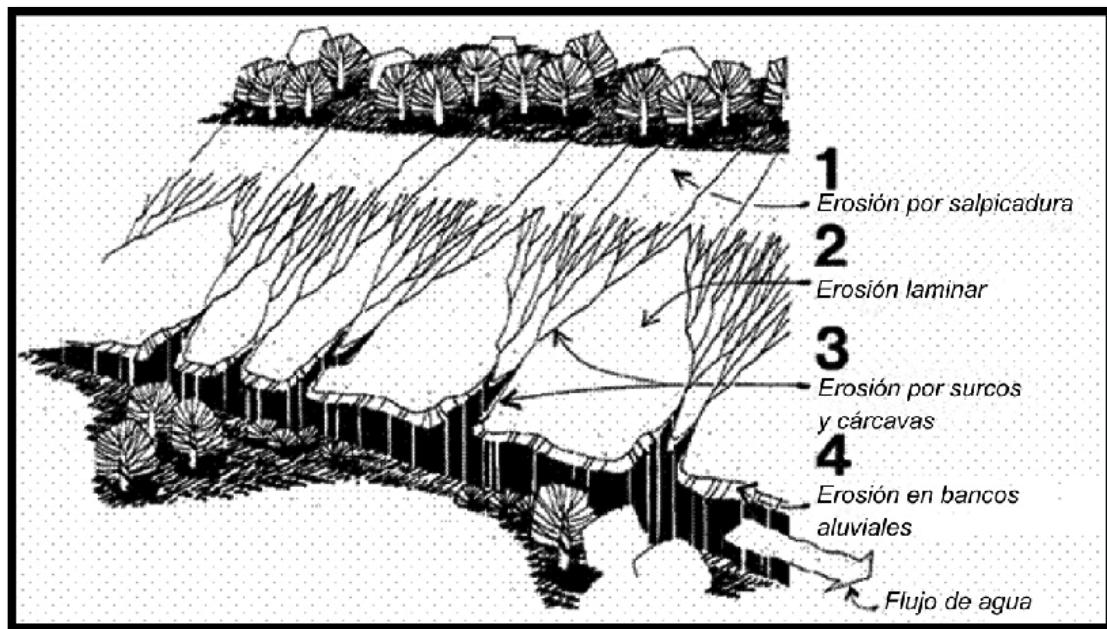


Figura 1. Proceso de formación de una cárcava. Fuente: USDA, 2002; citado por (Pizarro et al., 2010).

La temporalidad y cantidad de los escurrimientos superficiales son los determinantes para acrecentar las dimensiones de las cárcavas y se relaciona con las características del suelo, tanto de la capa superficial, así como de la resistencia de las capas inferiores. Las acciones para su control deben tomar en cuenta dichas peculiaridades para considerar tanto la estructura como el diseño de las obras dentro de la cárcava, así como la atención integral al resto del área afectada, con el fin de controlar el volumen y la velocidad de los escurrimientos (COLPOS, 2017).

1.3 Propiedades fisicoquímicas del suelo

1.3.1 Potencial Hidrogeno (pH)

Es una propiedad química que indica la acidez o alcalinidad en soluciones acuosas de los suelos, que es la fuente de nutrientes para los microorganismos y las raíces (Osorio-Vega, 2012). La determinación del pH, es de las especificaciones más

relevantes en los análisis de suelos, toda vez que está directamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes para las plantas y con la existencia de aluminio libre, mismo que resulta nocivo para las plantas (Zaragoza-Castellanos, 2020). Además, el pH puede influir en el desarrollo de bacterias, actinomicetos y hongos presentes en el suelo. Las categorías de pH en el suelo van de 0 a 14, donde 7 es el valor neutral, los valores menores a 7 indican acidez en tanto que los números mayores a 7 advierten alcalinidad (Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

1.3.2 Conductividad eléctrica

Este indicador mide el contenido de sales en el suelo, que en exceso provoca que las plantas se esfuercen más para poder acceder al agua, ya que al ser más salada o el medio en que la planta se desarrolla, se genera estrés osmótico; también puede indicar ciertos niveles de toxicidad debida a la existencia de cloro, boro o sodio (Zaragoza-Castellanos, 2020). La interpretación de la CE va del <1 a >16 dS m^{-1} , donde el primero muestra efectos despreciables de la salinidad, los rangos intermedios van de 1.1 a 2.0 deduciendo un nivel muy ligeramente salino, de 2.1 a 4.0 son suelos moderadamente salinos, de 4.1 a 8.0 suelo salino, de 8.1 a 16 fuertemente salino y el último rango mayor que 16 denota suelo muy fuertemente salino (SEMARNAT, 2000).

1.3.1 Materia orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS) se conforma de moléculas con carbono orgánico provenientes de seres vivos, raíces, ramas, animales y restos de organismos muertos y a medida que la degradación avanza se transforma en humus su color es muy oscuro debido a la gran cantidad de carbono contenida en él, su origen es del latín que significa “tierra” (Ucha-Moreira, 2012). En cuanto a la influencia en las propiedades físicas del suelo, esta favorece la formación de agregados y brinda solidez estructural uniéndose a las arcillas formando el complejo de cambio, propicia la infiltración y retención hídrica, reduce la erosión y beneficia el intercambio gaseoso (Schumacher, 2002). Relativo a las propiedades químicas, aumenta su capacidad de cambio, es reserva de nutrientes para las plantas y facilita la absorción de estos por las raíces. Referente a las propiedades biológicas, favorece la mineralización, desarrollo vegetal y brinda alimento a los microorganismos (Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

1.3.2 Carbono orgánico

El carbono (C) en los suelos puede encontrarse en forma inorgánica y orgánica. El primero es posible encontrarlo en estado gaseoso como CO_2 derivado de la respiración de rizomas y microorganismos, como $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$ en estado líquido y en estado sólido, básicamente en forma de carbonato de calcio y dolomita presentes en piedra caliza, raíces calcificadas, caliches, etc. El carbono inorgánico es importante puesto que su permanencia en el suelo es de 100,000 veces más que el tiempo de durabilidad del C en forma orgánica (Álvarez-Rivera *et al.*, 2021).

El carbono orgánico del suelo (COS) se presenta como desecho orgánico mínimamente impactado de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy parecidas al C elemental. En la naturaleza, el C orgánico en el suelo es el resultado de la integración de materia orgánica fresca y la salida de C del suelo en forma de CO_2 a la atmósfera, erosión y lixiviación (Martínez *et al.*, 2008).

El C contenido en la MOS, se relaciona con la productividad del suelo, ayuda a neutralizar su pH y además modifica su estructura y el espacio poroso (Martínez *et al.*, 2008). El COS es el doble al que está presente en la atmósfera, presenta la mayor cantidad contenida en la superficie terrestre y es hasta tres veces mayor que el de todos los seres vivos en los ecosistemas de la tierra; por lo que el suelo presenta un elevado potencial para secuestrar C de forma estable (Sales-Dávila, 2006).

1.3.3 Densidad

La densidad (D) del suelo se define como la masa total de los sólidos dividida entre el volumen total ocupada por ellos (Flores y Alcalá, 2010); esta característica es la que influye mayormente con la productividad del suelo. Si la densidad aumenta, la compactación también lo hace y la retención de humedad disminuye, restringiendo el crecimiento radicular. La D es impactada por las partículas sólidas y la porosidad, misma que es afectada por la MOS; cuando esta última y el espacio poroso aumentan, la D disminuye y sucede lo mismo de manera inversa (Salamanca y Sadeghian, 2005).

1.3.4 Textura

La textura de los suelos se determina con base en el tamaño de las partículas minerales que lo componen; es un agente que modifica su estructura, aireación y

drenaje; el almacenaje, el transporte y la disponibilidad de agua; el suministro y la retención de nutrientes, de la misma manera que los elementos bióticos que en él se encuentran (FMCN y CONAFOR, 2021).

Para definir este atributo es posible utilizar el procedimiento de Bouyoucos y el procedimiento de textura por tacto; en el primero, se suprime la unión de los agregados ocasionada por la materia orgánica y la aglutinación provocada por los cationes de magnesio y calcio, lo cual permite la división de agregados y el análisis por separado de las partículas (SEMARNAT, 2000). Para determinar la textura de manera manual, se manipulan muestras de suelo en seco y en húmedo y dependiendo de su comportamiento se le asigna la textura mediante una guía establecida para esto (USDA, 1999).

1.4 Factores geomorfológicos que influyen en la erosión del suelo

1.4.1 Pendiente

Entre los factores topográficos que influyen en la erosión hídrica, es primordial el ángulo de la pendiente, mientras esta es más pronunciada, más grave es la erosión, aunado a la longitud de la ladera, ya que, si ésta se incrementa, también lo hace la erosión e igualmente sucede con la cantidad y la energía de la escorrentía superficial (Díaz-Mendoza, 2011).

1.4.2 Sedimentación

Es un proceso en el cual se remueven partículas más pesadas que el agua y son arrastradas por la misma por acción de la fuerza de la gravedad (Oliva *et al.*, 2008). El depósito de azolves en presas de México es un problema social, ya que ocasiona que se reduzca la generación de electricidad, así como el aporte de agua para riego y consumo humano, lo que en cuerpos de agua grandes no es tan grave, pero en presas chicas es un problema más acentuado, ya que se llenan de sedimentos y basura; agravado por la vejez de los embalses y la acelerada erosión, lo que ocasiona que en ocasiones resulte menos costosa la construcción de una nueva presa, que el desazolve (García-Sánchez, 2015).

1.5 El suelo y la coproducción de servicios ecosistémicos.

En vista del problema que representa la sedimentación de los cuerpos de agua, emerge la necesidad de involucrar a la parte social en el diseño y estructuración de acciones para el manejo sustentable del suelo (Santiago-Romero, 2019). Resultando en un régimen socio-ecológico, el componente natural brinda servicios ecosistémicos a las personas y éstas a su vez transforman la naturaleza mediante el proceso de coproducción (Berrio *et al.*, 2019).

Un claro ejemplo de coproducción entre sociedad y naturaleza para mitigar la formación de cárcavas, son las presas filtrantes, que son obras de conservación y restauración, donde dichas estructuras son colocadas transversalmente a la dirección del flujo de la corriente (Figura 2) y son utilizadas para controlar la erosión en cárcavas y la retención de azolves (López-Moreno *et al.*, 2003). Con lo anterior, se logran múltiples beneficios, tales como reducción de la erosión hídrica, recarga de mantos acuíferos, estabilización del fondo y longitud de las cárcavas y se favorece a la acumulación de sedimentos y desarrollo de especies vegetales (Callata-Barrantes, 2018).



Figura 2. Presas filtrantes de llantas, morillos de madera y piedra.

1.6 Valoración de servicios ecosistémicos

Los bienes y servicios de un ecosistema se dividen en servicios de uso directo, servicios de uso indirecto y servicios con valor de opción. Los de uso directo son

aquellos utilizados directamente por los seres humanos, tales como: alimentos, materiales de construcción, alimentos y medicina, entre otros, mientras que los de uso indirecto se asocian a bienes y servicios que se caracterizan por no provocar una disminución en las reservas de éstos, en estos se incluyen el disfrute de actividades culturales y de recreación donde no se asocia con la generación de productos. El valor de opción se refiere al bienestar que encuentran las personas al preservar un bien o servicio del ecosistema para aprovecharlo en el futuro (Osorio y Correa, 2004). Para evaluar estos bienes y servicios se han desarrollado diversos métodos entre los que destacan: a) método de los costos evitados, b) método del costo de viaje, c) método de los precios hedónicos y d) método de reemplazo (Cristeche y Penna, 2008). De éstos, el último ha sido ampliamente utilizado en valorar el papel de las obras de control de erosión del suelo.

1.6.1 Método del costo de reemplazo

El costo de reemplazo es un método de valoración indirecta que, analiza precios y cantidades de bienes negociados en el mercado que sustituyen a los bienes extra-mercado que busca valorar (Soto-Montes de Oca, 2013). Dicho de otra manera, se basa en determinar los costos que se generarían por suplir bienes o servicios dañados por la alteración de los recursos naturales y los procesos asociados. Por ejemplo, el costo de la producción de agua corriente de una cuenca productora sería calculado mediante el costo de reemplazo que ocasionaría abastecer a la cuenca receptora si la producción en la cuenca productora se viera comprometida (Báez-Quiñones, 2018).

De acuerdo con López-Morales (2012), para aplicar este procedimiento se deben cumplir con tres características principales, las cuales son:

1. El sistema o bien producido debe sustituir al servicio ambiental reemplazado con calidad y cantidad sensiblemente similar.
2. El costo del producto (costo de reemplazo) debe ser menor al precio del servicio que busca reemplazar.
3. Debe presentarse una situación real de sustituir al servicio ambiental.

De acuerdo con estas características se garantiza que el servicio se provea adecuadamente en calidad y cantidad suficiente para solventar las necesidades que el servicio ambiental suministra de forma natural, así como también que no se incurra en sobreestimaciones que superen la opción más económica. Además, el punto tres obliga a que el servicio ambiental en cuestión realmente necesite ser sustituido en un escenario actual o futuro. Este método fue usado en la presente investigación para determinar los costos que se generarían por suplir bienes o servicios dañados por la alteración del suelo y los procesos asociados a él, específicamente daños que se ocasionarían aguas abajo por no colocar pesas filtrantes de retención de azolves (López-Morales, 2012).

1.7 Antecedentes de conservación y restauración de ecosistemas en México.

Desde antes de la creación de la CONAFOR La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca dotó al Programa Forestal y de Suelos 1995-2000 con recursos para la implementación del Programa de Desarrollo Forestal por un monto que osciló entre los 23 a los 98 millones de pesos anuales por conceptos de apoyo a la asistencia de ejidos y comunidades para la elaboración de programas de manejo, estudios complementarios y de investigación, organización, capacitación y asesoría, diversificación productiva, turismo de naturaleza y agrosilvicultura, operados bajo la supervisión de la Dirección General Forestal de la SEMARNAP (Del Ángel-Mobarak, 2012).

En 2001, cuando se creó la CONAFOR, se le transfirió la administración del PRODEFOR como un instrumento estratégico de desarrollo dentro de la Gerencia de Desarrollo Forestal de la Coordinación General de Producción y Productividad. Adicionalmente, en el periodo 1995-2000 el PRONARE (creado desde 1989 por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos) produjo 1,670 millones de plantas que fueron establecidas en 960,000 hectáreas, que de igual manera como el PRODEFOR, la administración del PRONARE se transfirió a CONAFOR en abril de 2001, para constituir su plataforma inicial de desarrollo. Posteriormente, en 2004 se creó el PROCOREF como iniciativa para mejorar el PRONARE en el cual se privilegió

la reforestación con especies nativas para incrementar la cobertura forestal del país y restaurar y conservar los ecosistemas (Mallén-Rivera, 2018).

En el año 2007 se crea el ProÁrbol, como un eje transversal de desarrollo social dentro de las políticas públicas del país, dirigida al sector forestal del país para la conservación y recuperación de los ecosistemas forestales, con una extensión de apoyo a 2.23 millones de hectáreas y una inversión de 4.54 millones de pesos (mdp) hasta el año 2011. A partir del 2013 se crea el PRONAFOR al cual se transfieren los programas manejados anteriormente por ProÁrbol, en el cual se ejecutan hasta la actualidad los proyectos que contemplan la elaboración de obras y prácticas de conservación y restauración de suelos, producción de planta, reforestación, pago por servicios ambientales, entre otros proyectos con montos oscilantes desde 3.14 mdp en 2012 hasta 338.49 mdp en el año 2020 (SNIGF, 2021).

La restauración de cuencas hidrográficas prioritarias inició en México en 2010 con los proyectos Cutzamala - La Marquesa y en 2011 el Pátzcuaro Zirahuén; en 2011 existían ya 11 proyectos. Este modelo surgió como una estrategia más eficaz para el restablecimiento de las condiciones que permitan la evolución y continuidad de los procesos naturales de las zonas forestales del país por medio de la conservación y mejoramiento del suelo y agua a la vez que se promueven el empleo y el ingreso de recursos económicos en las comunidades que habitan las zonas forestales (CONAFOR, 2012; Del Angel-Mobarak, 2012).

De acuerdo con CONAFOR (2018b), en su manual de obras y prácticas para la protección restauración y conservación de suelos, las principales obras realizadas en México son divididas de acuerdo con la severidad que tenga la degradación: en trabajos en cárcavas y en laderas.

1.7.1 Obras y prácticas para el control de la erosión en laderas

Estas obras se realizan en terrenos con suelos degradados con la finalidad de evitar la erosión laminar, lo cual conlleva diversos beneficios como disminuir el grado y longitud de la pendiente, captar agua de lluvia, interceptar escurrimientos y reducir su velocidad y mejorar la calidad del agua. Entre las principales obras que se deben realizar cuando se presenta la erosión ligera y moderada, se consideran las siguientes:

- Zanja bordo
- Zanja trinchera
- Terrazas de formación sucesiva
- Terrazas individuales
- Bordos en curvas a nivel y roturación.

Cuando la erosión presente se considera de severa a extrema, las obras recomendadas son:

- Las barreras de piedra acomodada en curvas a nivel
- Acomodo de material vegetal muerto
- Terrazas de muro vivo

Mientras que en algunos casos específicos se recomiendan otros tipos de obra como las barreras vivas cortinas rompevientos, enriquecimiento de acahuales, sistemas agroforestales con especies de cobertera, sistema “Negarim” y bordos en “V” (Venegas-López, 2016).

1.7.2 Obras y prácticas para el control de la erosión en cárcavas

Las cárcavas son consideradas como la máxima expresión de la erosión del suelo ya que se presentan cuando la erosión ligera en las laderas no se atiende a tiempo. Las cárcavas modifican el relieve y vuelven improductivos los suelos ya que en ellas se desprenden grandes cantidades de partículas y en la mayoría de las veces se expone el material parental (Bravo-Espinoza *et al.*, 2010).

Para detener el avance de las cárcavas se implementan diversas obras con la finalidad de controlar: los escurrimientos, corregir la pendiente y el cauce, reducir el arrastre de sedimentos, estabilizar taludes, propiciar el desarrollo de vegetación, y mejorar la calidad del agua en general.

- Dentro de las principales obras construidas en México se encuentran las siguientes: Control de la longitud de cárcavas
- Cabeceo de cárcavas con piedra
- Cabeceo de cárcavas mediante zanjas interceptoras de escorrentía
- Estabilización de taludes

- Presas para el control de azolves, como presas de morillos, ramas, piedra acomodada, llantas, malla electrosoldada, mampostería y gaviones (Venegas-López, 2016).

Es importante aclarar que el criterio a seguir para la restauración de suelos es iniciar de la parte alta y continuar hacia la parte baja de la cuenca. Es decir, que el establecimiento de las obras de conservación y restauración de suelos es preferible iniciarlo para intervenir la corriente de primer orden y continuar hacia la parte baja hasta cubrir la totalidad de la superficie intervenida (CONAFOR, 2018b).

1.7.3 Diseño Hidrológico en Líneas Clave (DHLC)

Adicionalmente en la agricultura han surgido nuevas tecnologías para el uso del suelo, como el DHLC, en el cual se laboreo el suelo mediante el criterio de cuenca (trazo apoyado en curvas a nivel), de tal manera que se evita la erosión, se reduce la velocidad de la corriente de agua, se reduce la concentración del agua en las vertientes, se favorece la infiltración y se mantiene el agua por más tiempo disponible en el terreno (Amador-Sierra, 2019).

El DHLC es un sistema desarrollado desde 1950 en Australia por Percival Alfred Yeomans con el propósito inicial de producir suelo de manera natural, fértil, altamente productivo que no necesitara fertilizantes químicos; sin embargo y a pesar de que se ha demostrado su eficacia, en México este sistema es casi desconocido aún y cuando su área de aplicación es en zonas áridas y semiáridas (más del 50% del país). Es decir, en la mayor parte del Norte de México y otras regiones donde la precipitación media anual es inferior a los 700 mm. Además de tener un gran uso en la agricultura, este método sirve para definir en los predios las zonas con mayor captación de agua, áreas de infiltración, áreas de riego, ubicación de canales, caminos, líneas de árboles y otros (Cortés y Ramírez, 2013).

1.7.4 Reforestación

La vegetación brinda protección al suelo impidiendo su deslave por el choque de las gotas de lluvia, movimiento de agua o por actividad eólica. Igualmente, lo resguarda del sol, favorece la retención e infiltración del agua, además, mantiene la humedad y la temperatura. Especialmente en áreas con pendientes pronunciadas, mientras más

cubierta vegetal, mayor protección contra la erosión del suelo (FMCN y CONAFOR, 2021) y más contenido de materia y carbono orgánicos (Montaño-Arias *et al.*, 2006).

La vegetación natural es un elemento significativo en la conservación del suelo (Torres *et al.*, 1999). Generalmente, en los hábitats terrestres, las plantas perennifolias son esenciales, a decir verdad, se ha referido a ellas como ingenieras del paisaje, ya que son capaces de mejorar la calidad del agua, generar microclimas y favorecer la disponibilidad de nutrientes; además de ser atractiva para los animales, lo que en un ecosistema erosionado, resulta benéfico, puesto que se incrementa la posibilidad de obtener semillas y propiciar así el establecimiento e incremento de la vegetación (Arenas-Escribano, 2017).

La pérdida o reducción de la cubierta forestal se traduce en pérdida de suelos, bosques, selvas, humedales y zonas áridas, por ello es necesario evitar los factores de la degradación, los cuales son diversos, entre los que destacan el avance de la frontera agrícola, el cambio de uso de suelo, los incendios forestales, las plagas y enfermedades forestales, la tala ilegal y la expansión de áreas urbanas, entre otros. La recuperación de los ecosistemas forestales es un factor determinante en el desarrollo y el bienestar de las comunidades que habitan en las zonas forestales del país. Entre las actividades de recuperación se contempla, además de las obras de conservación y restauración de suelos, la reforestación, que es uno de los elementos clave para la recuperación de los bienes y servicios ambientales de un ecosistema (CONAFOR, 2015a).

La reforestación es la actividad de plantar árboles, o arbustos donde por cuestiones antropogénicas o desastres naturales se ha perdido la vegetación, con el fin de recuperar, rehabilitar, restaurar y proteger, bosques, selvas, humedales y zonas áridas. La importancia de la reforestación de acuerdo con CONAFOR (2015b) radica en varios puntos, entre los que destacan:

- Reducir la tasa de deforestación en México.
- Rehabilitar los terrenos forestales con algún nivel de degradación.
- Recuperación y estabilización del suelo al protegerlo de la erosión hídrica y eólica.

- Aumento de la fertilidad del suelo por consecuencia de la acumulación de materia orgánica, con lo que aporta nutrientes, mejora la estructura del suelo y favorece la retención de humedad.
- Regula el ciclo hidrológico por medio de la infiltración del agua, mejora la calidad del agua y reduce la evaporación y la escorrentía, con lo que se evita el desprendimiento de partículas.
- Se mitigan los efectos del cambio climático por efecto de la captura de carbono.

Para reforestar las zonas degradadas es necesario utilizar especies nativas de la región que mejor se adapten a las condiciones actuales del ecosistema en lo que se refiere a las condiciones edafoclimáticas del sitio. Es necesario además producir la planta con semilla proveniente de las zonas lo más cercano posible al sitio a restaurar, que la planta sea de buena calidad, para lo cual se deben establecer los parámetros mínimos de calidad permisibles para cada especie o grupo de especies, posteriormente realizar un adecuado transporte y por último un correcto establecimiento de la planta en campo (Palomenque *et al.*, 2019).

1.8 Ordenación de cuencas hidrográficas

La ordenación de cuencas hidrográficas constituye un proceso amplio de diseño y aplicación de proyectos para el cuidado y aprovechamiento de los recursos contenidos en la cuenca, los cuales pueden ser recursos maderables, minerales, agua, tierras de cultivo, ganadería, fauna silvestre, generación de energía, materiales pétreos, áreas recreativas, así como bienes y servicios ambientales, entre otros, de tal manera que no se vean afectados de manera negativa. Para la ordenación es necesario considerar los factores sociales, económicos e institucionales con enfoque multidisciplinario, que normalmente se encuentran actuando tanto dentro como fuera de la cuenca, sin llegar a involucrar demasiados actores en la toma de decisiones, ya que esto puede ser causa de ineficiencia (CONAFOR, 2012).

En el manejo de la cuenca se pueden presentar diversas situaciones en las que el aprovechamiento de algún recurso puede ser complementario o beneficioso para otro y en otros casos la relación será competitiva o negativa. Lo importante es hacer uso de los bienes y servicios de manera sostenible, en donde los gestores de la cuenca

tienen el trabajo de promover la aplicación de los procedimientos que favorecen la complementariedad y tomar medidas correctivas y protectoras en los casos en que la cuenca se ve afectada. Además, deben revisar el plan de ordenación continuamente en busca de posibles modificaciones en los elementos constitutivos de la cuenca, ya que es posible que se requiera la implementación de nuevas medidas (Sheng, 1992).

Existen diversas causas por las que las cuencas pierden su capacidad productiva, entre las que destacan la degradación del suelo. Tan solo por erosión hídrica se considera que el 52.86 % del territorio es afectado, lo cual corresponde a 1,027,611 km² (INEGI, 2014). Derivado de ello, en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable se establece que se debe conservar y restaurar el patrimonio natural y “contribuir, al desarrollo ambiental, económico y social del país, a través del manejo integral sustentable de las cuencas hidrográficas y sus recursos forestales, con un enfoque ecosistémico” en el marco de las disposiciones aplicables (SEGOB, 2018).

Aunado a ello la CONAFOR, desde su creación en el año 2001 ha ejecutado y promovido apoyos destinados a la restauración, conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos forestales y para la realización de obras y prácticas para el control de la erosión en lo que destina recursos (CONAFOR, 2018a).

El diseño de estas obras ha sido desarrollado para contribuir al cumplimiento de los objetivos de la restauración de una cuenca hidrográfica, los cuales son los siguientes (Mintegui *et al.*, 2006):

- 1.- Controlar la erosión mediante la retención y aprovechamiento del suelo.
- 2.- Regular las escorrentías y el material de azolve transportado, así como su sedimentación en las zonas de depósito o áreas dominadas.
- 3.- La provisión de agua.

1.9 Antecedentes de desazolves en cuerpos de agua.

Con el fin de apoyar la valoración económica de los sedimentos retenidos en las presas filtrantes, se hizo una revisión de literatura sobre los trabajos de desazolve y sus costos de limpieza en diferentes partes del país.

1.9.1 Vaso de la presa Abelardo L. Rodríguez, municipio de Tijuana

Este proyecto de dragado se llevó a cabo en la presa Abelardo L. Rodríguez en el municipio de Tijuana, Baja California Norte, fue construida en 1928 con una capacidad de retención de agua de 138,000,000m³, en una superficie de 983,609 m². El promovente para el desarrollo de los trabajos fue Petremex S.A, dicha empresa rehabilitó el vaso de la presa y aprovechamiento de 6,000,000 m³ de materiales pétreos. Las actividades iniciaron en enero de 1999 y hasta el 28 de febrero se extrajeron 112,665 ton (limos, arena, vegetación y basura), dejando pendiente de extraer alrededor de 5 millones de toneladas. Para el desarrollo del proyecto se realizó una inversión de \$5,115,016.65, iniciando las labores en enero de 1998 y concluyendo en el mes de diciembre de 2017, con un tiempo estimado de vida útil de 19 años. Los mencionados trabajos de desazolve y limpieza se realizaron con el fin de brindar agua de buena calidad a los habitantes de Tijuana, ya que es la presa Abelardo L. Rodríguez la encargada de abastecer de agua a la comunidad (Noguera-Pérez, 2002).

1.9.2 Encauzamiento y desazolve del río Tunal del km. 2+340 al km 4+820, municipio de Durango, Dgo.

Se realizó la limpieza del cauce quitando troncones secos y extrayendo la basura existente en el río El Tunal, del tramo puente del diablo a la presa derivadora Antonio Castillo. Dichas actividades se realizaron con ayuda de grúas troceras y retroexcavadoras o tractores, camiones para el acarreo de los sedimentos desazolvados hacia bancos de tiro. Como encargados del proyecto estuvieron la SEMARNART-CONAGUA, dirección local Durango, proyecto realizado por la Consultoría Ambiental Vugalit S.C. Las acciones de desazolve se comenzaron a llevar a cabo en el mes de julio del año 2010, finalizando en el año 2011, estimando el tiempo de vida útil para este proyecto de 15 años. Los beneficios ambientales de este proyecto fueron permitir el tránsito del agua por el río, mejorando su capacidad de captación del líquido de 61.13 m³/s a 121.78 m³/s y proteger las zonas agrícolas de inundaciones por el desbordamiento. La inversión para llevar a cabo los trabajos se estimó en

\$2,320,000.00, con el fin de desazolver un volumen total de 49,020 ton en una longitud de 2.48 km (SEMARNAT-CONAGUA, 2010).

1.9.3 Limpieza y desazolve del río San Agustín y Tecolapan, Veracruz.

En este proyecto se realizó la partición geográfica en dos áreas para el desazolve y limpieza del Río San Agustín y Tecolapan, la primera se dividió en dos zonas, las cuales se localizan en el municipio de Saltabarranca y la tercera zona se localiza en la Isletilla. La realización de este proyecto la llevó a cabo la Dirección General del Desarrollo Urbano de la Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente (SEDESMA) del gobierno del estado de Veracruz.

Para dar cumplimiento con el dragado del cauce, se consideró una inversión de \$37,745,478.19, con lo cual se llevó a cabo la extracción de 1,185,939 ton de sedimentos del río San Agustín, en las zonas de Saltabarranca y la Isletilla, con una longitud de 14.04 km. Este tipo de proyectos se emprenden año con año en el estado de Veracruz, ya que se tienen inundaciones y desbordamientos de los cauces, mismos que causan problemas de inundación y afectación de los terrenos que están cerca de cauces.

Durante el mes de enero del año 2007 iniciaron los trabajos de desazolve y limpieza del río, mismos que concluyeron en enero del 2008. Los materiales extraídos del río fueron principalmente lodos y basura, que se consideran como la principal causa del aumento de azolves del cauce. Con el trabajo de limpieza y desazolve de estos cauces se reducen los riesgos de desbordamientos inundaciones en los municipios de Saltabarranca y la Isletilla (SEDESMA, 2007).

1.10 Experiencias anteriores sobre evaluación de obras de suelos.

En el año 2006, Muñoz-Gutiérrez evaluó la productividad de obras de ladera, además de presas filtrantes establecidas en cárcavas de la microcuenca de San Pedro, Huimilpan, en Querétaro, durante la época de lluvia en 2005. Así mismo se diagnosticó y evaluó el proceso erosivo en la cuenca. La efectividad de las presas se realizó con respecto del volumen de sedimentos retenidos en estas, encontrando que resulta

importante llevar a cabo acciones de conservación y restauración de suelos, ya que estas revierten el deterioro del ecosistema.

Mejía *et al.* (2007), en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango aplicaron la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) en la estimación del riesgo de erosión hídrica y la aplicación de obras mecánicas de conservación y restauración de suelos. El análisis se realizó mediante el análisis multiplicativo de cuatro de los factores que incluyen la potencialidad erosiva de la lluvia y el escurrimiento, representada por el Factor R, el factor K es la susceptibilidad del suelo a la erosión, el Factor S es el efecto del grado de pendiente y la longitud de la pendiente el Factor L. Asimismo, se evaluaron los azolves captados para estimar la eficiencia de las obras de conservación y restauración y se hizo una comparación de volúmenes obtenidos, retenidos en las obras de conservación, contra los estimados por la EUPS. Los resultados resaltan la importancia de considerar la forma de construcción y el tipo de obras (presas filtrantes de piedra, acomodo de material vegetal muerto y acordonamiento de piedra), al evaluar la eficiencia de estas, para lo cual fueron establecidas.

En 2008, Rodríguez-Rodríguez, informó sobre un proyecto realizado en la Cuenca de Burgos, en Ciudad Victoria, Tamaulipas, cuyo objetivo era el establecimiento de presas filtrantes para control de azolves; dichas estructuras se realizaron con malla de alambre, piedra, costales de arena y de gaviones. Para este proyecto, en los análisis de varianza, resultaron factores significativos el sitio, uso del suelo, pero el elemento con mayor significancia fue la pendiente del terreno y su longitud.

De igual manera, se pudo notar que, en áreas con pastizal, el volumen de sedimentos retenidos en las presas era escaso; en áreas con cobertura vegetal natural, el azolve era aún menor y las consecuencias positivas de este se reflejaban con la regeneración natural sobre sedimento. Finalmente, en las presas establecidas en suelos agrícolas, se captó el mayor volumen de azolves, dado que el suelo se mantiene desprovisto de cobertura vegetal la mayor parte del año. Finalmente, se concluyó que las presas filtrantes disminuyeron el deterioro del suelo por acción del agua en función del uso de suelo y la topografía (Rodríguez Rodríguez, 2008).

Arriaza-Rodríguez (2016), mencionó que bosques y cultivos en general, pueden modificar la geología de la cuenca al condicionar la retención, la evaporación y el escurrimiento del agua, así como su acción en la erosión del suelo. En su investigación, se hizo una descripción amplia de las presas filtrantes de piedra acomodada, así como de sus funciones y proceso de construcción en campo.

II JUSTIFICACIÓN

Establecer barreras o presas filtrantes en las cárcavas que se generan por escorrentías apoya la retención eficiente del suelo arrastrado y este a su vez influye en la regeneración vegetal y favorece la infiltración de agua al suelo, ayudando a mejorar los aspectos ambientales y el valor económico de los sitios.

La importancia de estudiar a las presas filtrantes radica en que se puede conocer el valor económico que conlleva la *construcción* de las obras de control de cárcavas en campo, pero se desconoce el valor ambiental y económico de los azolves retenidos en las mencionadas estructuras y si es redituable o no el hacerlas.

Las presas se construyen en forma perpendicular a la pendiente, independientemente del material del que estén elaboradas y en virtud de carecer de antecedentes sobre la importancia económica de los azolves retenidos por ellas, se plantea en este trabajo generar la información, tanto ambiental como económico del rol que tienen estas obras. Además, difundir a la sociedad que los apoyos que se han generado para construirlas han propiciado resultados positivos para mantener la vida útil de los cuerpos de agua, que sin ellas, recibirían los azolves y se vería menguado su volumen de almacenamiento y su calidad de agua.

III OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivo general

- Evaluar ambiental y económicamente las obras de conservación y restauración de suelos (presas filtrantes elaboradas de diferentes materiales: piedra, morillos y llantas) en bosques templados de pino encino en el noroeste del Estado de Durango, Dgo., México.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización física de las presas filtrantes construidas con diferentes materiales en la retención de suelos.
- Describir los efectos del manejo forestal (como el volumen de la vegetación y cobertura de copa), pendiente, y otras variables topográficas en el volumen retenido de suelo por las obras de conservación.
- Determinar el valor económico de las presas filtrantes por la acción de retener el suelo en la parte alta de la cuenca.

3.3 Hipótesis

- Existen diferencias en el tipo de obra de conservación y restauración de suelos (presas filtrantes elaboradas de diferentes materiales: piedra, morillos y llantas) para la retención del suelo arrastrado. Además, la vegetación forestal tiene un efecto importante en la retención de la erosión del suelo

IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del área de estudio

Se localiza en el municipio de Santiago Papasquiaro, Durango, en las localidades de Los Altares, Bajíos del Pinto, Ciénega de Salpicalagua, El Cambray, Garamé de Abajo, San Nicolás de Arriba, San José de la Chaparra, Silvestre Revueltas y Laguna de la Chaparra, que son parte de la Sierra Madre Occidental. Las coordenadas de las presas filtrantes de piedra evaluadas se especifican en el Anexo 6, teniendo como coordenada central el área estudiada N 25° 02' 21" O 105° 25' 15".

Los climas que predominan en el área son semiseco templado, templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad y semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad. La temperatura media anual es de 17.7 ° C y el promedio de la precipitación anual es de 466.4 mm en un periodo de junio a septiembre (INEGI, 2017). En cuanto a las principales corrientes hidrológicas presentes en el sitio de estudio son el Río San Gregorio, Río de Tepehuanes, Río de Ramos y Río de Santiago. En lo que corresponde a los tipos de suelos, principalmente son: Cambisol, Feozem, Litosol, Regosol, Rendzina, Vertisol y Xerosol. La vegetación presente en la zona es de bosque templado (INEGI, 2019).

Una vez localizados los predios se procedió a obtener el contacto de cada representante de ejido, el cual confirmó y acompañó para verificar la existencia de las estructuras en campo y proceder a realizar la presente evaluación (Figura 3).

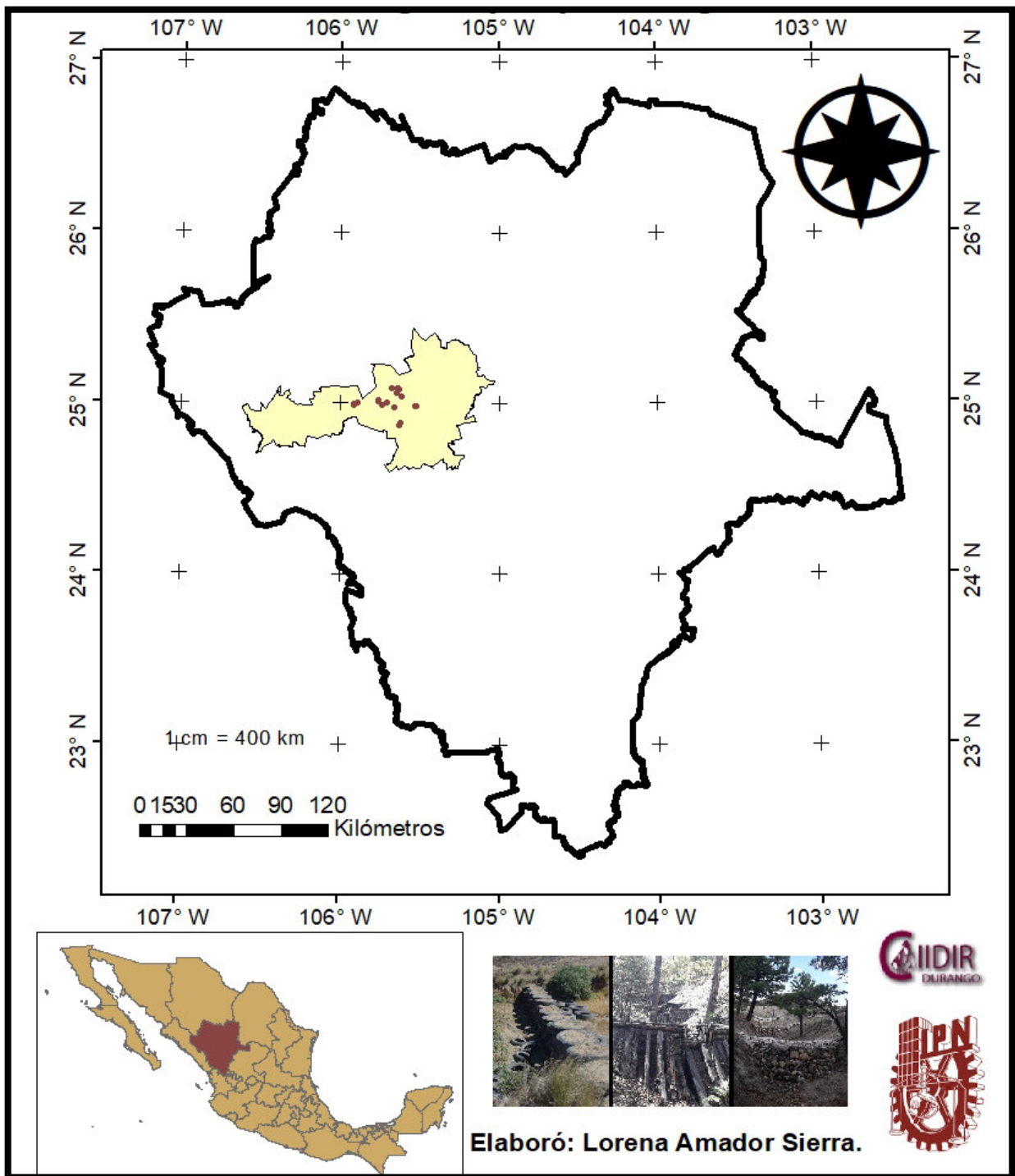


Figura 3. Mapa de localización de las presas filtrantes evaluadas.

4.2 Caracterización física de las presas filtrantes

4.2.1 Ubicación de presas filtrantes

La Unidad de Administración Forestal Santiago (UAF) proporcionó las coordenadas de cada una de las presas y puntos de cárcavas; con ella se elaboró una base de datos donde se observó la variabilidad de ubicación de las presas filtrantes en campo. Esta se homogenizó realizando una base de datos en Excel con las coordenadas facilitadas, posteriormente en el programa ArcGis se georreferenciaron y unieron a las capas de topografía, suelo y relieve (CONABIO, 2021), con los cuales se realizó la caracterización de las presas.

Al tener localizadas las estructuras, se acudió a las zonas donde se encontraron éstas y se comenzaron a recopilar las medidas de las presas, tomar muestras de azolve, delimitar las microcuencas y levantar los datos dasométricos en campo del arbolado existente.

4.2.2 Caracterización morfológica de las presas filtrantes

Las presas se ubicaron con coordenadas UTM, se determinó la pendiente del terreno, se tipificó el material de construcción de las presas, el año y el programa de apoyo con el que se ejecutaron. A cada presa filtrante se le asignó un número identificador con datos generales de la presa. Luego se calculó el volumen del azolve retenido, el cual se tomó desde el inicio del vertedor y a cada 0.50 m se midió la profundidad del azolve (iniciando en la altura del sedimento hasta el piso) para lo cual se utilizó una varilla metálica con graduación la información fue capturada en un formato (Anexo 1).

Se colectaron muestras de suelo para determinar su composición por tamaño de partículas, densidad, textura y contenido de materia orgánica. Para lo cual se posicionó en la parte media de la longitud del azolve, se excavó un agujero con la pala de jardinería hasta tocar el suelo mineral. Se extrajeron los sedimentos para mezclarlos y tomar una muestra representativa del material reunido en cada presa, la cual se colectó en bolsas previamente etiquetadas con datos como número de presa, número de sitio y nombre del predio.

Para el cálculo de densidad se utilizaron tubos de PVC de 11 cm de diámetro y altura de 10.52 cm para lograr un volumen de 1 litro, los cuales se insertaron en el sedimento para extraer la muestra de suelo correspondiente al volumen mencionado y colocar las muestras en una bolsa debidamente identificada para proceder a pesarlas y calcular la densidad.

Posteriormente, se delimitó la microcuenca correspondiente a el área que alimenta de agua a cada cárcava, esto con ayuda del GPS, un ejemplo de lo anterior se muestra en la Figura 4. Luego se levantó un inventario del arbolado existente, tomando datos de la especie, número de árboles diámetro normal, altura y cobertura de copa de estos. Finalmente, como trabajo de escritorio, se calculó el área basal y volumen de la vegetación, para lo cual se utilizó el formato del Anexo 2.

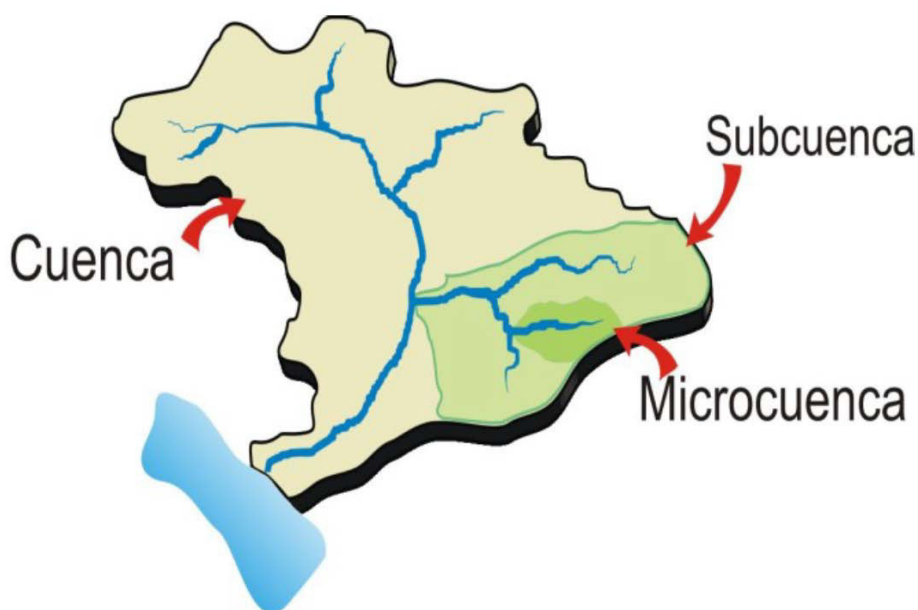


Figura 4. Representación de una microcuenca, tomado de Ordoñez-Gálvez (2011).

4.2.3 Cálculo del volumen de azolve

Esta actividad se realizó en gabinete, para lo que se dividió la figura frontal de las presas filtrantes en triángulos y rectángulos procediendo a calcular el área individual de cada uno de ellos, para posteriormente sumarlas y obtener el total de la cara frontal en m². Luego se utilizó la Ecuación 1, para obtener el volumen del prisma asimétrico

(Martínez y Filotti, 2019) donde se multiplica el área obtenida por la longitud del sedimento y se divide entre tres (ver, Figura 5).

$$V = \frac{Ab \times h}{3} \quad (1)$$



Figura 5. División de la cara frontal de la presa en figuras geométricas para el cálculo de su área total.

4.3 Análisis de las muestras de sedimentos en laboratorio.

4.3.1 Tratamiento de las muestras

Se dejaron secar las muestras de suelo fuera de las bolsas durante un mínimo de tres días para que perdieran la mayor humedad posible, sometiéndolas a un secado natural (Figura 6). Posteriormente se regresaron a sus bolsas y con un mazo de madera se golpearon para eliminar terrones; después, se pasaron por un tamiz de 2 mm, y se separó la materia orgánica tangible para complementar la caracterización del azolve recolectado previamente en campo.



Figura 6. Secado de las muestras fuera de las bolsas.

4.3.2 Medición de pH y conductividad eléctrica

La medición de datos de pH y conductividad eléctrica se realizaron con el método AS-18 Medición de la conductividad eléctrica y AS-02 pH medido en agua, especificados en la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000), que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

4.3.3 Análisis de materia orgánica

Existen diferentes técnicas para la determinación de materia orgánica, los cuales se aplican según el estado de la materia orgánica y pueden ser métodos físicos y químicos. Estos últimos emplean mucho tiempo y generalmente ocasionan secuelas desfavorables para el medio ambiente (Barrezueta-Unda *et al.*, 2020) por lo cual, para efectos de este estudio se aplicó el método de calcinación (método físico).

4.3.4 Determinación de materia orgánica del suelo (MOS) por el método de calcinación

El método de calcinación de la materia orgánica implica la destrucción climatizada de toda la MOS en los sólidos. El contenido de materia orgánica se calcula como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra dividido por el peso de la muestra inicial (Campos-Cascaredo, 2010). Para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%M.O. = \frac{(Peso\ 105^{\circ}C - Peso\ T^{\circ}calcinación)}{Peso\ 105^{\circ}C} * 100 \quad (2)$$

Los valores obtenidos de materia orgánica tangible, separada en el tratamiento de las muestras, se sumaron a la materia orgánica obtenida por calcinación para obtener la MOS total.

4.3.5 Determinación del carbono orgánico del suelo (COS)

Para la conversión de datos de MOS a datos de COS se utilizó el factor de Van Bemmelen de 0.58 (su recíproco es de 1.724) como factor de conversión universal. El procedimiento realizado fue multiplicar el contenido total en toneladas de materia orgánica por 0.58, puesto que con el uso de este factor se asume que la materia orgánica total contiene un 58% de carbono (Heaton *et al.*, 2016).

4.4 Efectos del manejo forestal en el volumen retenido de suelo por las obras de conservación.

4.4.1 Análisis de los datos con STATISTICA 7

Para el manejo de la información, se elaboraron dos matrices de trabajo:

1.- Datos físicos de las presas filtrantes. En esta base, las presas, se manejaron en intervalos de tamaño, organizándolas en tres grupos: A, B y C, en cada uno se asoció su información con el resto de las características revisadas (químicas, texturas, calidad de sitio, etc.).

- grupo A: 0.04 a 1.48 m² (102 presas);
- grupo B: lo conforman 70 presas filtrantes cuyas áreas variaron entre 1.49 y 3.34 m²

- grupo C, con 14 estructuras, presas con mayores áreas, de 3.35 m².

2. Tipo de material de construcción y año de ejecución.

En la segunda matriz los datos se manejaron a nivel de microcuenca. Los datos de vegetación correspondientes a volumen y porcentaje de cobertura de copa, se les aplicó la función logaritmo natural para incrementar la normalidad de los datos. Los datos fueron agrupados en función del tipo de material de construcción (rocas, madera o llantas) y año de construcción.

Para llevar a cabo el análisis de los datos se utilizó el programa STATISTICA versión 7 (2007), en el cual se realizó la estadística descriptiva, y para validar sus diferencias se utilizaron: correlación de Pearson para todas las variables y ANOVA de dos factores (material de construcción y tamaño de la presa) con tres niveles en cada uno para determinar el efecto del material de construcción respecto a la retención de azolve, expresado en toneladas.

4.5 Determinación del valor económico de las presas por medio del costo de reemplazo

Se utilizaron los datos de tres proyectos encontrados en la literatura, los cuales se hicieron en los estados de Baja California, Durango y Veracruz de manera individual. Se tomó información del costo de desazolve por tonelada en cada uno de los proyectos, posteriormente, utilizando la tasa de interés promedio por estado, el número de anualidades o periodos transcurridos desde la realización de los proyectos a la fecha y considerando la variación del dinero en el tiempo, se calculó el costo actual, esto haciendo uso de la fórmula de interés compuesto (Ecuación 3):

$$vp = vf / (1 + i)^n \quad (3)$$

Donde:

vf = Valor futuro

vp = Valor presente

i = Tasa de interés (en decimales), en este caso se utilizó una tasa de 4.4%

n = número de periodos

Una vez calculados los valores presentes por proyecto, se promediaron los mismos para obtener así un estimado del costo que conllevaría realizar el desazolve de los sedimentos retenidos por las presas filtrantes a la fecha en que se realizaron los muestreos. Estos montos de desazolve se consideraron como un beneficio, suponiendo que los costos hubieran sido ahorros por el arrastre aguas abajo y contenidos en algún cuerpo de agua.

Adicionalmente, se consideró como parte de los beneficios económicos otorgados por las presas filtrantes, el valor de la retención de carbono orgánico, mismo que se encuentra en la materia orgánica incorporada en los sedimentos y que se calculó con el método de calcinación. El precio actual de una tonelada de carbono orgánico que se consideró fue de € 71.43, que equivalen a un total de \$1,628.60 (SENDECO2, 2022).

En cuanto a los costos a considerar para esta investigación, se contempló el precio de establecer las presas filtrantes en campo, para lo que se realizó la búsqueda de información a través de los lineamientos CONAFOR 2020 para el programa de Compensación Ambiental por Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales (CACUSTF). Este muestra el apoyo económico que se otorga para llevar a cabo la construcción de presas filtrantes, el cual asciende a de \$750 por m³ construido para presas de piedra y \$600 por m³ de construcción de presas de morillos y de llantas.

Se hizo un análisis de beneficio costo (ABC) para determinar si la implementación de proyectos que incluyan el establecimiento de presas filtrantes es redituable (de Rus, 2021). En este punto es importante considerar que si la $ABC > 1$ los beneficios superan a los costos por lo que el proyecto debe ser considerado, si $ABC = 1$ los beneficios igualan a los costos por lo que no hay ganancias. Finalmente si $ABC < 1$ los costos superan a los beneficios y el proyecto no debe considerarse (Aguilera-Díaz, 2017). Para realizar este análisis se utilizó la siguiente fórmula:

$$ABC = \frac{\sum \frac{B}{(1+i)^n}}{\sum \frac{C}{(1+i)^n}} \quad (4)$$

Donde:

ABC= Análisis beneficio costo

B= Beneficio

C= Costo

i = tasa de interés

n = número de periodos

Como parte del ABC se utilizó el VAN, que es un indicador que expone el valor que se obtiene al aplicar un proyecto, poniendo de manifiesto su rentabilidad (Valencia-Andía, 2011), cuya ecuación es la siguiente:

$$VAN = \sum \frac{B}{(1+i)^n} - \sum \frac{C}{(1+i)^n} \quad (5)$$

Donde:

VAN= Valor actual neto

B= Beneficio

C= Costo

V RESULTADOS

5.1 Caracterización física de las presas filtrantes

5.1.1 Ubicación de presas filtrantes

Las presas filtrantes de piedra acomodada se encuentran distribuidas en 16 sitios de nueve localidades del municipio de Santiago Papasquiaro. Se identificaron 79 presas filtrantes de las cuales 58 fueron de piedra acomodada, 18 con morillos de madera y tres estructuras se realizaron con llantas. Las coordenadas particulares se localizan en el Anexo 6.

5.1.2 Caracterización morfológica de las presas filtrantes

Se caracterizaron 79 presas a las que se les revisaron los parámetros mencionados en la metodología lo cual generó una matriz de datos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Caracterización general de las presas filtrantes.

Presas (No)	Predio	Área de la microcuenca (MC) (ha)	Material de la presa	Año de ejecución	Pendiente (°)	X_UTM	Y_UTM	Precipitación (mm)
7	Altares	0.3599	Piedra	2018	2.5	407485	2764844	1100
4	Altares	0.3714	Piedra	2018	2.5	407472	2764733	1100
3	Altares	0.1516	Morillos	2018	2.5	410189	2765884	1100
3	Ciénega de Salpicalagua	5.2858	Piedra	2013	18.7	423270	2767070	1100
5	Ciénega de Salpicalagua	1.4012	Piedra	2013	20.5	423300	2767077	1100
12	Bajíos del Pinto	0.359	Piedra	2018	2.5	433044	2763084	1000
8	El Cambray	1.3931	Piedra	2013	12	436296	2774447	900
3	El Cambray	0.1266	Morillos	2013	17.5	435829	2774988	900
4	Laguna de la Chaparra	0.1585	Piedra	2018	22.5	434893	2771787	900
3	Laguna de la Chaparra	0.2583	Piedra	2013	22.5	431513	2774985	900
5	San Nicolás de Arriba	0.1121	Piedra	2014	5.5	437285	2752606	1100
3	San Nicolás de Arriba	0.0638	Piedra	2014	4.1	436378	2751095	1100
4	San José de la Chaparra	0.048	Piedra	2013	20	425690	2764355	1100
1	San José de la Chaparra	0.0822	Morillos	2013	2.5	428445	2765987	1100
11	Silvestre Revueltas	1.1418	Morillos	2014	24.7	438016	2770150	700
3	Garama de Abajo	0.2778	Llantas	2014	7.5	446922	2763423	550

5.1.3 Cálculo del volumen de azolve

Las estructuras evaluadas retuvieron un total de 303 ton de azolves, con una variabilidad de retención por presa filtrante de 0.02 ton a 29.91 ton. Los resultados particulares por presa se muestran con detalle en el Anexo 7 que representa la caracterización fisicoquímica de los azolves.

5.2 Análisis de las muestras de sedimentos en laboratorio.

A las muestras de suelo se les determinó el pH, CE y cantidad de materia orgánica. Con este último dato se calculó el contenido de carbono orgánico por toneladas de azolve retenido.

Cuadro 2. Valores de pH, CE, MOS Y COS presentes en los azolves.

No de presas	Sitio	Material de la presa	Predio	pH	Conductividad eléctrica (CE) (dS/m ⁻¹)	Azolve (ton)	Materia orgánica total (ton)	Carbono orgánico (ton)
11	1 y 2	Piedra	Altares	5.18 – 6.1	.0576 - .1457	57.23	2.78	1.61
3	3	Morillos	Altares	6 – 7.92	.0803 - .1201	12.16	0.35	0.21
12	4	Piedra	Bajíos del Pinto	5.74 – 8.92	.0579 - .2365	14.48	0.33	0.19
8	5 y 6	Piedra	Ciénega de Salpicalaguna	5.61 – 6.41	.0754 - .1682	71.67	2.33	1.35
8	7	Piedra	El Cambray	5.78 – 6.59	.0307 - .1795	31.66	1.04	0.60
3	8	Morillos	El Cambray	5.14 -6.34	.0356 - .0626	9.85	0.77	0.45
3	9	Llantas	Garama de Abajo	7.35 – 8.04	.1362 - .2488	19.44	0.79	0.46
7	10 y 11	Piedra	Laguna de la Chaparra	4.92 – 6.45	.0324 - .1715	18.44	1.84	1.07
4	12	Piedra	San José de la Chaparra	5.24 – 5.86	.035 - .0582	6.83	0.16	0.09
1	13	Morillos	San José de la Chaparra	5.42 – 5.45	.0423 - .0567	2.34	0.21	0.12
8	14 y 15	Piedra	San Nicolás de Arriba	5.32 – 6.42	.0506 - .1245	6.65	0.33	0.19
11	16	Morillos	Silvestre Revueltas	5.35 – 6.49	.0502 - .1743	52.26	4.92	2.86
Totales						303	15.85	9.19

Los resultados de pH indican que se cuenta con suelos moderadamente ácidos en 72 de las muestras de azolve colectadas de presas construidas de piedra y de morillos, lo que representa un 91.14% del total. En las tres presas de llantas, que corresponden

al 3.8% de las estructuras el valor de pH se interpreta como medianamente alcalino; en tres presas más elaboradas una de morillos y dos de piedra, los valores de los azolves correspondieron a un pH neutro. Finalmente, en una presa de morillos (presa 1 en Silvestre Revueltas) no se retuvo suelo, solamente materia orgánica tangible (hojas, raíces y ramas) y piedras mayores a 2 mm, por lo que no fue posible obtener valores de pH y conductividad en la mencionada muestra (Cuadro 2).

Los contenidos más altos de COS se encontraron en las presas de piedra ubicadas en los sitios de los predios Silvestre Revueltas, Altares, Ciénega de Salpicalagua y Laguna de la Chaparra con 2.86, 1.61, 1.35 y 1.07 ton respectivamente; seguidos de El Cambray y Garamé de Abajo. Los valores más bajos de MOS y por consiguiente de CO, se localizan en las presas establecidas en las localidades Bajíos del Pinto, El Cambray, San José de la Chaparra.

Cuadro 3. Textura de los azolves de las presas filtrantes según su material de construcción.

No de presas	Predios de localización	Material de la presa	Textura
58	Altares, Bajíos del Pinto, Ciénega de Salpicalagua, El Cambray, Laguna de la Chaparra, San José de la Chaparra, San Nicolás de Arriba.	Piedra	Areno franco, Franco arcilloso, Arcilloso, Arcillo arenoso, Franco arcillo arenoso, Franco arcillo limoso y Arcillo arenoso.
18	Altares, El Cambray, San José de la Chaparra, Silvestre Revueltas	Morillos	Areno franco, Franco y Franco arcilloso
3	Garamé de Abajo	Llantas	Limoso arcilloso y Franco arenoso

En el Cuadro 3 se observan los valores de textura, separados por cada material de construcción de las presas. Es importante mencionar que la textura predominante en las presas de piedra y de morillos es el Arenos franco (aF), presente en 62 de las 79 presas evaluadas, cuya relación arena-limo-arcilla en porcentaje es de 80-15-5, seguidos por el Franco arcilloso (FA) con relación 35-30-35 en cinco presas; posteriormente, en cuatro presas se encontró una textura Arcillosa (A) con relación 10-20-60; en dos presas (de llantas) la textura correspondió a Limoso arcilloso con contenido arena-limo-arcilla de 5-50-45. Finalmente, en las seis presas restantes se encontraron texturas Arcillo arenoso (Aa), Franco (F), Franco arcillo arenoso (FAa), Franco arcillo limoso (FAL) y Franco arenoso (Fa). En el Cuadro 4 se muestra un resumen de los resultados de la caracterización física de los azolves que se obtuvieron

mediante tamizado de las muestras y extracción de materia orgánica tangible. Los resultados específicos por presa se encuentran en el Anexo 7.

Cuadro 4. Caracterización física del azolve respecto a su tamaño y contenido de MO tangible.

No. de Presas	Mayor a 2 mm (%)	Menor a 2 mm (%)	Materia orgánica tangible (%)	Total (%)
79	46.29	52.68	1.04	100

Los valores más altos de volumen del arbolado se encuentran en Silvestre Revueltas, Altares, y Ciénega de Salpicalagua en presas de piedra y morillos, seguidos de El Cambray y Laguna de la Chaparra en presas de piedra (Cuadro 5). Los volúmenes más bajos de vegetación se encontraron en San Nicolás de Arriba y San José de la Chaparra. Con los datos del GPS, se ubicó el parteaguas de cada microcuenca y se calculó el área de cada una de ellas. La pendiente (expresada en grados) se obtuvo a través de un modelo digital de elevación, el cual se obtuvo en el programa ArcGis y con el Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (INEGI, 2013).

Cuadro 5. Datos de la vegetación.

Comunidad	Material de la presa	No. de Sitio	Volumen (m³)	Área Basal (m²)	Cobertura de copa (%)
Altares	Piedra	1	48.30	5.82	46.64
Altares	Piedra	2	86.73	10.40	54.02
Altares	Morillos	3	18.91	1.91	37.83
San Nicolás de Arriba	Piedra	1	7.55	1.33	46.98
San Nicolás de Arriba	Piedra	2	3.89	0.50	29.27
Laguna de la Chaparra	Piedra	1	3.53	1.28	22.79
Laguna de la Chaparra	Piedra	2	50.57	5.70	60.81
Silvestre Revueltas	Morillos	1	135.00	28.45	69.52
El Cambray	Piedra	1	51.58	14.31	39.02
El Cambray	Morillos	2	2.03	0.70	14.69
San José de la Chaparra	Piedra	1	1.58	0.42	26.38
San José de la Chaparra	Morillos	2	2.30	0.27	7.25
Ciénega de Salpicalagua	Piedra	1	556.19	72.76	47.04
Ciénega de Salpicalagua	Piedra	3	141.05	16.86	41.21
Bajíos del Pinto	Piedra	1	0	0	0

Garama de Abajo	Llantas	1	0	0	0
Totales		16	1109.22	160.71	

5.3 Descripción de los efectos del volumen de vegetación y cobertura de copa en el volumen retenido por las presas

Para hacer este análisis, se hizo una correlación bivariada entre el peso del azolve y las variables dasométricas y edafológicas. Para ello, las presas se agruparon en función de su tamaño (identificadas con las letras A, B y C, ver sección 4.4.1). Se identificaron 37 correlaciones significativas con respecto a las 18 variables evaluadas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Correlación del peso del azolve con otras variables.

GRUPO A Correlaciones. Las correlaciones marcadas son significativas a $p < 0,05000$ N=102 (eliminación de datos faltantes por															
	pH	CE	MAY2	MEN2	MOT	P(°)	Ppt	AMC	AP	VOL P	MOS TON	COS TON	V m³/ha	AB m²/ha	CC %
Paz	-0.19	-0.19	0.86	0.92	0.27	-0.05	0.11	-0.06	0.70	0.70	0.74	0.74	0.38	0.25	0.10
GRUPO B Correlaciones. Las correlaciones marcadas son significativas a $p < 0,05000$ N=70 (eliminación de datos faltantes por															
	pH	CE	MAY2	MEN2	MOT	P(°)	Ppt	AMC	AP	VOL P	MOS TON	COS TON	V m³/ha	AB m²/ha	CC %
Paz	0.39	0.50	0.84	0.80	-0.24	-0.25	-0.13	-0.01	0.36	0.36	0.44	0.44	-0.16	-0.33	-0.33
GRUPO C Correlaciones. Las correlaciones marcadas son significativas a $p < 0,05000$ N=14 (eliminación de datos faltantes por															
	pH	CE	MAY2	MEN2	MOT	P(°)	Ppt	AMC	AP	VOL P	MOS TON	COS TON	V m³/ha	AB m²/ha	CC %
Paz	0.09	0.48	0.96	0.87	-0.69	-0.10	0.62	0.61	0.93	0.93	0.94	0.94	-0.37	-0.59	-0.58

*Las variables indicadas en el cuadro indican lo siguiente: Paz= Peso del azolve (ton), pH= Potencial de hidrógeno, CE= Conductividad eléctrica, MAY2= Partículas de suelo mayores a 2 mm, MEN2= Partículas de suelo menores a 2 mm, MOT= Materia orgánica tangible, P(°)= Pendiente en grados, Ppt= Precipitación, AMC= Área de la microcuenca, AP= Área de la presa, VOL P= Volumen de la presa, MOS TON= Materia orgánica del suelo en toneladas, COS TON= Carbono orgánico del suelo en toneladas, V m³/ha= Volumen de la vegetación en m³, AB m²/ha= Área basal de la vegetación en m², CC%= Porcentaje de cobertura de copa.

Respecto al pH, este se correlaciona con el sedimento en el grupo B, igualmente la conductividad eléctrica. Las partículas de suelo mayores a 2 mm (MAY2), menores a 2mm (MEN2) se correlacionan positivamente con el azolve en los tres grupos, mientras que la materia orgánica tangible (MOT) y el área basal de la vegetación (AB m²/ha) se relaciona de manera positiva con el grupo A y negativamente con los grupos B y C. El área y volumen de la presa, la MOS y COS totales se relacionan de manera positiva con el azolve. La pendiente se relaciona positivamente con los sedimentos en el grupo B y la precipitación al igual que el área de las microcuencas muestra relación positiva únicamente en el grupo C. Finalmente, la variable de volumen de la vegetación se asocia solo en el grupo A y el porcentaje de la cobertura de copa muestra que al aumentar ésta, el azolve disminuye en los grupos B y C.

En cuanto a la efectividad de las presas tomando en cuenta sus materiales de construcción, los resultados de la ANOVA de dos vías arrojaron que hay diferencias significativas en la retención de sedimentos de acuerdo con el material de construcción. Las presas realizadas con llantas son las más efectivas, puesto que estas retienen una cantidad de azolve media de 7.47 toneladas superando en retención a las realizadas con piedras y morillos, las cuales retienen una media de retención de azolve en toneladas de 3.33 a 4.14 respectivamente. Las diferencias de medias indican que presas de madera y piedra retienen cantidad de azolves similar (A) y las presas de llantas (B) son diferentes al retener más (Figura 8).

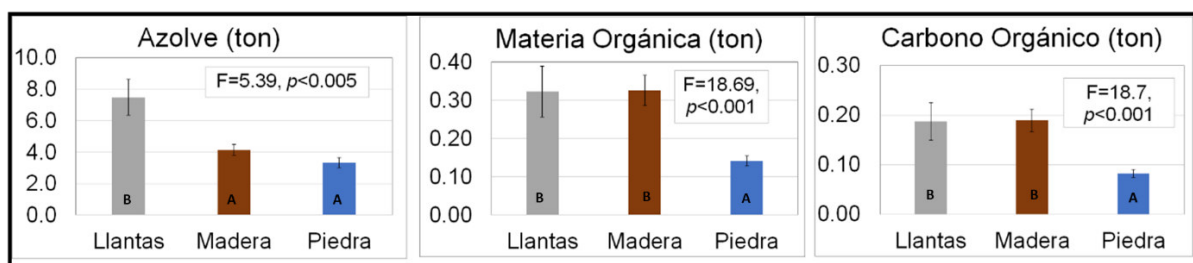


Figura 7. Resultados de la ANOVA de dos vías del peso de los azolves, MOS y COS con los materiales de construcción de las presas.

En la retención de MOS y COS las diferencias son igualmente significativas al retener más toneladas las presas de madera y llantas que las de piedra, igualmente representado por la diferencia de medias, donde A (piedra) es menos eficiente que B (madera y llantas).

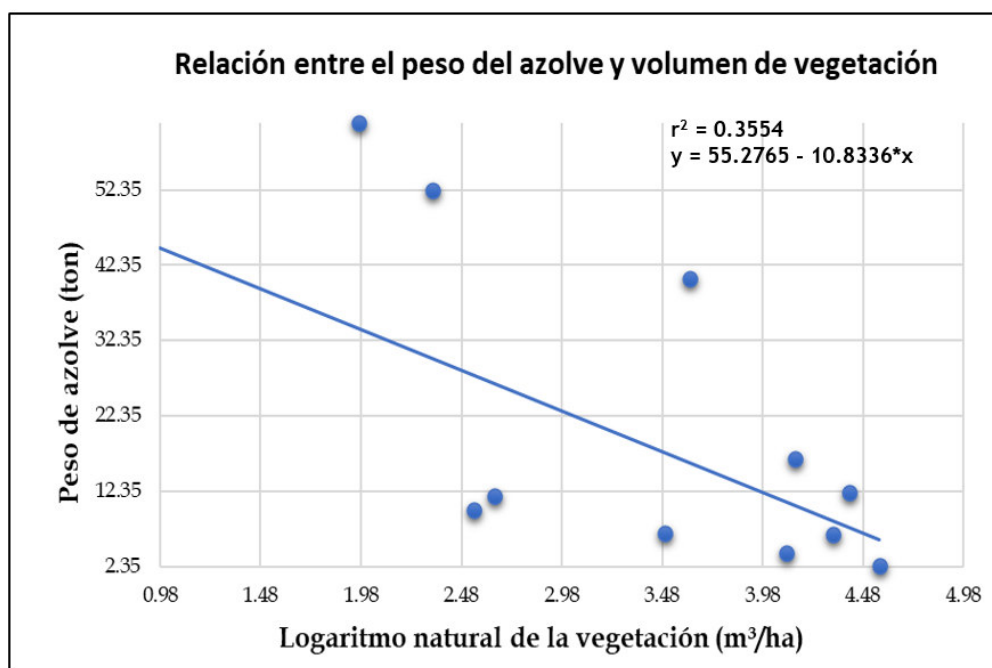
En el Cuadro 7, se muestra un resumen de la correlación realizada a todas las variables obtenidas (ver Anexo 10), en el cual se puede observar que cuando las partículas de suelo son más grandes, la materia orgánica se retiene mejor y a medida que la precipitación es mayor, la materia y carbono orgánicos del suelo tienden a ser arrastrados por la escorrentía. Los azolves se acumulan más cuando el área de captación de la cuenca es más grande y sus agregados tienden a ser de mayor tamaño. Cabe señalar que se aprecia una correlación negativa con el logaritmo natural del volumen de la vegetación, área basal y con el porcentaje de cobertura de copa. En este cuadro se muestra también una correlación negativa entre los sedimentos captados y el volumen de la vegetación.

Cuadro 7. Resumen de la correlación las variables obtenidas.

Variable	PPTN	MAY2	MEN2	MO	AMC	Paz	ln V	ln AB
MO	-0.76	0.59						
Paz		0.94	0.89		0.86			
MOS TON	-0.67	0.84	0.57	0.91	0.64	0.79		
COS TON	-0.67	0.84	0.57	0.91	0.64	0.79		
ln V		-0.56			-0.76	-0.60		
ln AB		-0.70	-0.69		-0.89	-0.75	0.91	
ln CC		-0.69	-0.64		-0.84	-0.73	0.87	0.97

*Las variables indicadas en el cuadro indican lo siguiente: MO= Materia orgánica, Paz= Peso del azolve (ton), MOS TON= Materia orgánica del suelo en toneladas, COS TON= Carbono orgánico del suelo en toneladas, ln V= Logaritmo natural de la vegetación, ln AB= Logaritmo natural del área basal, ln CC= Logaritmo natural de la cobertura de copa, PPTN= Precipitación, MAY2= Partículas de suelo mayores a 2 mm, MEN2= Partículas de suelo menores a 2 mm y AMC= Área de la microcuenca.

La relación que existe entre el peso del azolve en toneladas y el volumen de vegetación es inversamente proporcional, ya que, al aumentar el volumen de vegetación existente en las microcuencas, el peso del azolve (Paz) disminuye (Figura 8). Esto sugiere que en un sitio con volumen de vegetación alto (ln V), la erosión del suelo se verá reducida. El coeficiente de determinación r^2 indica un ajuste del 30% del peso del azolve con la vegetación.



En la Figura 9, se representa la relación de los sedimentos con la pendiente en grados que se encontró en los terrenos, donde se puede observar que a medida que la pendiente aumenta se incrementa el peso de los azolves.

A continuación, se muestran los resultados específicos de la regresión lineal del peso de los azolves (Paz) con la vegetación ($\ln V$) y la cobertura de copa ($\ln CC$); los

números resaltados en rojo indican que las mencionadas variables afectan de manera significativa la variable del azolve en toneladas. Lo anterior viene a reforzar lo obtenido en los diagramas de dispersión y en la correlación de todas las variables, donde se ha indicado que la cantidad de azolve es dependiente del volumen de vegetación y de la cobertura de copa arbórea (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultados de la regresión lineal del peso de los azolves con la vegetación y la cobertura de copa.

Parametrización restringida por Sigma										
Efecto	Paz Param.	Paz Std.Err	Paz t	Paz p	-95.00% Cnf.Lmt	+95.00% Cnf.Lmt	Paz Beta (β)	Paz St.Err.β	-95.00% Cnf.Lmt	+95.00% Cnf.Lmt
Interceptar	55.2765	15.09513	3.66188	0.003742	22.0524	88.50068				
In V	-10.8336	4.39892	-2.46278	0.031523	-20.5155	-1.15161	-0.596168	0.242071	-1.12896	-0.063373
Interceptar	61.1825	12.45798	4.91111	0.000463	33.7626	88.60230				
In CC	-16.0392	4.58708	-3.49661	0.005000	-26.1353	-5.94313	-0.725533	0.207496	-1.18223	-0.268837

5.4 Valor económico de las presas filtrantes por la acción de retener el suelo en la parte alta de la cuenca.

Para la determinación del costo de reemplazo, en este proyecto es necesario considerar datos de beneficios y costos con el fin de hacer un análisis de beneficio costo (ABC) para poder determinar la viabilidad de llevar a cabo la construcción de presas filtrantes. En este trabajo, se tomaron como beneficios el evitar el desazolve de cuerpos de agua en caso de que los sedimentos retenidos por las estructuras hubieran sido arrastrados aguas abajo, así mismo se consideró el carbono orgánico retenido en los sedimentos de las presas filtrantes. En el Cuadro 9 se muestra un resumen de los montos de desazolve.

Cuadro 9. Resumen de proyectos de desazolve llevados a cabo en México.

Proyecto	Monto inversion (\$)	Área (m²)	Azolve (ton)	vp (\$/ton)	vf (\$/m3)
Desazolve el Vaso de la Presa Abelardo L. Rodríguez, mpio. Tijuana, Baja California. 2002	\$ 5,115,016.65	983,609	112,665	\$ 45.40	\$ 183.77
Desazolve del Río Tunal, Mpio. Durango, Dgo. 2011	\$ 2,320,000.00	49678	49,020	\$ 47.33	\$ 97.97
Limpieza y desazolve del Río San Agustín, Veracruz. 2008	\$ 37,745,478.19	132,870	1,185,939	\$ 31.83	\$ 87.01
Promedio			449,208	\$ 41.52	\$ 122.91

La cantidad de carbono orgánico encontrado en las 302.99 toneladas de sedimentos retenidos en las presas filtrantes es de 9.19 toneladas que representan el 3.03% del peso total de los azolves. Asumiendo que el precio es de \$1,628.60/ton/COS (SENDECO2, 2022), entonces el costo del COS obtenido sería de \$14,966.83.

En las 79 presas evaluadas, el volumen de construcción de las estructuras fue de 64.38 m³, teniendo en cuenta los montos por m³ otorgados para su elaboración, el valor de estas asciende a \$45, 043.50. En el Cuadro 10, se pueden observar los conceptos y los montos que se consideraron como costos y beneficios para determinar el valor económico de los azolves retenidos en las presas filtrantes.

Cuadro 10. Relación de costos y beneficios del proyecto.

Cantidad	Concepto	Costos	Beneficios
11.59	Superficie total de las microcuencas (ha)	-	-
79	Total de presas filtrantes evaluadas	-	-
\$ 750.00	\$/m³ construcción de presas de piedra	-	-
\$ 600.00	\$/m³ construcción de presas de morillos	-	-
\$ 600.00	\$/m³ construcción de presas de llantas	-	-
42.77	m³ de presas de piedra contruidos	\$32,077.50	-
18.41	m³ de presas de morillos contruidos	\$11,046.00	-
3.20	m³ de presas de llantas contruidos	\$ 1,920.00	-
302.99	Sedimentos retenidos (ton)	-	-
\$ 122.91	\$ desazolve/ton	-	\$37,240.50
9.19	ton COS	-	-
\$ 1,628.60	\$ COS/ton	-	\$14,966.83
Total		\$45,043.50	\$52,207.33

Se calculó el ABC para evaluar la pertinencia de establecer presas filtrantes en las partes altas de la cuenca, para lo anterior se obtuvo lo siguiente:

$$ABC = \frac{\sum B}{\sum C} = \frac{52,207.33}{45,043.50} = 1.15$$

Asimismo, se aplicó la fórmula del VAN, para conocer la ganancia por ejecutar un proyecto de presas filtrantes en bosque templado frío, con lo cual se lograron los resultados que se muestran a continuación:

$$VAN = \sum B - \sum C = \$52,207.33 - \$45,043.50 = \$7,062.14$$

Con los resultados anteriores, considerando el valor de 1.15 en el ABC y el VAN con valor de \$7,062.14, se infiere que es viable el establecimiento de presas filtrantes para evitar el desazolve de cuerpos de agua puesto que las presas detienen los sedimentos aguas arriba de la microcuenca y por la acción de retener igualmente el carbono orgánico, además de obtener ganancias con su implementación.

VI DISCUSIÓN

6.1 Caracterización morfológica de las presas

De acuerdo con la caracterización morfológica de las presas filtrantes y con las características fisicoquímicas de los sedimentos retenidos en ellas se observa que las presas construidas con llantas fueron las estructuras que se construyen con menor frecuencia, pero las de mayor eficiencia. Lo anterior, se debe a la escasa disponibilidad de material presente en las áreas con cárcavas susceptibles de restauración (CONAFOR, 2018b) y al tipo de material que impide el paso de sedimentos finos y retiene más partículas de suelo. En este caso, las llantas se utilizaron en áreas donde no había en existencia algún otro material de construcción para las estructuras. Las presas establecidas con ese material han perdurado, cumpliendo su función hasta la fecha de la presente evaluación, lo cual pone de manifiesto la calidad y eficiencia de los materiales de construcción de las obras.

En el otro extremo, a pesar de su abundancia, el material menos utilizado fue el de morillos para construir presas filtrantes. Esto se debe quizás a que tratándose de material que está expuesto a la descomposición, no tiene mucha demanda para construir tales presas. Por lo tanto, el material dominante fueron las piedras en el área, las cuales, aunque no reportaron la misma eficiencia que las llantas, son abundantes y baratas. Esto coincide con los trabajos citados en los antecedentes de esta investigación, en los que los materiales de las presas evaluadas fueron en su mayoría construidas con piedra acomodada; además, obtuvieron resultados positivos en cuanto a retención de azolves por medio de presas filtrantes (Muñoz-Gutiérrez 2006; Rodríguez-Rodríguez, 2008 y Arriaza-Rodríguez, 2016), que corresponden a los obtenidos en este proyecto.

Respecto a la efectividad de los materiales en la retención de sedimentos, se puede deducir que las llantas al ser un material menos poroso que las piedras y morillos, que no se degradan con rapidez y que dejan menos espacios abiertos entre sí al ser más anchas y de tamaño más regular, reducen el paso de material sedimentario, por lo que su nivel de captación es mayor respecto a los otros materiales de las presas filtrantes establecidas en el área de estudio.

Los resultados de conductividad eléctrica (CE) indican que, según la NOM-021, tienen efectos poco perceptivos de salinidad o casi nulos ya que no contienen suficientes sales solubles para obstaculizar el crecimiento de las plantas al ser menores a 1.0 dS m⁻¹. Se infiere que estos valores bajos de salinidad podrían ser provocados por el arrastre hídrico al que han sido sometidas estas partículas de suelo y al continuo flujo de la corriente hídrica, lo que ha lavado de sales estos sedimentos (Gili *et al.*, 2004). Además, el pH medianamente alcalino, sugiere que los sedimentos del suelo tienen carencias de boro, cobre, hierro, zinc y fósforo (Mingorance-Álvarez, 2010). De igual manera, es posible argumentar que se tiene baja disponibilidad de micronutrientes y altos niveles de calcio y magnesio, esta última relación evidencia una insuficiencia de magnesio con relación al calcio o viceversa. Estos dos elementos son importantes ya que sus niveles adecuados aseguran que las plantas capten las porciones adecuadas de los demás nutrientes, asegurando así un óptimo rendimiento del suelo (INPOFOS, 1993).

Los resultados indican que en los azolves retenidos en las presas filtrantes predominan las arenas, ya que estos agregados no se unen entre sí y por acción del agua son partículas más erosionables puesto que se disgregan con más facilidad (Ciancaglini-Prosap, 2021). Los suelos arenosos no se agrupan, además debido a su alto grado de porosidad no retienen agua, ya que se seca rápidamente al tener buen drenaje y por tanto es complicado para una planta sobrevivir la sequía en este tipo de suelo. Al igual que la humedad, presentan por lo general poca retención de materia orgánica, debido a su textura y al ser mayormente producto de la erosión, por lo tanto, es difícil que se establezcan ciertas plantas en él.

6.2 Relación de variables dasométricas con la retención de sedimentos

Existe una relación inversa entre el volumen de arbolado, la cobertura de copa y el peso (volumen) de los sedimentos en las presas evaluadas. Esto se debe a que el escurrimiento pluvial no arrastra con facilidad las partículas de suelo ya que se adhiere a las raíces y su retención en el sitio es mayor. Además, al caer las gotas de lluvia, éstas no inciden directamente en el suelo, sino que lo hacen primero en las copas de los árboles, lo cual minimiza el impacto de la precipitación sobre el suelo y aumenta el

escurrimiento fustal y de la copa. Eventualmente, hay menor impacto de las gotas de lluvia y separación de los agregados, disminuyendo por tanto la erosión del suelo (González-Hidalgo, 1998).

En el presente estudio, la vegetación es el factor que más influyó en la acumulación de azolves. No obstante, es destacable que la erosión tiene influencia directa sobre la vegetación, desarraigando las plantas, eliminando y/o redistribuyendo las semillas. También influye indirectamente, puesto que se elimina o modifica la superficie del suelo, que es el soporte de las plantas y es almacén de agua y nutrientes. Por tanto, la erosión hídrica puede considerarse un factor ambiental capaz de modificar la composición y distribución de la vegetación, por lo que la relación erosión-vegetación debería considerarse como un agente particular del amplio conjunto de vinculaciones entre suelo y vegetación (García-Fayos, 2004).

Los proyectos encontrados como antecedentes de la presente investigación también utilizaron los sedimentos retenidos como beneficio ambiental y se les estimó un valor económico para conocer el impacto monetario al establecer las presas filtrantes.

6.3 Costo de reemplazo.

En esta investigación, dada la magnitud y complejidad de muchos servicios ecosistémicos, se hizo una valoración económica de los sedimentos evaluando el costo de dos servicios prestados por el suelo: el beneficio de mantener el suelo retenido en las partes altas del terreno y el valor del carbono orgánico retenido por éstos. El valor del suelo como un sistema natural, esto es, el valor intrínseco (o de existencia) y de opción, como el valor del suelo por el tiempo que se demoró en formarse, no fueron considerados. Esta dificultad de valorar el suelo en todos sus beneficios ha sido reconocida por otros autores (Cotler *et al.*, 2011). En retrospectiva, se ofrece una aproximación a su valor considerando los servicios antes mencionados que son muy comunes en proyectos de inversión y que reflejan lo que la sociedad valora de forma inmediata (Cristeche y Penna, 2008) utilizando métodos directos de valoración (Sanjuro e Islas, 2007).

Con la ayuda del método del costo de reemplazo fue posible la identificación de los beneficios y costos económicos que se generan por establecer presas filtrantes de piedra, morillos y llantas en bosques templados. Igualmente se determinó como factible la oportunidad de realizar este tipo de proyectos en áreas con problemas de degradación severa, considerando más los resultados como una aproximación teórica a la valoración de la retención de sedimentos, más que como un probable plan de acción (Clark, 1996).

Los resultados de la valoración económica de servicios ecosistémicos ofrecen un panorama en el que se resalta la importancia de la implementación de obras de conservación y restauración de suelos como instrumento para la mitigación de la erosión con el fin de restaurar los ecosistemas afectados por esta.

VII CONCLUSIONES

El objetivo general de esta investigación fue el realizar la evaluación ambiental y económica de las obras de conservación y restauración de suelos, elaboradas de diferentes materiales y establecidas en bosques templados de pino encino en el noroeste de Durango. Con la metodología seguida en el proyecto se logró dar cumplimiento al objetivo general y a los específicos. Se obtuvo la matriz de datos de las presas filtrantes, arbolado y microcuencas, que contiene la caracterización física de las presas filtrantes, una caracterización fisicoquímica de los azolves contenidos en ellas y volúmenes de arbolado existente y cobertura de copa de este.

El material de llantas para construcción de presas filtrantes es el menos utilizado, seguido de los morillos y el material más utilizado son las piedras. El material de construcción de presas más eficiente para la retención de azolves son las llantas, seguido de los morillos y el menos efectivo son las piedras.

Los factores que más incidieron en la retención de sedimentos en las presas fueron el volumen de la vegetación arbórea y la cobertura de copa. Se obtuvieron valores económicos de costos y beneficios que conlleva el establecimiento de presas filtrantes para evaluar la viabilidad de establecer proyectos de este tipo en áreas degradadas por erosión hídrica. Se concluye que el ejecutar proyectos establecer presas filtrantes para retener azolves en las partes altas de la cuenca beneficia ambiental y económicamente al ecosistema, ya que, aunado a acciones de reforestación o establecimiento de pastos, es posible minimizar la erosión del suelo.

VIII RECOMENDACIONES

Debido a que la erosión es el movimiento de las partículas del suelo de un lugar a otro, lo ideal sería la retención de los suelos aguas arriba, con el propósito de evitar su arrastre hacia las partes bajas de los terrenos. Para tal efecto existen diversas alternativas tales como obras y prácticas para el control de erosión en laderas, obras y prácticas para el control de la erosión en cárcavas complementadas con reforestaciones, mismas que se pueden llevar a cabo en las partes más altas de las cuencas, previniendo la formación de las cárcavas, y el transporte del suelo.

Es importante tomar en cuenta los datos de vegetación arbustiva y de pastos en este tipo de investigaciones, ya que son elementos que favorecen de igual manera que los árboles con sus sistemas radiculares a la retención de los suelos, minimizando su transporte.

Debido a que la vegetación es un factor sumamente importante en la disminución de la erosión, los trabajos apoyados por las dependencias, tanto federales, estatales y municipales en cuestión de conservación y restauración de ecosistemas forestales deberían considerar reforestaciones en las microcuencas que cuentan con apoyo de presas filtrantes para mejorar la velocidad de restauración de los sitios apoyados y minimizar aún más la erosión del suelo.

Los productores y beneficiarios de apoyos sociales de gobierno podrían invertir recursos, tiempo y esfuerzos propios para poner atención en este problema que aqueja sus bosques, y que es en detrimento de sus propios recursos naturales. Es recomendable realizar obras de conservación y restauración de suelos, reforestaciones, ya que sus actividades se ven mermadas con la deforestación del bosque, que propicia la erosión del suelo, reduce la calidad y cantidad de agua disponible para sus actividades productivas, destruye vías de comunicación y provoca inundaciones.

Para aplicar el costo de reemplazo, se recomienda utilizar más variables para proporcionar un valor más real a las presas filtrantes, tales como, arbolado sujeto a aprovechamiento forestal y agua como recarga de acuíferos, ya que el suelo tiene

un valor más completo, en relación con todas las funciones que cumple en los ecosistemas.

IX REFERENCIAS

- Aguilera-Díaz, A. (2017). El costo beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. Cost-benefits as a Decision Tool for the Investment in Scientific Activities. (U. d. Habana, Ed.) *Cofin-Habana*, 11(2).
- Almorox-Alonso, López-Bermúdez, F. y Rafaelli, S. Degradación de suelos. *La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación* (pp. 25—47). Editorial Universidad de Murcia.
- Álvarez-Rivera, O., Estrada-Medina, H. y Jiménez-Osornio, J. (2021). Secuestro inorgánico decarbono: La ruta oxalato-carbonato en ambientes cársticos calcáreos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(10), 1—12.
- Amador-Sierra, J. (2019). *Implementación del diseño hidrológico con líneas clave en cultivo de frijol de temporal en Nombre de Dios, Dgo.* Tesis de maestría. CIIDIR-IPN (Instituto Politécnico Nacional Unidad Durango), Durango, Dgo., México.
- Arenas-Escribano, J. (2017). *Vegetación perenne en taludes de carretera: Condicionantes para su establecimiento y oportunidades para la conservación y restauración de ecosistemas*. Madrid, España: Universidad Complutense, Departamento interuniversitario de Ecología, Facultad de Biología.
- Arriaza-Rodríguez, A. (2016). *Escurrimiento superficial en pequeñas áreas de aporte de la cuenca Coatán y propuestas para su ordenación agrohidrológica*. Tonalá, Chiapas: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Báez-Quiñones, N. (2018). Valoración económica del medio ambiente y su aplicación en el sector ganadero cubano. *Pastos y Forrajes*, 41(3), 161—169. Obtenido de <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pastoypage=articleyop=viewypath%5B%5D=2042>
- Barrezueta-Unda, S., Cervantes-Alava, A., Ullauri-Espinoza, M., Barrera-León, J., y Condoy-Gorotiza, A. (19 de Febrero de 2020). Evaluación del método de ignición para determinar materia orgánica en suelos provincia El Oro, Ecuador. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 19(2), 25-36. doi:<https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.9747>
- Berrio, L., Villegas, C., y Arango, S. (2019). *Interacciones de doble vía y modelación de las relaciones humano-naturaleza, una aplicación en los Andes Colombianos*. (I. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo,

Editor, y R. M. Cuencas, Productor) Recuperado el 3 de Mayo de 2021, de Libro de Resúmenes del I Congreso Latinoamericano y V Congreso Nacional de Manejo de Cuencas: https://remexcu.org/cmch-2019/images/docs/Libro_Resumenes_CMCH-2019_V1.pdf

Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 117—124. Obtenido de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-01352016000200011

Bravo-Espinoza, M., Mendoza, M. E., Medina-Orozco, L., y Sáenz-Reyes, T. (2010). Características y Control de Cárcavas. *Terra Latinoamericana*, 28(3). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57316064011.pdf>

Callata-Barrantes, J. (2018). Estructuras para el control de inundaciones. *Universidad Alas Peruanas. Facultad de Ingenierías y Arquitectura*. Perú, Puno, Perú: UAP-Filial Puno.

Campos-Cascaredo, A. (2010). Analyzing the relation between loss on ignition and other methods of soil organic carbon determination in a tropical cloud forest (Mexico). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(12), 1454—1462. Obtenido de https://inacol.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1005/33/1/6189_2010-10181.pdf

Castelán, R., López, C., Tamariz, J., y Linares, G. (2017). Erosión y pérdida de nutrientes en diferentes sistemas agrícolas de una microcuenca en la zona periurbana de la ciudad de Puebla, México. *Terra Latinoamericana*, 2—8.

Ciancaglini- Prosap, N. (2021). *Determinación de textura de suelos por método organoléptico*. Universidad Nacional Agraria de la Selva Facultad de Recursos Naturales Renovables, Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, Tingo María, Perú. Obtenido de [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\(R-001\)-%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20(R-001)-%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf)

Clark, R. (1996). *Methodologies for the economic analysis of soil erosion and conservation*. Reino Unido.

COLEGIO DE POSGRADUADOS (COLPOS). (2017). *Presas filtrantes de piedra acomodada* (2a. Ed. ed., Vol. 1). (D. G. Subsecretaría de Desarrollo Rural, Ed.) D.F., México, México: SAGARPA.

- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO). (2021). *Portal de Geoinformación 2021*. Obtenido de Sistema Nacional de Información sobre biodiversidad (SNIB): <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR). (2012). *Programa de Restauración forestal en cuencas hidrográficas prioritarias* (1ª ed.). Zapopan, Jalisco: Comisión Nacional Forestal.
- CONAFOR. (2018a). *Libro Blanco. Programa Nacional Forestal PRONAFOR*. Zapopan, Jalisco: SEMARNAT-CONAFOR.
- CONAFOR (2018b). *Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas* (5ª ed.). Zapopan, Jalisco: Comisión Nacional Forestal. Obtenido de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1310Manual%20de%20Conservacion%20de%20Suelos%20.pdf>
- Cortés, H. G., y Ramírez, J. J. (2013). *Diseño hidrológico del terreno (Sistema Keyline), en parcelas agrícolas con precipitación limitada. Manual técnico* (1ª ed.). Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Cotler, H., López, C., y Martínez-Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación Ambiental*, 3(2), 31—43. Obtenido de <https://remexcu.org/documentos/boletines/DS-2018-04-%20Cotler.pdf>
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., y Cortina, S. y Quiñones, L. (2007). “La conservación de suelos: un asunto de interés público”. *Gaceta Ecológica*, núm. 83, México., 7—68.
- Cristeche, E., y Penna, J. (2008). *Métodos de valoración económica de los servicios ambientales*. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. doi:https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-metodos_doc_03.pdf
- de Rus, G. (2021). *Análisis Coste-Beneficio: Evaluación de políticas públicas y proyectos de inversión*, 2021. Las Palmas, Gran Canaria, España: Universidad de Las Palmas Gran Canaria. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/325181368_Analisis_Coste-beneficio_Evaluacion_de_politicas_publicas_y_Beneficio_Evaluacion_de_politicas_publicas_y_proyectos_de_inversion_2021.

- Del Ángel-Mobarak, G. (2012). *La Comisión Nacional Forestal en la historia y el futuro de la política forestal de México* (1ª ed.). México, D.F. Centro de Investigación y Docencia Económicas-Comisión Nacional Forestal. Recuperado de: https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/Conafor_en_la_historia_y_futuro_de_Mexico.pdf.
- Díaz-Mendoza, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetación. *Ingeniería e investigación*, 31(3), (pp. 80—90). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n3/v31n3a09.pdf>
- Flores, L., y Alcalá, J. R. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. Coyoacán, Cd. de México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. (pp. 8—11) Recuperado de: <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/lfs/manualLFS.pdf>
- Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. (FMCN) y CONAFOR. (2021). *Manual para el monitoreo de la salud del suelo en zonas forestales. BIOCOMUNI-Monitoreo Comunitario de la Biodiversidad, una guía para núcleos agrarios*. México: Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. Recuperado de: <https://www.fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/BIOCOMUNI%20Suelos%20v2.7%20FINAL%20Digital.pdf.fmcn>
- García-Chevesich, P. (2015). *Control de la Erosion y Recuperacion de Suelos Degradados* (Vol. 1). Colorado, Denver, Estados Unidos de América: Outskirts Press. (pp. 30—34)
- García-Sánchez, J. (2015). *La sedimentación. Suelo útil que inutiliza presas en México*. (S. d. UNAM, Editor, y U. N. México, Productor) Dirección General de Comunicación Social. Boletín UNAM: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015_444.html
- García-Fayos, P. (2004). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. En F. Valladares, y I. 84-8014-552-8 (Ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (pp. 309—334). Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S.A.
- Gili, P., Marando, I., Irisarri, J., y Sagardoy, M. (2004). Efecto de las técnicas de lavado y fertilización sobre la salinidad en suelos del Alto Valle del Río Negro y Neuquén, Argentina. *Agricultura Técnica*, 64(3), (pp. 295—304). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072004000300010>
- González, R., Haller, V., González, J., Ocampo, M., Ortiz, C., y Manzo, F. (2007). Efectos de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz temporal. *Terra Lationoamericana*,

- 25(4), (pp. 399—400). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57315558008.pdf>
- González-Hidalgo, J. (1998). Los procesos de erosión del suelo: Hechos, Mitos y Paradojas. *Geographicalia*, (pp. 47—65).
- GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y SALUD DEL SUELO (USDA). (1999). Washington, D.C.: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica. Obtenido de: <https://es.slideshare.net/EDAFO2014/guia-calidad-y-salud-del-suelo-usda>.
- Heaton, L., Fullen, M. A., and Bhattacharyya, R. (2016). Critical Analysis of the van Bemmelen conversion factor used to convert soil organic matter data to soil organic carbon data: Comparative analyses in a UK loamy sand soil. *Espaço Aberto*, 6(1), 35-44. doi:10.36403/espacoaberto.2016.5244
- Hernández, J., Tirado-Torres, D., Beltrán-Hernández, R., (2014). Captura de carbono en los suelos. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 1(2). <https://doi.org/10.29057/icbi.v1i2.506>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMACIÓN (INEGI). (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano. México. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI. (2014). *Erosión de suelos en México*. Aguascalientes, Ags.: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de INEGI WEBSITE: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2014/especiales/especiales2014_07_1.pdf
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográficos de Durango 2017*. Aguascalientes, Ags., México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de: https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825092115.pdf
- INEGI. (2019). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación G13-8 (Santiago Papasquiaro) escala 1:250 000 serie V (Conjunto Nacional). Dgo. México. Obtenido de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/mapas-de-uso-del-suelo-y-vegetacion-escala-1-250-000-serie-v-durango/resource/6ebd02c3-70a9-4c05-9e5d-cb56013f1f45>
- INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FÓSFORO (INPOFOS). (1993). *Informaciones agronómicas* (12), 10-11. Edición para México y Norte de Centroamérica

- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, I., Blas-Sevillano, R., y Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA*, 24(1), 49-61. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v24n1/art09.pdf>
- López-Moreno, J., Beguería, S., y García-Ruiz, J. (2003). Efecto de los embalses en el control de avenidas en el Pirineo Central Español. *Geographica*, 54 - 74.
- López-Morales, C. (2012). *Valoración de servicios hidrológicos por costo de reemplazo: Análisis de escenarios para el Bosque de Agua*. Documento de trabajo de la Dirección General de Investigación en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, Instituto Nacional de Ecología, México, D.F. Obtenido de Documento de trabajo de la Dirección General de Investigación en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, Instituto Nacional de Ecología: http://ine.gob.mx/descargas/dgioece/doc_bosque_de_agua.pdf
- Mallén-Rivera, C. (2018). Una década sembrando la semilla del conocimiento forestal. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(13). Obtenido de <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i13.484>.
- Martínez, H., E., Fuentes, J., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68—96. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Martínez, M. y Filotti, V. (2016). *MATEMÁTICA Conjunto - Reales no negativos - Volumen*. Instituto Politécnico Nacional. (pp. 29—30).
- Mejía, J., Hernández, F., Graciano, J., y Cruz, F. (2007). La EUPS en la evaluación de obras de conservación de suelos en Durango. (U. T. León., Ed.) Reaxxion. Ciencia y tecnología universitaria. Obtenido de http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_EUPS_evaluacion_de_obras_de_conservacion_de_suelos_en_Durango.html
- Mignorance-Álvarez, M. (2010). El suelo, regulador fisicoquímico de elementos traza para las plantas. Homenaje al doctor Julio López Gorgé. ISBN 978-84-00-09213-9, págs. 129—142.
- Mintegui, J. A., Robredo, J. C., García, J. I., y López, C. (2006). Introducción a la restauración hidrológico-forestal de cuencas. *Ecología*(20). (pp.389—414).

- Montaño-Arias, N., García-Sánchez, R., Ochoa-de la Rosa, G., y Monroy-Ata, A. (2006). Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. (O. C. A.C., Ed.) *Terra Latinoamericana*, 24(2), 193—205. Recuperado de https://www.academia.edu/12214082/RELACI%C3%93N_ENTRE_LA_VEGETACI%C3%93N_ARBUSTIVA_EL_MEZQUITE_Y_EL_SUELO_DE_UN_ECOSISTEMA_SEMI%C3%81RIDO_EN_M%C3%89XICO?email_work_card=view-paper
- Montaño-Arias, N., Navarro, M., Patricio, I., Chimal, E., y Miguel de la Cruz, J. (2018). El suelo y su multifuncionalidad: ¿qué ocurre ahí abajo?. *CIENCIA Ergo-Sum*, 25(3). doi:10.30878/ces.v25n3a9
- Muñoz-Gutiérrez, G. (2006). *Erosión Hídrica en la microcuenca San Pedro Huimilpan: Valoración Integrada para su Control* (Vol. 1). Querétaro, Qro.: Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales.
- Noguera-Pérez, O. (2002). *Desazolve de 6,000,000 m³ de materiales pétreos del vaso de la presa Abelardo L. Rodríguez, municipio de Tijuana*. Tijuana, Baja California, México. Obtenido de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bc/estudios/2002/02BC2002H0018.pdf>
- Oliva, J., Vallejos, G., y Pérez, M. (2008). Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico. (U. A. Yucatán, Ed.) *Ingeniería*, 12(2), 1-14. Recuperado el 18 de Mayo de 2021, de Ingeniería: <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=46712202>
- Ordoñez-Gálvez, J. J. (2011). *¿Qué es cuenca hidrológica?* (1a ed.). Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima.
- Osorio, J., y Correa, F. (2004). Valoración económica de costos ambientales: Marco conceptual y métodos de estimación. (I. 0120-6346, Ed.) *Semestre Económico*, 171. doi:id=165013657006
- Osorio-Vega, N.W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1-4. Recuperado de <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Palomenque, E., Flores, M., Ramírez, R. E., López, B., Ramírez, R., y Corral, J. J. (2019). *Protocolo de reforestación*. Mazatán, Chiapas, México.: Universidad Autónoma de Chiapas,

- Colegio de Postgraduados, Universidad de la Sierra Juárez, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas y Universidad Juárez del Estado de Durango. (pp.3—7).
- Pérez-Medrano, R. (2014). *Evaluación y perspectivas del programa Pro-Árbol en México 2007-2012*. Morelia, Michoacán: Tesis de Maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. (p. 76).
- Pizarro, R., Morales, C., Vega, L., Olivares, C., Valdés, R., y Balocchi, F. (2010). *Propuesta de un modelo para estimación de erosión hídrica para la región de Cowuimbo, Chile* (Vol. 18). Talca, Chile. (p. 17).
- Rodríguez-Rodríguez, H. (2008). *Recuperación y conservación de suelos mediante presas de control de azolves, en la cuenca de Burgos*. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias. México, D.F.: Informe Final SNIB-CONABIOProyecto No. CJ068. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/infCJ068.pdf>
- Salamanca J., A., y Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 381-397. Recuperado de: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29381-397.pdf>
- Sales-Dávila, B. (2006). *Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, Departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro del carbono*. Memoria de titulación de Doctorado. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. (p. 11)
- Sanjuro, E. e Islas, I. (2007). Las experiencias del Instituto Nacional de Ecología en la valoración económica de los ecosistemas para la toma de decisiones. *Gaceta Ecológica*, 84—105.
- Santiago-Romero, R. (2019). *Valoración económica de la coproducción de servicios ecosistémicos forestales en el suroeste del suelo de conservación de la CDMX, mediante el método de experimento de elección*. (R. M. Cuencas, Editor) Recuperado de Libro de Resúmenes del I Congreso Latinoamericano y V Congreso Nacional de Manejo de Cuencas: https://remexcu.org/cmch-2019/images/docs/Libro_Resumenes_CMCH-2019_V1.pdf
- Schumacher, B. (2002). *Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soil and Sediments*. Las Vegas, Nevada: United States Environmental Protection Agency. Environmental Sciences Division National Exposure Research Laboratory. ERASC (p.1)

- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y MEDIO AMBIENTE (SEDESMA). (2007). *Limpieza y desazolve del río San Agustín y Tecolapan, Veracruz*. Veracruz, México. Obtenido de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/ver/estudios/2007/30VE2007HD055.pdf>
- SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN (SEGOB). (2018). *DECRETO por el que se abroga la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. Ley Abrogada DOF 05-06-2018. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). (2000). *NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana)*. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- SEMARNAT. (2012). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental (2012 ed.)*. México. Obtenido de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES-COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (SEMARNAT-CONAGUA). (2010). *Encauzamiento y Desazolve del Río Tunal del Km. 2+340 al Km 4+820, Tramo Puente del Diablo a la Presa Derivadora Antonio Castillo, en el Municipio de Durango, Dgo.* Obtenido de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/dgo/estudios/2010/10DU2010HD039.pdf>
- Sheng, T. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas*. Roma, Italia: FAO.
- SISTEMA EUROPEO DE NEGOCIACIÓN DE CO₂ (SENDECO₂). (2022). Obtenido de <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN Y GESTIÓN FORESTAL (SNIGF). (2021). Obtenido de <https://old-snigf.cnf.gob.mx/?p=50107>
- Soto-Montes de Oca, A. (2013). *La valoración económica del medio ambiente a través del método de valoración contingente: El caso de la cuenca Alto Atoyac en Puebla, México*. Tesis de maestría. México, D.F.: Universidad Iberoamericana. (p. 13)
- Statística. (2007). Windows. StatSoft. Versión 7.

- Torres, J. A., García Fuentes, A., Salazar, C., y Cano, E. (1999). Importancia de la regeneración natural de la vegetación en el control de la erosión. *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, ISSN 0561-3590(171), 373-381. Recuperado el 01 de Octubre de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1211367>
- Ucha-Moreira, F. (2012). *Definición de Materia Orgánica*. Obtenido de Definición ABC: <https://www.definicionabc.com/ciencia/materia-organica.php>
- Valencia-Andía, W. (2011). Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el Valor Actual Neto (VAN) o el Valor Económico Agregado (EVA). (L. P. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ed.) *Industrial Data*, 14(1), (pp.15—18).
- Venegas-López, M. (2016). *Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias*. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 México: CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD. Obtenido de https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/comp1/Manual_reforestacion_utilizando_especies_nativas.pdf
- Zaragoza-Castellanos, J. (2020). *Guía para la interpretación del análisis de suelo y agua*. Intagri. Recuperado de StuDocu: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-del-papaloapan/bases-de-la-enfermeria-clinica/guia-de-interpretacion-de-analisis-de-suelos-y-aguas-intagri-3/8568472>
- Zink, A. (Septiembre de 2005). *Suelos, información y sociedad*. Recuperado el 21 de Junio de 2021, de Redalyc.: <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907603.pdf>

X ANEXOS

Anexo 1. Formato para toma de datos de presas.

Formato 1. Toma de datos para calcular volumen de azolves en presas filtrantes

Sitio No.:

Localidad

Municipio

Responsable:

Paraje

Estado

No.	Tipo de presa	Coordenadas		No. medidas sedimentos	Profundidad del sedimento (m)	Ancho del vertedor (m)	Longitud del sedimento (m)	Profundidad media (m)	Vol del sedimento retenido (m³)	Peso (ton)

Anexo 2. Formato para toma de datos de arbolado

Formato 2. Toma de datos de arbolado					
Localidad		Paraje			
Municipio		Estado			
Responsable		Fecha			
		Exposición			
No.	Clave	Dn (cm)	At (m)	RCN (cm)	RCE (cm)

Anexo 3. Tabla de volumen para Pino

Tabla de volumen para Pino								
		Altura (m)						
		5	10	15	20	25	30	35
	5	0.0076	0.0169	0.0269	0.0375	0.0486	0.0600	0.0717
Diámetro (cm)	10	0.0252	0.0561	0.0896	0.1249	0.1617	0.1996	0.2385
	15	0.0509	0.1133	0.1810	0.2524	0.3266	0.4032	0.4819
	20	0.0838	0.1866	0.2982	0.4157	0.5380	0.6641	0.7936
	25	0.1234	0.2748	0.4391	0.6122	0.7922	0.9780	1.1687
	30	0.1693	0.3771	0.6024	0.8399	1.0869	1.3418	1.6033
	35	0.2212	0.4926	0.7870	1.0973	1.4200	1.7530	2.0948
	40	0.2788	0.6210	0.9921	1.3833	1.7901	2.2099	2.6407
	45	0.3420	0.7618	1.2170	1.6968	2.1958	2.7107	3.2392
	50	0.4106	0.9145	1.4610	2.0370	2.6361	3.2542	3.8886
	55	0.4844	1.0789	1.7236	2.4032	3.1100	3.8392	4.5876
	60	0.5633	1.2546	2.0043	2.7946	3.6165	4.4646	5.3350
	65	0.6471	1.4415	2.3028	3.2108	4.1551	5.1295	6.1295
	70	0.7359	1.6392	2.6187	3.6512	4.7251	5.8330	6.9702
	75	0.8294	1.8475	2.9516	4.1153	5.3257	6.5745	7.8562
	80	0.9277	2.0664	3.3011	4.6028	5.9565	7.3532	8.7867
	85	1.0305	2.2955	3.6672	5.1131	6.6169	8.1684	9.7609
	90	1.1379	2.5347	4.0493	5.6460	7.3065	9.0197	10.7781
	95	1.2498	2.7839	4.4474	6.2010	8.0248	9.9065	11.8377
	100	1.3661	3.0429	4.8612	6.7780	8.7714	10.8282	12.9391

Anexo 4. Tabla de volumen para encino y otras hojosas

Tabla de volumen para encino y otras hojosas								
		Altura (m)						
		5	10	15	20	25	30	35
	5	0.0061	0.0127	0.0196	0.0266	0.0338	0.0410	0.0483
Diámetro (cm)	10	0.0218	0.0456	0.0703	0.0955	0.1212	0.1472	0.1736
	15	0.0460	0.0964	0.1485	0.2018	0.2561	0.3110	0.3666
	20	0.0782	0.1638	0.2524	0.3431	0.4353	0.5287	0.6232
	25	0.1180	0.2472	0.3809	0.5177	0.6569	0.7979	0.9404
	30	0.1652	0.3460	0.5332	0.7247	0.9194	1.1167	1.3163
	35	0.2195	0.4597	0.7085	0.9629	1.2217	1.4839	1.7491
	40	0.2808	0.5881	0.9063	1.2318	1.5628	1.8983	2.2375
	45	0.3489	0.7308	1.1262	1.5307	1.9420	2.3588	2.7804
	50	0.4237	0.8875	1.3677	1.8589	2.3585	2.8647	3.3767
	55	0.5052	1.0581	1.6306	2.2162	2.8117	3.4152	4.0255
	60	0.5931	1.2423	1.9144	2.6019	3.3011	4.0097	4.7262
	65	0.6874	1.4399	2.2189	3.0158	3.8261	4.6475	5.4780
	70	0.7881	1.6507	2.5439	3.4574	4.3865	5.3281	6.2802
	75	0.8951	1.8747	2.8890	3.9265	4.9817	6.0510	7.1324
	80	1.0082	2.1117	3.2542	4.4228	5.6113	6.8158	8.0339
	85	1.1275	2.3614	3.6391	4.9460	6.2751	7.6221	8.9842
	90	1.2528	2.6240	4.0437	5.4959	6.9727	8.4695	9.9830
	95	1.3842	2.8991	4.4677	6.0721	7.7038	9.3575	11.0297
	100	1.5215	3.1867	4.9109	6.6746	8.4681	10.2859	12.1240

Anexo 5. Tabla de volumen para otras coníferas

Tabla de volumen para otras coníferas								
		Altura (m)						
		5	10	15	20	25	30	35
	5	0.0070	0.0156	0.0249	0.0347	0.0449	0.0554	0.0662
Diámetro (cm)	10	0.0230	0.0512	0.0817	0.1139	0.1474	0.1819	0.2174
	15	0.0461	0.1026	0.1638	0.2284	0.2955	0.3647	0.4357
	20	0.0755	0.1681	0.2683	0.3740	0.4839	0.5972	0.7135
	25	0.1107	0.2464	0.3934	0.5484	0.7095	0.8756	1.0461
	30	0.1513	0.3368	0.5378	0.7496	0.9699	1.1970	1.4301
	35	0.1971	0.4387	0.7006	0.9765	1.2633	1.5592	1.8628
	40	0.2479	0.5516	0.8808	1.2277	1.5884	1.9604	2.3422
	45	0.3033	0.6751	1.0780	1.5025	1.9439	2.3992	2.8664
	50	0.3634	0.8088	1.2915	1.8000	2.3288	2.8743	3.4340
	55	0.4279	0.9524	1.5208	2.1196	2.7423	3.3846	4.0437
	60	0.4968	1.1056	1.7655	2.4607	3.1836	3.9292	4.6944
	65	0.5699	1.2683	2.0252	2.8228	3.6520	4.5073	5.3850
	70	0.6471	1.4402	2.2996	3.2053	4.1468	5.1181	6.1147
	75	0.7284	1.6210	2.5885	3.6078	4.6676	5.7609	6.8827
	80	0.8136	1.8108	2.8914	4.0300	5.2139	6.4351	7.6882
	85	0.9027	2.0091	3.2081	4.4715	5.7851	7.1401	8.5304
	90	0.9957	2.2160	3.5385	4.9320	6.3808	7.8753	9.4089
	95	1.0924	2.4313	3.8823	5.4112	7.0007	8.6404	10.3230
	100	1.1929	2.6549	4.2392	5.9087	7.6444	9.4348	11.2721

Anexo 6. Caracterización física de las presas filtrantes.

Nombre de la localidad	Datos acerca de la construcción de las presas						Datos acerca de las Microcuencas			
	No.	Material	Año	Pendiente (°)	Área (m²)	Volumen (m³)	COORDENADAS		Sup. (ha)	Precipitación (mm)
							X_UTM	Y_UTM		
Altare	1	Piedra	2018	2.5	1.76	0.88	407485	2764844	0.3599	1100
Altare	2	Piedra	2018	2.5	1.23	0.61	407471	2764827	0.3599	1100
Altare	3	Piedra	2018	2.5	1.94	0.97	407481	2764821	0.3599	1100
Altare	4	Piedra	2018	2.5	0.96	0.48	407473	2764790	0.3599	1100
Altare	5	Piedra	2018	2.5	1.27	0.64	407472	2764790	0.3599	1100
Altare	6	Piedra	2018	2.5	1.15	0.57	407485	2764782	0.3599	1100
Altare	7	Piedra	2018	2.5	0.83	0.42	407473	2764764	0.3599	1100
Altare	8	Piedra	2018	2.5	1.33	0.66	407472	2764733	0.3714	1100
Altare	9	Piedra	2018	2.5	0.82	0.41	407464	2764727	0.3714	1100
Altare	10	Piedra	2018	2.5	1.09	0.55	407455	2764715	0.3714	1100
Altare	11	Piedra	2018	2.5	1.16	0.58	407446	2764712	0.3714	1100
Altare	12	Morillos	2018	2.5	1.00	0.50	410189	2765884	0.1516	1100
Altare	13	Morillos	2018	7.5	1.48	0.74	410214	2765895	0.1516	1100
Altare	14	Morillos	2018	7.5	0.97	0.48	410215	2765904	0.1516	1100
Ciénega de Salpicalagua	15	Piedra	2013	17.5	2.49	1.24	423270	2767070	5.2858	1100
Ciénega de Salpicalagua	16	Piedra	2013	22.5	0.66	0.33	423291	2767062	5.2858	1100
Ciénega de Salpicalagua	17	Piedra	2013	17.5	1.67	0.84	423282	2767071	5.2858	1100
Ciénega de Salpicalagua	18	Piedra	2013	22.5	3.03	1.52	423300	2767077	1.4012	1100
Ciénega de Salpicalagua	19	Piedra	2013	22.5	4.35	2.18	423303	2767074	1.4012	1100
Ciénega de Salpicalagua	20	Piedra	2013	22.5	2.59	1.30	423314	2767074	1.4012	1100
Ciénega de Salpicalagua	21	Piedra	2013	17.5	3.84	1.92	423353	2767084	1.4012	1100
Ciénega de Salpicalagua	22	Piedra	2013	17.5	5.45	2.72	423407	2767082	1.4012	1100
Bajíos del Pinto	23	Piedra	2018	2.5	1.89	0.94	433044	2763084	0.359	1000
Bajíos del Pinto	24	Piedra	2018	2.5	0.78	0.39	433043	2763074	0.359	1000
Bajíos del Pinto	25	Piedra	2018	2.5	0.28	0.14	433043	2763067	0.359	1000
Bajíos del Pinto	26	Piedra	2018	2.5	0.27	0.13	433043	2763058	0.359	1000
Bajíos del Pinto	27	Piedra	2018	2.5	0.09	0.05	433043	2763048	0.359	1000
Bajíos del Pinto	28	Piedra	2018	2.5	0.21	0.10	433040	2763037	0.359	1000
Bajíos del Pinto	29	Piedra	2018	2.5	0.12	0.06	433038	2763029	0.359	1000
Bajíos del Pinto	30	Piedra	2018	2.5	0.05	0.03	433036	2763019	0.359	1000
Bajíos del Pinto	31	Piedra	2018	2.5	0.11	0.06	433033	2763007	0.359	1000
Bajíos del Pinto	32	Piedra	2018	2.5	0.08	0.04	433030	2762995	0.359	1000
Bajíos del Pinto	33	Piedra	2018	2.5	0.25	0.13	433028	2762984	0.359	1000
Bajíos del Pinto	34	Piedra	2018	2.5	0.04	0.02	433025	2762971	0.359	1000
El Cambray	35	Piedra	2013	17.5	2.77	1.39	436296	2774447	1.3931	900
El Cambray	36	Piedra	2013	12.5	3.88	1.94	436305	2774436	1.3931	900
El Cambray	37	Piedra	2013	12.5	2.33	1.17	436314	2774433	1.3931	900
El Cambray	38	Piedra	2013	12.5	1.95	0.98	436322	2774425	1.3931	900
El Cambray	39	Piedra	2013	12.5	1.22	0.61	436329	2774426	1.3931	900
El Cambray	40	Piedra	2013	12.5	1.93	0.97	436338	2774423	1.3931	900

Nombre de la localidad	Datos acerca de la construcción de las presas						Datos acerca de las Microcuencas			
	No.	Material	Año	Pendiente (°)	Área (m²)	Volumen (m³)	COORDENADAS		Sup (ha)	Precipitación (mm)
							X_UTM	Y_UTM		
El Cambray	41	Piedra	2013	7.5	2.57	1.29	436349	2774422	1.3931	900
El Cambray	42	Piedra	2013	7.5	3.34	1.67	436357	2774409	1.3931	900
El Cambray	43	Morillos	2013	17.5	2.05	1.03	435829	2774988	0.1266	900
El Cambray	44	Morillos	2013	17.5	3.69	1.84	435827	2774989	0.1266	900
El Cambray	45	Morillos	2013	17.5	2.99	1.49	435824	2774990	0.1266	900
Laguna de la Chaparra	46	Piedra	2018	22.5	4.05	2.02	434893	2771787	0.1585	900
Laguna de la Chaparra	47	Piedra	2018	22.5	2.02	1.01	434901	2771783	0.1585	900
Laguna de la Chaparra	48	Piedra	2018	22.5	1.46	0.73	434909	2771779	0.1585	900
Laguna de la Chaparra	49	Piedra	2018	22.5	1.34	0.67	434914	2771772	0.1585	900
Laguna de la Chaparra	50	Piedra	2013	22.5	1.89	0.95	431513	2774985	0.2583	900
Laguna de la Chaparra	51	Piedra	2013	22.5	1.40	0.70	431516	2774981	0.2583	900
Laguna de la Chaparra	52	Piedra	2013	22.5	1.11	0.56	431518	2774978	0.2583	900
San Nicolás de Arriba	53	Piedra	2014	7.5	0.76	0.38	437285	2752606	0.1121	1100
San Nicolás de Arriba	54	Piedra	2014	7.5	0.93	0.46	437272	2752610	0.1121	1100
San Nicolás de Arriba	55	Piedra	2014	7.5	0.71	0.36	437260	2752610	0.1121	1100
San Nicolás de Arriba	56	Piedra	2014	2.5	0.70	0.35	437248	2752606	0.1121	1100
San Nicolás de Arriba	57	Piedra	2014	2.5	0.42	0.21	437242	2752596	0.1121	1100
San Nicolás de Arriba	58	Piedra	2014	7.5	0.53	0.26	436378	2751095	0.0638	1100
San Nicolás de Arriba	59	Piedra	2014	2.5	0.64	0.32	436371	2751102	0.0638	1100
San Nicolás de Arriba	60	Piedra	2014	2.5	0.51	0.25	436362	2751103	0.0638	1100
San José de la Chaparra	61	Piedra	2013	22.5	1.44	0.72	425690	2764355	0.048	1100
San José de la Chaparra	62	Piedra	2013	22.5	1.78	0.89	425695	2764348	0.048	1100
San José de la Chaparra	63	Piedra	2013	17.5	0.95	0.47	425697	2764345	0.048	1100
San José de la Chaparra	64	Piedra	2013	17.5	1.19	0.60	425699	2764343	0.048	1100
San José de la Chaparra	65	Morillos	2013	2.5	0.94	0.47	428445	2765987	0.0822	1100
Silvestre Revueltas	66	Morillos	2014	32.5	2.02	1.01	438016	2770150	1.1418	700
Silvestre Revueltas	67	Morillos	2014	32.5	2.04	1.02	438010	2770148	1.1418	700
Silvestre Revueltas	68	Morillos	2014	27.5	2.28	1.14	438006	2770144	1.1418	700
Silvestre Revueltas	69	Morillos	2014	27.5	2.08	1.04	438001	2770138	1.1418	700
Silvestre Revueltas	70	Morillos	2014	27.5	2.58	1.29	437997	2770136	1.1418	700
Silvestre Revueltas	71	Morillos	2014	27.5	3.18	1.59	437991	2770134	1.1418	700
Silvestre Revueltas	72	Morillos	2014	27.5	2.32	1.16	437987	2770133	1.1418	700
Silvestre Revueltas	73	Morillos	2014	17.5	2.24	1.12	437982	2770129	1.1418	700
Silvestre Revueltas	74	Morillos	2014	17.5	2.04	1.02	437974	2770143	1.1418	700
Silvestre Revueltas	75	Morillos	2014	17.5	1.93	0.96	437977	2770139	1.1418	700
Silvestre Revueltas	76	Morillos	2014	17.5	1.01	0.51	437976	2770132	1.1418	700
Garama de Abajo	77	Llantas	2014	7.5	2.18	1.09	446922	2763423	0.2778	550
Garama de Abajo	78	Llantas	2014	7.5	2.75	1.37	446941	2763436	0.2778	550
Garama de Abajo	79	Llantas	2014	7.5	1.48	0.74	446950	2763450	0.2778	550

Anexo 7. Caracterización fisicoquímica de los azolves.

No. presas	Predio	Textura	pH	CE (dS/m)	> 2 mm (ton)	< 2 mm (ton)	Materia orgánica tangible (ton)	Azolve total (ton)	MOS total (ton)	COS total (ton)
1	Altares	AF	5.40	0.10	0.67	5.87	0.10	6.64	0.58	0.34
2	Altares	AF	5.27	0.07	0.47	3.61	0.07	4.16	0.41	0.24
3	Altares	AF	5.32	0.09	3.81	4.65	0.01	8.48	0.26	0.15
4	Altares	AF	5.38	0.07	1.64	4.13	0.04	5.81	0.15	0.09
5	Altares	AF	5.22	0.06	1.58	4.23	0.01	5.82	0.17	0.10
6	Altares	AF	5.25	0.08	2.03	3.56	0.01	5.59	0.15	0.09
7	Altares	AF	5.35	0.06	1.34	2.77	0.00	4.11	0.10	0.06
8	Altares	AF	5.99	0.11	3.01	1.69	0.01	4.71	0.27	0.16
9	Altares	AF	5.46	0.14	1.41	0.62	0.00	2.03	0.06	0.03
10	Altares	AF	6.09	0.14	2.37	1.70	0.04	4.11	0.39	0.22
11	Altares	AF	5.73	0.12	4.40	1.36	0.00	5.77	0.24	0.14
12	Altares	AF	6.24	0.11	2.56	4.45	0.00	7.01	0.19	0.11
13	Altares	AF	6.67	0.10	2.02	2.12	0.00	4.15	0.12	0.07
14	Altares	AF	6.07	0.10	0.46	0.53	0.00	1.00	0.04	0.02
15	Ciénega de Salpicalagua	AF	6.02	0.10	2.75	2.39	0.07	5.21	0.19	0.11
16	Ciénega de Salpicalagua	AF	6.20	0.09	0.21	0.53	0.01	0.75	0.04	0.02
17	Ciénega de Salpicalagua	AF	6.36	0.08	2.91	1.54	0.01	4.46	0.17	0.10
18	Ciénega de Salpicalagua	AF	6.20	0.08	6.97	4.45	0.01	11.43	0.35	0.20
19	Ciénega de Salpicalagua	AF	6.10	0.11	5.14	6.27	0.03	11.44	0.48	0.28
20	Ciénega de Salpicalagua	AF	6.35	0.14	3.03	0.91	0.00	3.95	0.13	0.07
21	Ciénega de Salpicalagua	AF	5.78	0.16	6.67	2.84	0.01	9.51	0.32	0.18
22	Ciénega de Salpicalagua	AF	6.07	0.14	15.48	9.43	0.00	24.91	0.66	0.38
23	Bajíos del Pinto	AF	6.10	0.07	2.58	5.34	0.00	7.92	0.12	0.07
24	Bajíos del Pinto	FA	6.61	0.07	0.70	2.54	0.00	3.25	0.09	0.05
25	Bajíos del Pinto	AA	6.37	0.09	0.11	0.19	0.00	0.30	0.00	0.00
26	Bajíos del Pinto	A	6.27	0.08	0.45	0.43	0.00	0.88	0.03	0.02
27	Bajíos del Pinto	A	7.22	0.09	0.11	0.16	0.00	0.27	0.01	0.00
28	Bajíos del Pinto	FA	6.35	0.11	0.22	0.30	0.00	0.52	0.02	0.01
29	Bajíos del Pinto	FA	6.22	0.11	0.19	0.22	0.00	0.41	0.01	0.01
30	Bajíos del Pinto	FAL	6.29	0.08	0.11	0.14	0.00	0.25	0.01	0.01
31	Bajíos del Pinto	A	6.51	0.09	0.19	0.21	0.00	0.40	0.02	0.01
32	Bajíos del Pinto	A	6.19	0.14	0.08	0.16	0.00	0.24	0.01	0.01
33	Bajíos del Pinto	FAA	6.11	0.17	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00
34	Bajíos del Pinto	FA	5.98	0.21	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00
35	El Cambray	AF	6.13	0.04	1.33	1.94	0.00	3.27	0.09	0.05
36	El Cambray	AF	6.20	0.09	3.58	6.45	0.01	10.04	0.40	0.23
37	El Cambray	AF	6.32	0.04	1.05	2.49	0.00	3.54	0.08	0.05
38	El Cambray	AF	6.56	0.04	0.97	1.85	0.00	2.83	0.06	0.04
39	El Cambray	AF	6.34	0.05	1.23	0.90	0.00	2.13	0.04	0.02
40	El Cambray	AF	5.86	0.05	1.20	2.16	0.02	3.38	0.13	0.07
41	El Cambray	AF	6.20	0.03	1.65	2.26	0.00	3.92	0.19	0.11
42	El Cambray	AF	5.89	0.03	0.90	1.65	0.00	2.55	0.06	0.03
43	El Cambray	AF	5.58	0.05	1.12	0.95	0.04	2.11	0.16	0.09
44	El Cambray	FA	6.27	0.06	2.12	2.05	0.04	4.21	0.32	0.19
45	El Cambray	AF	5.73	0.06	1.60	1.89	0.03	3.53	0.29	0.17

No. presas	Predio	Textura	pH	CE (dS/m)	> 2 mm (ton)	< 2 mm (ton)	Materia orgánica tangible (ton)	Azolve total (ton)	MOS total (ton)	COS total (ton)
46	Laguna de la Chaparra	AF	5.66	0.07	2.41	2.97	0.02	5.40	0.34	0.20
47	Laguna de la Chaparra	AF	5.17	0.17	1.84	0.92	0.09	2.85	0.50	0.29
48	Laguna de la Chaparra	AF	5.13	0.12	1.25	0.55	0.03	1.83	0.17	0.10
49	Laguna de la Chaparra	AF	5.33	0.15	1.14	0.52	0.04	1.69	0.21	0.12
50	Laguna de la Chaparra	AF	6.00	0.09	1.22	1.62	0.12	2.95	0.24	0.14
51	Laguna de la Chaparra	AF	6.18	0.07	0.70	1.27	0.06	2.03	0.21	0.12
52	Laguna de la Chaparra	AF	5.52	0.04	0.72	0.93	0.04	1.69	0.16	0.09
53	San Nicolás de Abajo	AF	5.93	0.07	0.14	0.44	0.00	0.58	0.03	0.02
54	San Nicolás de Abajo	AF	6.24	0.07	0.30	0.64	0.00	0.95	0.04	0.02
55	San Nicolás de Abajo	AF	6.04	0.05	0.14	0.88	0.00	1.03	0.03	0.02
56	San Nicolás de Abajo	AF	5.75	0.08	0.14	0.72	0.01	0.88	0.06	0.03
57	San Nicolás de Abajo	AF	5.36	0.11	0.21	0.54	0.01	0.77	0.06	0.03
58	San Nicolás de Abajo	AF	6.33	0.09	0.30	0.54	0.01	0.84	0.04	0.02
59	San Nicolás de Abajo	AF	6.24	0.12	0.45	0.56	0.01	1.02	0.06	0.04
60	San Nicolás de Abajo	AF	6.33	0.06	0.20	0.38	0.00	0.58	0.01	0.01
61	San José de la Chaparra	AF	5.49	0.04	0.70	1.38	0.01	2.09	0.05	0.03
62	San José de la Chaparra	AF	5.74	0.06	0.70	1.78	0.01	2.49	0.05	0.03
63	San José de la Chaparra	AF	5.28	0.05	0.49	0.78	0.01	1.28	0.04	0.03
64	San José de la Chaparra	AF	5.65	0.04	0.42	0.54	0.00	0.96	0.02	0.01
65	San José de la Chaparra	F	5.44	0.05	0.65	1.61	0.08	2.34	0.21	0.12
66	Silvestre Revueltas	SS	0.00	0.00	1.11	0.00	0.42	1.54	0.42	0.25
67	Silvestre Revueltas	AF	5.39	0.14	3.20	0.51	0.08	3.80	0.53	0.31
68	Silvestre Revueltas	AF	5.86	0.17	3.50	0.20	0.04	3.74	0.46	0.26
69	Silvestre Revueltas	AF	5.92	0.14	3.46	0.78	0.21	4.45	0.82	0.48
70	Silvestre Revueltas	AF	6.21	0.09	5.41	1.95	0.02	7.37	0.41	0.24
71	Silvestre Revueltas	AF	6.07	0.12	3.79	4.65	0.07	8.50	1.07	0.62
72	Silvestre Revueltas	AF	6.09	0.07	4.73	1.85	0.05	6.63	0.38	0.22
73	Silvestre Revueltas	AF	6.39	0.10	3.32	3.35	0.07	6.74	0.39	0.23
74	Silvestre Revueltas	AF	6.28	0.07	1.86	0.47	0.00	2.33	0.10	0.06
75	Silvestre Revueltas	AF	5.77	0.05	3.35	1.46	0.03	4.85	0.19	0.11
76	Silvestre Revueltas	AF	5.53	0.08	1.59	0.71	0.01	2.31	0.16	0.09
77	Garama de Abajo	LA	7.65	0.15	1.83	2.89	0.00	4.72	0.15	0.09
78	Garama de Abajo	LA	7.78	0.23	5.82	4.65	0.01	10.47	0.50	0.29
79	Garama de Abajo	FAR	8.04	0.14	1.67	2.57	0.00	4.24	0.15	0.09

Anexo 8. Análisis descriptivo por grupos.

Descriptive Statistics Grupo A																	
Variable	Valid N	Mean	Confidence -95.000%	Confidence +95.000%	Median	Mode	Lower Quartile	Upper Quartile	Range	Quartile Range	Variance	Std.Dev.	Standard Error	Skewnes s	Std.Err. Skewnes s	Kurtosis	Std.Err. Kurtosis
Aej	102	2016.431	2016.008	2016.855	2018.000	2018.000	2014.000	2018.000	5.0000	4.0000	4.64	2.1549	0.21337	-0.68540	0.239069	-1.47520	0.473830
M	102	1.814	1.640	1.988	2.000	Multiple	1.000	2.000	3.0000	1.0000	0.79	0.8870	0.08782	1.07186	0.239069	0.60124	0.473830
pH	102	6.044	5.920	6.169	6.105	6.240000	5.570	6.300	4.0000	0.7300	0.40	0.6335	0.06273	1.50489	0.239069	4.96858	0.473830
CE	102	0.097	0.089	0.105	0.090	Multiple	0.069	0.120	0.2041	0.0516	0.00	0.0403	0.00399	0.93411	0.239069	1.17688	0.473830
MAY A 2	102	0.801	0.620	0.983	0.448	Multiple	0.143	1.343	4.3985	1.1997	0.86	0.9252	0.09161	1.72752	0.239069	3.28113	0.473830
MEN A 2	102	1.082	0.847	1.317	0.554	Multiple	0.207	1.610	4.4388	1.4035	1.43	1.1969	0.11851	1.49665	0.239069	1.26819	0.473830
MOT	102	0.010	0.007	0.014	0.002	Multiple	0.000	0.008	0.0838	0.0080	0.00	0.0190	0.00188	2.52466	0.239069	5.93804	0.473830
P(°)	102	6.716	5.342	8.089	2.500	2.500000	2.500	7.500	20.0000	5.0000	48.88	6.9917	0.69228	1.48233	0.239069	0.64235	0.473830
Ppt	102	1026.471	1005.662	1047.279	1100.000	1100.000	1000.000	1100.000	550.0000	100.0000	11223.06	105.9390	10.48952	-2.43062	0.239069	7.74440	0.473830
AMC	102	0.397	0.253	0.541	0.359	.35900000	0.152	0.359	5.2378	0.2074	0.54	0.7325	0.07252	6.05157	0.239069	38.70591	0.473830
AP	102	0.728	0.631	0.825	0.775	Multiple	0.205	1.155	1.4438	0.9500	0.24	0.4946	0.04898	-0.03666	0.239069	-1.41789	0.473830
VOL P	102	0.364	0.316	0.413	0.388	Multiple	0.103	0.578	0.7219	0.4750	0.06	0.2473	0.02449	-0.03666	0.239069	-1.41789	0.473830
Paz	102	1.894	1.519	2.268	0.999	Multiple	0.397	3.248	6.9929	2.8520	3.64	1.9078	0.18890	1.07803	0.239069	-0.02300	0.473830
MOS TON	102	0.087	0.068	0.107	0.042	Multiple	0.013	0.155	0.4071	0.1419	0.01	0.0977	0.00967	1.48543	0.239069	1.95464	0.473830
COS TON	102	0.051	0.040	0.062	0.025	Multiple	0.007	0.090	0.2361	0.0823	0.00	0.0567	0.00561	1.48543	0.239069	1.95464	0.473830
V m²/ha	102	32.864	26.305	39.422	32.967	0.000000	0.000	62.876	95.6442	62.8761	1114.94	33.3908	3.30618	0.45378	0.239069	-1.27148	0.473830
AB m²/ha	102	4.619	3.758	5.480	4.496	0.000000	0.000	8.537	12.2020	8.5369	19.21	4.3834	0.43402	0.23482	0.239069	-1.50125	0.473830
CC %	102	14.549	11.498	17.600	12.960	0.000000	0.000	24.956	45.8779	24.9558	241.29	15.5334	1.53804	0.76450	0.239069	-0.66471	0.473830
Descriptive Statistics Grupo B																	
Aej	70	2013.943	2013.576	2014.310	2013.000	2013.000	2013.000	2014.000	5.0000	1.0000	2.37	1.5406	0.18414	2.05666	0.286750	3.02784	0.566265
M	70	1.786	1.579	1.992	2.000	Multiple	1.000	2.000	3.0000	1.0000	0.75	0.8663	0.10355	1.12386	0.286750	0.86651	0.566265
pH	70	5.942	5.656	6.228	6.095	Multiple	5.770	6.290	7.9400	0.5200	1.44	1.2000	0.14343	-3.33399	0.286750	16.39411	0.566265
CE	70	0.090	0.077	0.103	0.078	Multiple	0.051	0.111	0.2488	0.0600	0.00	0.0542	0.00648	1.00024	0.286750	0.75346	0.566265
MAY A 2	70	2.562	2.169	2.954	1.861	Multiple	1.120	3.460	6.2980	2.3394	2.71	1.6474	0.19690	0.96655	0.286750	0.18637	0.566265
MEN A 2	70	2.272	1.909	2.635	1.895	Multiple	0.946	2.895	5.8715	1.9486	2.32	1.5234	0.18208	0.79503	0.286750	-0.23955	0.566265
MOT	70	0.051	0.032	0.069	0.024	Multiple	0.004	0.070	0.4234	0.0665	0.01	0.0790	0.00945	3.31530	0.286750	13.10718	0.566265
P(°)	70	17.357	15.379	19.335	17.500	17.500000	12.500	22.500	30.0000	10.0000	68.82	8.2958	0.99153	-0.11014	0.286750	-0.74573	0.566265
Ppt	70	861.429	819.922	902.935	900.000	900.0000	700.000	1000.000	550.0000	300.0000	30302.28	174.0755	20.80600	-0.11678	0.286750	-1.02328	0.566265
AMC	70	1.224	0.903	1.546	1.142	1.141800	0.278	1.393	5.2378	1.1153	1.82	1.3486	0.16119	2.28655	0.286750	4.79699	0.566265
AP	70	2.289	2.187	2.391	2.175	Multiple	1.935	2.580	1.6680	0.6450	0.18	0.4269	0.05102	0.77767	0.286750	-0.24931	0.566265
VOL P	70	1.145	1.094	1.195	1.088	Multiple	0.968	1.290	0.8340	0.3225	0.05	0.2134	0.02551	0.77767	0.286750	-0.24931	0.566265
Paz	70	4.884	4.266	5.502	3.917	Multiple	2.953	6.639	9.8986	3.6867	6.72	2.5917	0.30976	1.04520	0.286750	0.17388	0.566265
MOS TON	70	0.292	0.238	0.346	0.188	Multiple	0.128	0.423	1.0172	0.2958	0.05	0.2256	0.02697	1.51108	0.286750	2.63253	0.566265
COS TON	70	0.169	0.138	0.201	0.109	Multiple	0.074	0.246	0.5900	0.1716	0.02	0.1309	0.01564	1.51108	0.286750	2.63253	0.566265
V m²/ha	70	12.964	8.632	17.297	10.355	10.35497	2.658	12.690	75.7913	10.0324	330.18	18.1708	2.17183	2.54561	0.286750	6.22136	0.566265
AB m²/ha	70	2.361	1.779	2.943	2.183	2.182510	0.737	4.387	8.8152	3.6501	5.96	2.4418	0.29185	1.40973	0.286750	1.34393	0.566265
CC %	70	6.789	5.174	8.404	6.089	6.088557	2.801	11.601	26.3765	8.8000	45.88	6.7736	0.80961	1.51067	0.286750	1.77622	0.566265
Descriptive Statistics Grupo C																	
Aej	14	2013.714	2012.666	2014.763	2013.000	2013.000	2013.000	2013.000	5.0000	0.0000	3.30	1.8157	0.48526	2.29482	0.597380	3.79167	1.154050
M	14	1.786	1.270	2.301	2.000	Multiple	1.000	2.000	3.0000	1.0000	0.80	0.8926	0.23855	1.23624	0.597380	1.65651	1.154050
pH	14	6.039	5.877	6.200	6.085	Multiple	5.980	6.170	1.1700	0.1900	0.08	0.2793	0.07464	-1.10153	0.597380	2.61387	1.154050
CE	14	0.103	0.076	0.129	0.090	Multiple	0.060	0.140	0.1231	0.0802	0.00	0.0457	0.01222	0.47205	0.597380	-1.47697	1.154050
MAY A 2	14	5.570	2.993	8.146	3.583	3.583362	2.410	6.667	13.3648	4.2567	19.91	4.4624	1.19264	1.79147	0.597380	2.28795	1.154050
MEN A 2	14	5.206	3.728	6.684	6.270	6.445100	2.836	6.445	7.3715	3.6095	6.55	2.5594	0.68403	0.25992	0.597380	-1.11179	1.154050
MOT	14	0.018	0.011	0.026	0.012	.0122776	0.009	0.029	0.0395	0.0202	0.00	0.0129	0.00345	0.60702	0.597380	-0.58516	1.154050
P(°)	14	17.500	15.235	19.765	17.500	17.500000	12.500	22.500	10.0000	10.0000	15.38	3.9223	1.04828	0.00000	0.597380	-1.25568	1.154050
Ppt	14	985.714	926.411	1045.018	900.000	900.0000	900.000	1100.000	200.0000	200.0000	10549.45	102.7105	27.45054	0.32454	0.597380	-2.24053	1.154050
AMC	14	1.039	0.699	1.379	1.393	1.401200	0.159	1.401	1.2746	1.2427	0.35	0.5886	0.15732	-1.06725	0.597380	-1.03043	1.154050
AP	14	4.160	3.825	4.496	3.875	3.875000	3.840	4.353	1.7625	0.5134	0.34	0.5815	0.15542	1.78022	0.597380	2.19448	1.154050
VOL P	14	2.080	1.912	2.248	1.938	1.937500	1.920	2.177	0.8813	0.2567	0.08	0.2908	0.07771	1.78022	0.597380	2.19448	1.154050
Paz	14	10.794	7.039	14.548	10.041	10.04074	5.398	11.443	20.6969	6.0449	42.29	6.5030	1.73800	1.54541	0.597380	1.96598	1.154050
MOS TON	14	0.417	0.349	0.484	0.397	.3971694	0.320	0.480	0.3453	0.1602	0.01	0.1173	0.03136	1.40650	0.597380	1.11577	1.154050
COS TON	14	0.242	0.202	0.281	0.230	.2303582	0.185	0.278	0.2003	0.0929	0.00	0.0681	0.01819	1.40650	0.597380	1.11577	1.154050
V m²/ha	14	7.661	5.210	10.111	7.184	7.184128	2.658	12.690	11.4083	10.0324	18.01	4.2438	1.13421	0.32719	0.597380	-1.14222	1.154050
AB m²/ha	14	1.934	0.863	3.005	0.859	.8596579	0.737	4.387	4.3627	3.6501	3.44	1.8554	0.49586	1.10563	0.597380	-0.84996	1.154050
CC %	14	5.772	3.001	8.543	2.941	2.941249	2.801	11.601	11.5778	8.8000	23.04	4.7997	1.28277	1.16060	0.597380	-0.61761	1.154050

Anexo 9. Análisis descriptivo de las variables en la matriz por microcuenca.

Variable	Valid N	Mean	Confidence 95.000%	Confidence +95.000%	Median	Mode	Lower Quartile	Upper Quartile	Range	Quartile Range	Variance	Std.Dev.	Standard Error	Skewness	Std.Err. Skewness	Kurtosis	Std.Err. Kurtosis
MC	13	8.462	5.664	11.259	9.000	Multiple	5.000	12.000	14.0000	7.0000	21.44	4.6299	1.28410	-0.28325	0.616336	-1.14339	1.190874
PH	13	5.818	5.597	6.039	5.815	Multiple	5.540	6.098	1.1038	0.5580	0.13	0.3658	0.10144	0.11862	0.616336	-1.11888	1.190874
CE	13	0.087	0.068	0.105	0.090	Multiple	0.052	0.104	0.0809	0.0515	0.00	0.0307	0.00851	-0.00369	0.616336	-1.49757	1.190874
PPTN	13	1007.692	927.898	1087.486	1100.000	1100	900	1100	400	200	17435.9	132.045	36.62271	-1.19065	0.616336	0.64530	1.190874
PEND(°)	13	12.551	7.163	17.939	12.000	2.5	4.14	20.5	22.27	16.36	79.4976	8.91614	2.472893	0.08188	0.616336	-1.98061	1.190874
AÑO	13	2014.769	2013.392	2016.146	2014.000	2013	2013	2018	5	5	5.19231	2.27866	0.631988	0.83486	0.616336	-1.39250	1.190874
MA2	13	10.101	2.657	17.545	5.047	Multiple	2.313	11.553	36.6457	9.2405	151.74	12.3181	3.41644	1.71701	0.616336	1.95385	1.190874
ME2	13	9.637	4.084	15.191	4.954	Multiple	3.815	15.925	27.3351	12.1104	84.46	9.1901	2.54888	1.17490	0.616336	-0.02469	1.190874
MO	13	0.159	-0.003	0.320	0.053	Multiple	0.032	0.173	1.0033	0.1412	0.07	0.2674	0.07417	3.10707	0.616336	10.32323	1.190874
AMC	13	0.436	0.126	0.746	0.159	Multiple	0.112	0.371	1.3532	0.2593	0.26	0.5132	0.14233	1.35448	0.616336	0.14072	1.190874
Paz	13	19.897	7.853	31.941	11.764	Multiple	6.672	31.657	58.9050	24.9851	397.25	19.9311	5.52789	1.16834	0.616336	0.04860	1.190874
MOS TON	13	1.102	0.318	1.886	0.772	Multiple	0.212	1.219	4.8061	1.0074	1.68	1.2977	0.35991	2.38547	0.616336	6.63575	1.190874
COS TON	13	0.639	0.184	1.094	0.448	Multiple	0.123	0.707	2.7875	0.5843	0.57	0.7527	0.20875	2.38547	0.616336	6.63575	1.190874
V m³/ha	13	40.147	20.990	59.304	32.967	Multiple	12.690	62.876	92.9862	50.1858	1004.96	31.7012	8.79233	0.47946	0.616336	-1.24131	1.190874
AB m²/ha	13	5.923	3.693	8.153	5.100	Multiple	3.242	8.537	11.4648	5.2951	13.62	3.6906	1.02359	0.11812	0.616336	-1.08978	1.190874
CC %	13	18.095	9.721	26.469	14.378	Multiple	7.255	24.956	43.0772	17.7009	192.03	13.8575	3.84337	0.94128	0.616336	0.07335	1.190874
In V	13	3.266	2.603	3.929	3.495	Multiple	2.541	4.141	3.5831	1.6003	1.20	1.0968	0.30420	-0.70169	0.616336	-0.28159	1.190874
In AB	13	1.495	0.946	2.043	1.629	Multiple	1.176	2.144	2.8065	0.9683	0.82	0.9081	0.25185	-1.05818	0.616336	0.19453	1.190874
In CC	13	2.574	2.029	3.119	2.666	Multiple	1.982	3.217	2.7961	1.2354	0.81	0.9016	0.25005	-0.45017	0.616336	-0.59744	1.190874
INV V	13	0.071	0.011	0.131	0.030	Multiple	0.016	0.079	0.3658	0.0629	0.01	0.0999	0.02772	2.72594	0.616336	8.18762	1.190874
INV AB	13	0.353	0.101	0.606	0.196	Multiple	0.117	0.308	1.2745	0.1913	0.17	0.4175	0.11580	1.95938	0.616336	2.73375	1.190874
INV CC	13	0.113	0.045	0.181	0.070	Multiple	0.040	0.138	0.3353	0.0978	0.01	0.1127	0.03125	1.62393	0.616336	1.58998	1.190874

Anexo 10. Tasas de interés anuales por estado para proyectos de desazolve.

Entidad	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Tasa promedio
Baja California	10.3%	9.4%	8.0%	9.8%	8.8%	8.1%	9.0%	9.6%	6.2%	6.3%	6.6%	6.9%	7.4%	5.4%	4.7%	7.2%	7.8%	8.5%	10.0%	4.2%	6.2%	7.6%
Durango	9.1%	9.2%	7.7%	10.6%	9.1%	8.6%	8.4%	10.9%	5.7%	7.3%	7.0%	6.4%	5.3%	4.7%	4.2%	7.0%	7.5%	8.5%	10.1%	4.5%	6.6%	7.5%
Veracruz	9.4%	8.7%	7.6%	10.2%	8.9%	10.5%	10.5%	11.3%	5.9%	7.0%	5.8%	5.3%	6.3%	5.8%	8.9%	8.9%	8.3%	9.0%	9.6%	4.6%	6.4%	8.0%

Anexo 11. Correlación de las variables obtenidas correlacionadas entre sí.

Variable	PH	CE	PPTN	PEND(°)	AÑO	MA2	ME2	MO	AMC	Paz	MOS TON	COS TON	ln V	ln AB	ln CC
MC	-0.11	-0.33	-0.36	0.36	-0.64	-0.11	-0.48	0.36	-0.13	-0.29	0.09	0.09	-0.05	0.10	0.13
PH	1.00	0.15	0.03	-0.12	-0.14	0.23	0.04	-0.10	0.37	0.16	0.01	0.01	-0.04	-0.16	-0.05
CE	0.15	1.00	-0.07	0.20	0.50	0.46	0.09	0.19	0.21	0.33	0.34	0.34	0.15	0.03	0.00
PPTN	0.03	-0.07	1.00	-0.69	0.20	-0.37	-0.10	-0.76	-0.39	-0.29	-0.67	-0.67	0.51	0.34	0.35
PEND(°)	-0.12	0.20	-0.69	1.00	-0.35	0.44	0.08	0.46	0.35	0.31	0.46	0.46	-0.47	-0.30	-0.28
AÑO	-0.14	0.50	0.20	-0.35	1.00	-0.07	0.12	-0.03	-0.25	0.01	0.05	0.05	0.33	0.31	0.23
MA2	0.23	0.46	-0.37	0.44	-0.07	1.00	0.69	0.59	0.84	0.94	0.84	0.84	-0.56	-0.70	-0.69
ME2	0.04	0.09	-0.10	0.08	0.12	0.69	1.00	0.28	0.73	0.89	0.57	0.57	-0.53	-0.69	-0.64
MO	-0.10	0.19	-0.76	0.46	-0.03	0.59	0.28	1.00	0.37	0.50	0.91	0.91	-0.25	-0.22	-0.26
AMC	0.37	0.21	-0.39	0.35	-0.25	0.84	0.73	0.37	1.00	0.86	0.64	0.64	-0.76	-0.89	-0.84
Paz	0.16	0.33	-0.29	0.31	0.01	0.94	0.89	0.50	0.86	1.00	0.79	0.79	-0.60	-0.75	-0.73
MOS TON	0.01	0.34	-0.67	0.46	0.05	0.84	0.57	0.91	0.64	0.79	1.00	1.00	-0.46	-0.49	-0.51
COS TON	0.01	0.34	-0.67	0.46	0.05	0.84	0.57	0.91	0.64	0.79	1.00	1.00	-0.46	-0.49	-0.51
ln V	-0.04	0.15	0.51	-0.47	0.33	-0.56	-0.53	-0.25	-0.76	-0.60	-0.46	-0.46	1.00	0.91	0.87
ln AB	-0.16	0.03	0.34	-0.30	0.31	-0.70	-0.69	-0.22	-0.89	-0.75	-0.49	-0.49	0.91	1.00	0.97
ln CC	-0.05	0.00	0.35	-0.28	0.23	-0.69	-0.64	-0.26	-0.84	-0.73	-0.51	-0.51	0.87	0.97	1.00