



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Facultad de Ciencias Naturales

“Manejo de unidades de escurrimiento para su restauración y monitoreo en la subcuenca Támara-Picachos”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestra en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Anai Del Llano Gilio

Director de Tesis: Dr. Raúl Francisco Pineda López

Santiago de Querétaro, Diciembre 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Facultad de Ciencias Naturales

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

“Manejo de unidades de escurrimiento para su restauración y monitoreo en la subcuenca Támbula-Picachos”

TESIS

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

Presenta:

Anai Del Llano Gilio

Dirigida por:

Dr. Raúl Francisco Pineda López

SINODALES

Dr. Raúl Francisco Pineda López
PRESIDENTE

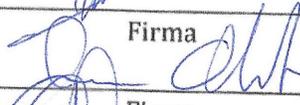
Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero
SECRETARIO

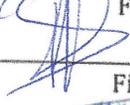
M. en G. Hugo Luna Soria
VOCAL

M. en GIC. Alejandro César Valdés Carrera
SUPLENTE

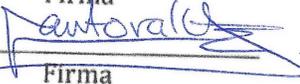
Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza
SUPLENTE

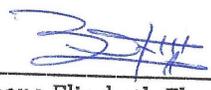

Firma

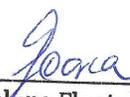

Firma


Firma


Firma


Firma


Dra. Juana Elizabeth Elton Puente
Directora de la Facultad de Ciencias Naturales


Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Diciembre, 2018

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Don Abel, Doña Rosa, Chucho, Ángela, Dulce, Simitrio, Christina, Ana, Caín, Lucha, Poncho que gracias a su participación este proyecto se logró.

A mi tijeira que me acompañó a campo y estuvo ahí para motivarme y compartir un poco de vino.

A mi pareja, Daniel que me aguantó en mis peores momentos y quién con su abrazo me dio todo el apoyo que necesitaba.

A la vida y Raúl por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto y permitirme crecer como persona.

A mis padres (Mari Carmen y Raúl), quienes siguen siendo mi apoyo y motivación para continuar aprendiendo.

A mi familia, mi tía conchita, mi abuelita, mi hermano y mi prima, quienes aunque están lejos de mí, siempre están al pendiente y orgullosos de mí.

Por último, le dedico este trabajo a todos los perros que me hicieron compañía y me cuidaron durante el trabajo de campo: Maya, Nanuk, Kaannab, Leia, Leny, Max, Patrón, Chester, Keela, Princesa, Orión y Aquiles.

Siempre a mi padre, porque jamás dejará de ser importante en mi vida y quién sigue guiando mi camino.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco al CONACYT por otorgarme la beca para financiar ésta investigación, para realizar mis estudios y mi trabajo de tesis.

A la fundación Gonzalo Río Arronte, quién fungió como financiadora del proyecto “Cuencas, gente, agua y cambio climático; procesos de adaptación en la subcuenca Támara-Picachos en el Alto Río Laja”.

A Carlos, Mario y al Centro Regional de Capacitación en Cuencas por su compañía y cumplir un papel importante en la implementación de las unidades CONSABIO.

A mis sinodales, el Dr. Juan Alfredo, el Mtro. Hugo, el Mtro. Alejandro, el Dr. Enrique y por último al Dr. Raúl, quienes aceptaron ser críticos y guías de mi trabajo.

A Henry Miller, quién es el Director del proyecto y quién fue mi amigo y apoyo durante la elaboración de este proyecto.

A Daniel, mi compañero de viaje.

A mi *tijerita*, por ser mi compañía y ayudante en campo, quién además me dio apoyo y cordura durante el proceso, gracias por estar aquí.

A la gente de San Marcos de Begoña, Puerto de Nieto y Guanajuatito, que creyeron y confiaron en mí para participar en éste proyecto. Siempre les estaré infinitamente agradecida.

RESUMEN

Este trabajo forma parte de un proyecto denominado “Cuencas, gente, agua y cambio climático; procesos de adaptación en la subcuenca Támbula-Picachos en el Alto Río Laja”. La subcuenca Támbula-Picachos enfrenta problemas de degradación socio-ambiental aunado a un crecimiento poblacional desmedido y un desarrollo urbano exponencial. Por ello, es necesario promover procesos de rehabilitación de la subcuenca en zonas prioritarias para su restauración y que son importantes para la provisión de servicios ambientales. A partir del enfoque de manejo de cuencas se planteó gestionar, establecer y monitorear unidades de conservación de suelo, agua y biodiversidad (CONSABIO) en las zonas prioritarias para restaurar el capital natural de la subcuenca T-P. Se instalaron dos unidades CONSABIO, en los ejidos de San Marcos de Begoña y Puerto de Nieto, cada unidad CONSABIO estuvo conformada por tres unidades de escurrimiento experimentales: i) control, ii) con exclusión de ganado y iii) con exclusión de ganado más prácticas de conservación. Una vez instaladas se determinaron parámetros para el desarrollo de indicadores de monitoreo de suelo, agua y biodiversidad para evaluar las pautas de manejo utilizadas para restaurar unidades de escurrimiento. Los resultados obtenidos demuestran que las unidades de escurrimiento para la restauración del capital natural pueden ser delimitadas, manejadas y monitoreadas, contando con la participación de la comunidad rural, siendo así una gran estrategia para replicar en otras cuencas semiáridas de México. Además, los datos preliminares del monitoreo indican que las unidades de escurrimiento con exclusión de ganado más prácticas de conservación fueron más eficientes para procesos de restauración que las UE con prácticas de conservación y éstas a su vez, más eficientes que las control. Las condiciones de pobreza, falta de estabilidad laboral y la migración son factores que prevalecen en las comunidades, lo cual dificulta la adopción y promoción de la protección, conservación y restauración de sus recursos naturales, al no sentir pertenencia con el territorio donde viven; haciendo una necesidad el continuo acompañamiento. Proponemos a estas unidades como estrategias replicables a futuro para restaurar ambientes áridos además, de que son una estrategia para que los habitantes de comunidades rurales mejoren su relación y apreciación por el ambiente, conserven sus recursos y lo hagan mediante la participación con diversos actores.

ABSTRACT

This work is part of a project called "Watersheds, people, water and climate change; adaptation processes in the Tábula-Picachos sub-basin in the Alto Río Laja ". The Tábula-Picachos sub-basin faces problems of socio-environmental degradation coupled with an excessive population growth and exponential urban development. Therefore, it is necessary to promote rehabilitation processes of the sub-basin in priority areas for restoration and that are important for the provision of environmental services. Based on the watershed management approach, it was proposed to manage, establish and monitor soil, water and biodiversity conservation units (CONSABIO) in the priority areas to restore the natural capital of the T-P sub-basin. Two CONSABIO units were installed in the ejidos of San Marcos de Begoña and Puerto de Nieto, each CONSABIO unit was made up of three experimental runoff units: i) control, ii) excluding livestock and iii) excluding livestock plus practices of conservation. Once installed, parameters for the development of soil, water and biodiversity monitoring indicators were determined to evaluate the management guidelines used to restore runoff units. The results obtained show that the runoff units for the restoration of natural capital can be delimited, managed and monitored, with the participation of the rural community, thus being a great strategy to replicate in other semiarid basins of Mexico. In addition, preliminary monitoring data indicate that runoff units excluding livestock plus conservation practices were more efficient for restoration processes than the EU with conservation practices and these in turn, more efficient than control. The conditions of poverty, lack of job stability and migration are factors that prevail in the communities, which hinders the adoption and promotion of the protection, conservation and restoration of their natural resources, as they do not feel belonging to the territory where they live; making continuous accompaniment a necessity. We propose these units as future replicable strategies to restore arid environments, that they are a strategy for the inhabitants of rural communities to improve their relationship and appreciation for the environment, conserve their resources and do so through participation with various actors.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. Planteamiento del problema.....	13
2.1 Justificación.....	14
3. Preguntas de investigación.....	17
4. Objetivos.....	17
4.1 General.....	17
4.2 Específicos.....	17
5. Marco Teórico.....	17
6. Antecedentes.....	24
7. Área de Estudio.....	27
7.1 Subcuenca Tábula-Picachos.....	27
8. Métodos y Herramientas.....	31
8.1 Primera etapa: Gestión de las unidades CONSABIO.....	31
8.2 Segunda etapa: Establecimiento de las unidades CONSABIO.....	34
8.3 Tercer etapa: el Monitoreo.....	37
9. RESULTADOS.....	53
9.1 La Gestión de las unidades CONSABIO.....	53
Discusión del proceso de gestión.....	61
9.2 Establecimiento de las unidades CONSABIO.....	62
Unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña.....	64
Unidad CONSABIO en Ejido Puerto de Nieto.....	72
Discusión del proceso de establecimiento de las unidades CONSABIO.....	81
9.3 Monitoreo de las unidades CONSABIO.....	85
Discusión general del monitoreo.....	111
Conclusiones sobre la gestión, implementación y monitoreo de las unidades CONSABIO.....	114
RECOMENDACIONES.....	115
Referencias.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Microcuencas de la subcuenca Tábula-Picachos.....	28
Figura 2. Áreas prioritarias para restaurar descritas por Córdova (2011).	31
Figura 3. Factores de gestión de unidades CONSABIO.....	32
Figura 4. Proceso para gestionar las unidades CONSABIO.....	34
Figura 5. Ejemplo de una unidad CONSABIO	36
Figura 6. Proceso para la implementación de las unidades CONSABIO	37
Figura 7. Esquema de la metodología llevada a cabo para el monitoreo de las unidades CONSABIO.....	38
Figura 8. Determinación de pH de muestras de suelo en el laboratorio CALAGUAS-MAGIC.....	40
Figura 9 Fieldscout TDR 300.....	41
Figura 10 Documentación del muestreo con el fieldscout en las unidades CONSABIO.....	42
Figura 11.Determinación de la textura del suelo con hidrómetro de Bouyoucos en el laboratorio CALAGUAS-MAGIC).....	44
Figura 12. Medición de carbono total de las muestras de suelo en el laboratorio CALAGUAS-MAGIC.....	45
Figura 13. Sembrado, cultivo y lectura de muestras de agua para coliformes fecales y totales, en el laboratorio de CALAGUAS-MAGIC.	47
Figura 14. a) Parshall en punto de salida de la unidad con manejo y obras, ejido San Marcos de Begoña. b) Parshall en punto de salida de la unidad de escurrimiento control del ejido San Marcos de Begoña.	49
Figura 15. a) Parshall en punto de salida de la unidad de escurrimiento con manejo y obras de ejido Puerto de Nieto. b) Parshall en punto de salida de escurrimiento en la unidad con manejo y obras de ejido Puerto de Nieto.	50
Figura 16. Modelo de levelogger utilizado en las mediciones de caudal.....	51
Figura 17. Junta ejidal en San Marcos de Begoña y Salida a la Joya con el grupo de señoras	53
Figura 18. Participación de los actores dentro de los factores para la gestión de la unidad CONSABIO en Puente del Fraile	55
Figura 19. a) Reunión ejidal en Puerto de Nieto, b) Junta informativa e invitación al proyecto a las comunidades de Guanajuatito y Puerto de Nieto y c) Reunión en DMAE con empresarios	57
Figura 20. Participación de los actores dentro de los factores para la gestión de la unidad CONSABIO en Loma de Dimas	58
Figura 21. Línea de tiempo para la gestión de las unidades CONSABIO Puente del fraile y Loma de Dimas.....	59

Figura 22 Localización de las unidades CONSABIO dentro de las zonas prioritarias a restaurar caracterizadas por Córdoba 2011	63
Figura 23. Zonas funcionales de la subcuenca Tábula-Picachos, descritas por UAQ-DMAYE (2009).....	64
Figura 24. Cobertura vegetal para la unidad CONSABIO en San Marcos de Begoña.....	66
Figura 25. Fotografías de vegetación de la unidad CONSABIO del ejido de San Marcos de Begoña.....	67
Figura 26. Exclusión de ganado y prácticas de conservación, realizadas en la unidad CONSABIO en el ejido San Marcos de Begoña.....	70
Figura 27. Capacitación campesino-campesino en el Centro Regional de Capacitación en Cuencas, La Joya.....	72
Figura 28. Uso de suelo para la unidad CONSABIO Puerto de Nieto.....	74
Figura 29. Imágenes de vegetación de la unidad CONSABIO en el ejido Puerto de Nieto	76
Figura 30. Prácticas de conservación de Puerto de Nieto.....	78
Figura 31. Capacitación campesino-campesino de participantes en la implementación de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, en el Centro Regional de Capacitación en Cuencas, La Joya	81
Figura 32. Durante y después del establecimiento de prácticas de conservación en unidad CONSABIO San Marcos de Begoña	85
Figura 33. Durante y después del establecimiento de prácticas de conservación en unidad CONSABIO Puerto de Nieto	85
Figura 34. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en la unidad de escurrimiento control en San Marcos de Begoña. Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE.	91
Figura 35. Unidad de escurrimiento con exclusión de ganado en Puente del Fraile, ejido de San Marcos.....	92
Figura 36. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado en San Marcos de Begoña . Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE.....	93
Figura 37. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado + obras de conservación en San Marcos de Begoña . Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE	94

Figura 38. Promedio de la variación temporal del porcentaje de humedad del suelo entre las unidades de escurrimiento con diferentes tratamientos de la unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña.	95
Figura 39. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento Control en ejido Puerto de Nieto. Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE.....	96
Figura 40. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento exclusión de ganado en ejido Puerto de Nieto. Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE.....	97
Figura 41. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento exclusión de ganado más prácticas de conservación II en ejido Puerto de Nieto. Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE	97
Figura 42. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento exclusión de ganado más prácticas de conservación III en ejido Puerto de Nieto. Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE	98
Figura 43. Promedio de la variación temporal del porcentaje de humedad del suelo entre las unidades de escurrimiento con diferentes tratamientos de la unidad CONSABIO en ejido Puerto de Nieto.....	99
Figura 44. Contenido de carbono total entre julio del 2017 y abril del 2018, en la unidad CONSABIO San Marcos de Begoña.....	100
Figura 45. Parámetro de coliformes totales y fecales para las unidades CONSABIO Loma de Dimas en ejido Puerto de Nieto y Puente del Fraile en ejido San Marcos de Begoña, tomadas en septiembre del 2018.....	104
Figura 46. Cobertura vegetal unidad CONSABIO en el ejido San Marcos de Begoña.....	106
Figura 47. Cobertura vegetal unidad CONSABIO en el ejido Puerto de Nieto.....	107
Figura 48. Imagen satelital de las unidades de escurrimiento en Loma de Dimas, ejido Puerto de Nieto (imagen obtenida de google earth).....	109
Figura 49. Parches sin cobertura vegetal y exposición de roca. En unidad CONSABIO Puerto de Nieto.....	112

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de cuencas permite una mejor coordinación entre acciones y proyectos, facilita la organización, planificación y gestión de los recursos naturales. Es relativamente sencillo lograr una participación de los principales actores que la habitan y, por lo mismo se demuestran en el corto plazo los beneficios que se derivan de la conservación de suelo, agua y biodiversidad.

Algunos de los impactos esperados en una gestión integral de cuencas son: evitar los cambios en el uso de suelo, reducción de la erosión y sedimentación, mayor disponibilidad de agua en el suelo y en caudales, disminución de la contaminación, mayor efectividad en concertación y negociación entre los actores e incrementar la conservación de los recursos naturales renovables.

En general, el manejo y gestión de cuencas trata de disminuir la degradación ambiental, la cual es un problema que no solo afecta a la biodiversidad, sino también, a la oferta y calidad de los servicios ecológicos que ofrece el patrimonio natural. Los suelos degradados o con problemas de salinización, compactación, erosión hídrica y eólica, pueden tardar miles de años en recuperarse totalmente, su proceso natural de formación es muy lento.

La intervención desde una gestión de cuencas permite analizar las relaciones de los humanos con la naturaleza, los conflictos entre lo rural y lo urbano, el equilibrio entre la utilización de los recursos naturales, su protección y conservación, y la integración entre lo local, lo regional y lo nacional. En donde el agua actúa como elemento articulador del sistema ya que lo define y limita. Dado el carácter jerárquico y anidado del sistema cuenca, existen ventajas al trabajar la restauración desde una unidad de escurrimiento a una microcuenca o una cuenca por la similitud de su comportamiento en estructura y funcionamiento.

En este contexto, la subcuenca Tábula-Picachos, ubicada dentro del municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato, se enfrenta a problemas de degradación y compactación del suelo causado por sobrepastoreo, lo que reduce la infiltración de agua al acuífero, aunado a una sobreexplotación de éste (UAQ-DMAyE, 2009). Los problemas de degradación también aumentan los escurrimientos, modifican la estructura del suelo, y reducen la acumulación de materia orgánica, fundamental para la formación de suelos; además de provocar cambios en la vegetación natural, desplaza, disminuye o elimina especies de flora y fauna silvestre impactando a la biodiversidad en general. Las perturbaciones que ocasiona la ausencia de un manejo integrado de cuencas en pastizales de la región, incide en las zonas media y alta o de recarga, tienen fuertes repercusiones en la parte baja, tales como inundaciones de los caminos

en épocas de lluvias y contaminación por coliformes fecales del ganado, incrementando su presencia en el agua que escurre hacia las localidades de la subcuenca y que a veces es utilizado de manera recreativa.

El crecimiento de la población, la conversión de las zonas forestales a uso agrícola y/o ganadero, la sobreexplotación del acuífero subterráneo y la degradación de los sistemas acuáticos, ha impactado no sólo en los ecosistemas sino también en los sistemas productivos. San Miguel de Allende es una ciudad con un crecimiento acelerado y se debería de priorizar la disponibilidad de agua y no la demanda o necesidad del consumo, además de lograr tener una distribución del recurso equitativa (Perrusquía, 2003). Existe una necesidad de reactivación económica que permita la existencia de una equidad mayor entre los habitantes de las zonas rurales y los habitantes de la ciudad, al igual de una resolución de conflictos planteados por el uso del territorio.

En la subcuenca Tábula-Picachos, existe una línea base científica que plantea el manejo de cuencas como la base de su rehabilitación y disminución de la desigualdad rural-urbana (UAQ-DMAE, 2011b). Se cuenta con análisis sobre el ordenamiento espacial de prácticas de conservación de suelos (Zambrano, 2010), de principios de gobernanza (Ortega, 2009), algunas propuestas de manejo sustentable de la ganadería extensiva (Carranza, 2010), y un estudio de la priorización de áreas para su restauración (Córdova, 2010), por lo que se requiere con esa base de conocimiento, pasar a la intervención y manejo para frenar su degradación y promover una mejor calidad de vida para sus habitantes.

La finalidad de esta tesis es iniciar las acciones de restauración y monitoreo en la subcuenca Tábula-Picachos dentro de las zonas identificadas como prioritarias para la recuperación de la recarga hídrica (Córdova, 2011), por medio del establecimiento de unidades de conservación de suelo-agua-biodiversidad (CONSABIO) en unidades de escurrimiento (UE). Además de determinar el estado de las UE por medio de indicadores línea base, para en un futuro, evaluar los resultados del manejo.

Este proceso forma parte del proyecto integral denominado “Cuencas, gente, agua y cambio climático; procesos de adaptación en la subcuenca Tábula-Picachos en el Alto Río Laja”, que cuenta con la participación de gobierno, asociaciones civiles y academia. Es dirigido por la asociación civil El Maíz Más Pequeño y financiado por la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.

Para llevar a cabo las acciones de restauración y monitoreo en las unidades CONSABIO el trabajo fue dividido en tres etapas, la primera fue la gestión de las unidades CONSABIO a través de la participación de ejidatarios, gobierno, empresas del polígono empresarial,

delegados, habitantes de las comunidades y asociaciones civiles; la segunda, fue el establecimiento de las unidades de escurrimiento experimentales a través de actores locales que tuvieron capacitación campesino-campesino en el Centro Regional de Capacitación en Cuencas y un acompañamiento durante todo el proceso. La última etapa fue la de monitoreo de las unidades de escurrimiento establecidas, utilizando indicadores relativos a identificar los cambios en los componentes de la cuenca, suelo, agua y biodiversidad para evaluar los resultados del manejo.

2. Planteamiento del problema

El municipio de San Miguel de Allende presenta problemas de degradación de suelo, deforestación, expansión e intensificación de ganadería, procesos erosivos de arrastre y acumulación por corriente hídrica, carencia de servicios de agua potable y drenaje, así como la calidad y cantidad de este recurso (UAQ-DMAE, 2011a). Actualmente se encuentra en constante presión de cambio de uso de suelo por el incremento de turismo (25% más en 2016) y crecimiento poblacional acelerado, urbanización de la zona periférica de la ciudad, planes de expandir el polígono industrial y la creación de un aeropuerto internacional.

Todas estas acciones representan presiones sobre los recursos naturales agua, suelo y biodiversidad; alterando los procesos ecológicos que regulan y mantienen los ecosistemas, como la fertilidad del suelo, control de inundaciones, purificación del agua, mantenimiento de la biodiversidad y regulación del clima. Estos procesos que operan a diferentes escalas espaciales y temporales están íntimamente ligados entre sí, siendo necesario conservar su complejidad, diversidad y resiliencia.

Para lograr conservarlos se debe de hablar de un manejo integrado de ecosistemas (MA, 2003) y éste puede ser llevado a cabo utilizando a las cuencas como unidades de manejo integral (Maass y Cotler, 2007). Las cuencas son expresiones naturales del paisaje con límites definidos, tomando el agua como eje integrador (Cotler, 2007) y funcionando como unidades de planificación y desarrollo ya que reúnen características de independencia relativa, por sus límites bien definidos, dinámica funcional integrada e intercambios de energía. Las cuencas a su vez se pueden subdividir en áreas de unidades de manejo más pequeñas como las subcuencas, y éstas de igual manera pueden estar conformadas por microcuencas que son unidades de manejo más pequeñas, pero que siguen conservando las características de una cuenca, tanto en estructura y función (Guzmán, 2006).

La ciudad de San Miguel de Allende se encuentra dentro de la subcuenca Támbula-Picachos que se ubica en la porción Este del municipio. Entendiendo que la sustentabilidad del

ecosistema puede ser indicada con base en la extracción, la calidad y la protección de las fuentes de agua y que el 30% de la vegetación existente en la subcuenca se encuentra perturbada por algún tipo de actividad del hombre, principalmente por ganadería extensiva (UAQ-DMAE, 2011a), es necesario el recuperar las condiciones del suelo, la vegetación y los procesos hidrológicos de la subcuenca.

Se propone entonces, establecer un modelo de restauración denominado CONSABIO (conservación de suelo, agua y biodiversidad) (Pineda *et al.*, 2014) a partir de su transferencia desde el Centro Regional de Capacitación en Cuencas (CRCC) en la Joya, Querétaro y que tiene como base la atención integral de unidades de escurrimiento, que conservan las propiedades de microcuenca, con el objetivo de imitar la estructura, función, diversidad y dinámica del ecosistema original, a través de una restauración ecológica, definida como el proceso de alteración intencional de un hábitat para establecer un ecosistema natural (CONAFOR *et al.*, 2009). En este trabajo, cada unidad CONSABIO está conformada a su vez, por tres unidades de escurrimiento a manera de cuencas pareadas, en donde probarán diferentes procesos de manejo.

Este trabajo tiene también como base el diagnóstico del estado de degradación de la subcuenca Tábula-Picachos, que ha definido, además, técnicas, estrategias y metas de restauración. Las unidades de conservación de suelo, agua y biodiversidad están planteadas a través del manejo de unidades de escurrimiento con prácticas de conservación para lograr la restauración de la subcuenca Tábula-Picachos.

Por último, dentro del proyecto “Cuencas, gente, agua y cambio climático; procesos de adaptación en la subcuenca Tábula-Picachos en el Alto Río Laja”, se contempla la vinculación de la gente capacitada para transmitir su conocimiento a estudiantes y otros habitantes de la subcuenca.

2.1 Justificación

La subcuenca Tábula-Picachos (T-P) forma parte de la cuenca Alta del Río Laja, en donde actualmente se necesitan acciones para recuperar la función y estructura de la cuenca que garanticen el abasto de la reserva acuífera, ya que se estima una vida útil del acuífero de no más de 15 años de no adoptarse medidas necesarias para la conservación y restauración de la cuenca.

La subcuenca TP presenta problemas de degradación en sus recursos naturales, lo cual repercute en forma negativa en las actividades productivas y consecuentemente en el nivel de vida de los habitantes de las áreas rurales. La sobreexplotación que han sufrido los recursos

naturales de la subcuenca T-P en los últimos años por la gran demanda de urbanización, también han alterado el suelo y la vegetación. En 2010, Hernández determinó mediante el análisis de uso del agua en la subcuenca que 83% de la demanda de agua era destinado a uso agropecuario, el 15% a uso urbano y el 2% a uso industrial.

Actualmente existe el polígono empresarial que cuenta con un espacio de 196 a 250 ha, con dos pozos de agua potable y planta de tratamiento de agua y se prevé se instalen alrededor de 50 empresas, la mayoría de los sectores automotriz y aeronáutico (Manufactura, 2014 y Carmona, 2014) y la propuesta de creación de un aeropuerto (ERP, 2017 y Rangel, 2018), lo que significa más demanda de servicios y recursos naturales, ello, aunado a la creciente expansión inmobiliaria de complejos residenciales han provocado el deterioro de los ecosistemas de la subcuenca, la pérdida de especies de plantas y animales, haciendo de su restauración una preocupación primordial para recuperar la funcionalidad de la subcuenca.

Los principales problemas de cambio del uso de suelo se manifiestan en la deforestación, expansión e intensificación de la ganadería, la expansión del polígono industrial y la presión por urbanizar que se ejerce sobre los recursos naturales de las áreas periféricas a la zona urbana de San Miguel de Allende, derivada del acelerado crecimiento de la ciudad, aunado a los procesos erosivos de arrastre y acumulación por corrientes que existen en la subcuenca, significando un riesgo para la población ante fenómenos hidrometeorológicos en el contexto del cambio climático (UAQ-DMAE, 2011b).

También es prioritario mantener todos los cauces intermitentes en buen estado, conservándolos o evitando modificaciones a la red de drenaje, sus órdenes de cauce, su pendiente, sinuosidad y ancho originales (UAQ-DMAE, 2011b).

Los ecosistemas semiáridos de la subcuenca T-P son altamente vulnerables ante la variabilidad climática, lo que supone una degradación importante si se considera, las actividades agropecuarias y de extracción vegetal. El 68.9% de la vegetación primaria o secundaria que existe en la subcuenca corresponde a agricultura de temporal, agricultura de riego, pastizales inducidos, áreas urbanas, caseríos y granjas. El 30% corresponde a algún tipo de vegetación, distribuida en los cerros Tábula, Picachos y la Márgara, la cual se encuentra perturbada principalmente por actividades de ganadería extensiva (UAQ-DMAE, 2011b).

El 34% del bosque de encinares se encuentra en buen estado de conservación, sin embargo, el 18% muestran algún grado de perturbación en su cobertura y 48% se encuentra en situación crítica de perturbación (Sotelo, 2010). Cuando los ecosistemas están muy degradados y existen factores que impiden su regeneración, se necesitan esfuerzos de restauración para mantener y recuperar los procesos y funcionamiento del ecosistema

(Vargas, 2011). Sotelo (2010), propuso la restauración prioritaria y secundaria; la prioritaria corresponde a las zonas más afectadas de la subcuenca T-P, en donde la cobertura vegetal es menos densa y las actividades humanas han afectado severamente la estructura de los encinares. La secundaria, dirigida a zonas que tienen un grado de afectación, que no se considera severo, pero, antes de que se agudice el problema hasta un deterioro irreversible, se necesita la aplicación de medidas de restauración.

La práctica inadecuada de la ganadería extensiva que se lleva a cabo dentro de la zona de pastizal de las partes altas y medias de la subcuenca, tiene fuerte repercusión en la parte baja, tales como inundación de los caminos en épocas de lluvia y contaminación por material fecal del ganado, que incrementa la presencia de bacterias coliformes en el agua que escurre hacia las localidades (Carranza, 2010) y que se infiltra a las aguas subterráneas que son aprovechadas para uso doméstico, las localidades que tienen alta concentración de coliformes fecales en bordos son Huizachal, San Marcos de Begoña, Sosnabar, Cerritos, Guadalupe de Támula y Puerto de Nieto (UAQ-DMAE, 2011b). Las zonas de agostadero se encuentran por lo general en las partes altas de la subcuenca (Zambrano, 2010), siendo de importancia su ubicación pues presentan compactación que va de moderada a alta y erosión (Carranza, 2010), causada por el impacto de la compactación del suelo por el pisoteo de los animales, que es aún mayor al localizarse en las partes altas. Es necesario recuperar las condiciones del suelo, la vegetación y los procesos hidrológicos de la subcuenca, para disminuir el riesgo en la ciudad de inundaciones e incrementar la productividad del campo.

La subcuenca es una zona eminentemente rural, que requiere de una reactivación económica que permita a los habitantes una mayor equidad con el desarrollo mostrado por la zona urbana de la ciudad de San Miguel de Allende (Pineda et al, 2008). Es necesario contar con la participación de los habitantes de las comunidades, para mejorar vínculos y prácticas hacia la cultura ecológica y el interés en la realización de acciones que les aseguren el uso sustentable de su entorno natural con la aplicación de prácticas de conservación (Zambrano, 2010). Se ha observado que existe interés de la población en participar en acciones de manejo, si se abordan desde el punto de vista de mejorar su calidad de vida, pero, se necesita orientación y apoyo de instituciones involucradas en la restauración de la subcuenca Támula-Picachos (Tinoco, 2010).

3. Preguntas de investigación

1. ¿Cuál es la mejor estrategia de aproximación a una localidad rural para implementar las unidades CONSABIO?
2. ¿Las unidades de escurrimiento con exclusión de ganado más prácticas de conservación tendrán un efecto de rehabilitación, en comparación con las unidades que solamente tienen exclusión de ganado?
3. ¿Las unidades CONSABIO son suficientemente demostrativas para cambiar la perspectiva que tienen los habitantes rurales sobre la importancia del buen uso y conservación de los recursos naturales?

4. Objetivos

4.1 General

Operar y comparar unidades de escurrimiento tipo CONSABIO en las áreas prioritarias para restaurar la estructura y función de la subcuenca Tábula-Picachos.

4.2 Específicos

1. Gestionar el establecimiento de las unidades CONSABIO a través de habitantes de las comunidades, organizaciones civiles y gobierno.
2. Construir estrategias conjuntas para el establecimiento y operación de las unidades CONSABIO en las áreas prioritarias para la restauración de la subcuenca T-P.
3. Evaluar el desempeño de las unidades CONSABIO en función de distintos procesos de manejo.

5. Marco Teórico

Los tres conceptos centrales para desarrollar el proyecto son la gestión integrada de cuencas, restauración y monitoreo. A continuación, desarrollaré el primer concepto de gestión integrada de cuencas.

El deterioro ambiental implica la pérdida de biodiversidad, de suelos, pero también la aceleración de los procesos de desertificación, la incapacidad de captación de agua, la salinización de suelos por riego inadecuado y pérdida de las reservas de agua por la sobreexplotación de los acuíferos (Boege-Schmidt, 2010). Muchos de los problemas actuales de degradación de suelos, es debido a cambios rápidos en el uso de las tierras y de las

condiciones ambientales asociadas. Por ejemplo, el sector rural es uno de los más vulnerables a los desastres naturales, sobre todo a eventos climáticos, ya que está sujeto a múltiples amenazas, a pesar de constituir un sector clave para la economía regional, concentra todavía una franja importante de población vulnerable, pobre y muchas veces en condiciones de inseguridad alimentaria y nutricional (FAO, 2014).

Aunado a esto, las prácticas de deforestación y sobrepastoreo conducen a la degradación progresiva de la vegetación y a la compactación superficial, exponiendo al suelo a la erosión por agua y viento, degradando la estructura de la cuenca. Además, la sobre explotación de las reservas de agua subterránea contribuye a la escasez de agua, que se prevé incrementará en todo el mundo incluso independientemente del cambio climático, que también está estrechamente relacionada con el riesgo de desastres y la inseguridad alimentaria (FAO, 2013).

La cobertura vegetal proporciona servicios hidrológicos como: la regulación de cantidad y calidad de agua, protección del suelo ante la erosión y regulación del clima, y como sistema suelo-vegetación funge un papel importante en el aumento o reducción de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, que depende de la velocidad de formación y descomposición del carbono orgánico en el suelo (mencionado en Segura *et al.*, 2005). Si las condiciones del terreno presentan algún grado de degradación disminuye la captación de agua, ya que la distribución de la disponibilidad de agua depende en gran medida de factores climáticos y geológicos, las fuentes superficiales y subterráneas son recargadas naturalmente en la época de lluvias, las cuales se presentan en tan solo cuatro meses. Según las condiciones ecológicas y el uso local del suelo, la modificación del régimen hídrico puede dar por resultado impactos en la calidad del suelo, la disponibilidad de áreas aptas para agricultura, cambios en la temperatura y humedad, además de modificar la calidad de las aguas subterráneas y superficiales (Moreno Díaz y Renner, 2007).

Atender estos desafíos y satisfacer las necesidades de calidad y cantidad de agua es complejo (RIOG, 2009). Para asegurar la calidad de vida y un desarrollo sostenible se necesita de una gestión racional y equilibrada de los recursos naturales, particularmente del agua, suelo y vegetación. En este contexto, la cuenca ha sido planteada como el territorio idóneo para planificar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y disminuir la vulnerabilidad ante los desastres (Jiménez, 2005; Faustino, 2005; FAO, 2007).

La gestión integrada de cuencas promueve el desarrollo coordinado de los componentes que la conforman como el agua, suelo, vegetación, junto con los habitantes de ésta para promover y lograr un desarrollo sustentable (Dourojeanni, 1991; Dourojeanni

1997). El sistema de la cuenca, está integrado a su vez, por subsistemas como el biológico: que integran esencialmente la flora y fauna y elementos cultivados por el hombre. El subsistema físico; integrado por suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima. El económico; integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre y el social; integrado por los elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, educación y vivienda (World Vision, 2006).

Para realizar una gestión de cuenca exitosa, se debe de contar con los siguientes aspectos: tener la delimitación de la cuenca a intervenir, hacer una planificación estratégica, formular proyectos, tener financiamiento, institucionalidad y organización de los actores; después implementar el plan, monitorear y evaluar para tener un control entre lo planeado y lo ejecutado (Moreno Días y Renner, 2007).

De acuerdo a González (2007) los principales problemas a resolver para lograr un manejo integral de cuencas, son: lograr una conciencia colectiva de la importancia del manejo de cuencas con un enfoque integral, fundamentalmente para los tomadores de decisiones y la población en general; se debe de tener dominio de los principales problemas ambientales a nivel de cuenca, lograr que la comunidad se sienta parte importante de la problemática de su entorno, sobre todo en lo referente al medio ambiente; y tener un especial cuidado con el deterioro de los recursos hídricos, de los suelos y la biodiversidad.

También es importante identificar las presiones entrópicas en la cuenca que pueden impactar sus procesos ecológicos, y plantear estrategias que aminoren éstas presiones para lograr la conservación y restauración del ciclo hidrológico natural de la cuenca, manteniendo su funcionalidad, ya que su deterioro impacta en la cantidad, calidad y temporalidad del recurso agua (FGRA, 2010).

El manejo integrado de cuencas se lleva a cabo de diversas maneras, algunas experiencias se basan en buscar puntos de conciliación de los intereses que existen sobre la cuenca, lo que lleva a la construcción de objetivos para su manejo; y a la construcción de escenarios de beneficios y desventajas en el corto, mediano y largo plazos. Para lograr el manejo integrado, es indispensable que el proceso se acompañe de comunicación efectiva entre el interventor y la comunidad, en donde se intercambien las percepciones de ambos lados y se logre dialogar para trabajar por objetivos comunes que permitan lograr beneficios para la comunidad (Mass, 2012).

La sustentabilidad como concepto multidimensional podrá acercar a los habitantes de las cuencas a promover procesos renovables locales, manteniendo su capacidad productiva, promoviendo impactos positivos sobre el medio ambiente, y aprovechando el uso de la

experiencia y conocimientos locales para mejorar la integridad ecosistémica (Astier *et al.*, 2008).

El segundo concepto importante para el desarrollo del trabajo es la restauración. Para lograr la sustentabilidad en un enfoque de manejo de cuencas, es necesario la adopción generalizada de técnicas de restauración de la tierra a medida que aumenta la superficie de tierras degradadas por la presión de la población y la producción (WOCAT, 2011; UICN 1992). El control de la degradación de tierras y sus efectos depende de una adecuada planificación del uso y manejo de los recursos suelo y agua.

Los problemas de degradación de suelos y agua están creciendo, en parte debido a deficiencias en las evaluaciones de los procesos y causas de dicha degradación en cada situación específica, y al uso generalizado de aproximaciones empíricas para seleccionar las prácticas de conservación de suelos (Pla, 1992). La mayoría de los programas de conservación, utilizan como unidad de análisis las entidades administrativas, como los municipios, ejidos o las comunidades. Sin embargo, los procesos de degradación hídrica que es la dominante en el país, se entienden mejor en el contexto de cuenca hídrica porque, impacta en el ciclo hidrológico, disminuye la infiltración, fomentan la pérdida de materia orgánica y aumentan el escurrimiento superficial (Cotler *et al.*, 2004). Las principales consecuencias de la erosión hídrica en el sitio específico es la pérdida de estructura, que ocasiona: disminución de la infiltración y retención de agua, aumenta la erosionabilidad del suelo y aumenta el riesgo de compactación del suelo; la pérdida selectiva de partículas finas y materia orgánica; la pérdida de nutrientes ocasiona una disminución en la productividad; disminuye la profundidad del suelo ocasionando una pérdida de función de soporte; dificulta el establecimiento de nuevas plantas; afecta la biodiversidad y disminuye la recarga del acuífero (Cotler *et al.*, 2007 y Cotler *et al.*, 2004). Los procesos de erosión que se dan en el sitio específico, también tienen un impacto a nivel regional, causando incremento de sedimentos que azolvan presas, lagos y canales de riego; disminuyen la vida de las presas; incrementa el costo de purificación del agua y aumenta el riesgo de inundaciones.

Los sistemas degradados son los ecosistemas cuya diversidad, productividad y habitabilidad se ha reducido considerablemente, y se caracterizan por la pérdida de vegetación y suelo. Para recuperar su estado original se aplican medidas de restauración (IUCN, PNUMA y WWF, 1991). La restauración ecológica se entiende como un proceso esencial para restablecer la capacidad ecosistémica de soportar los requerimientos socioeconómicos, usar los recursos naturales de manera sostenible, mitigar los efectos del

cambio climático y conservar e incrementar el capital natural (Choi, 2004; Aronson *et al.*, 2006; Hobbs, 2007).

La práctica de restauración ecológica, pretende asistir a un ecosistema que ha sido dañado, degradado o destruido para mejorar su estructura, composición y función (SER, 2004), ofrece la esperanza de recuperar mucho del daño ambiental que se le ha infringido por el mal uso o manejo de sus recursos naturales (Malakoff, 2004). Por un lado, existe la dificultad de tener éxito porque estrictamente hablando, la restauración ecológica intenta regresar el sistema a su estado histórico natural, el cual desconocemos en general y, por otro lado, Malchis (1993) plantea que la restauración es indicada cuando el proceso normal de recuperación sería demasiado lento. En este contexto, la restauración ecológica puede entenderse como un intento de recuperar o imitar un rango natural de composición, estructura, función, diversidad y dinámica de los ecosistemas (Allen *et al.*, 2002; Falk, 1990; Jackson, 1993), contribuyendo positivamente al desarrollo sustentable fortaleciendo la provisión de recursos naturales de los cuales depende la vida del ser humano (Nellemann y Corcoran, 2010).

El restaurar los sistemas degradados, incrementa las medidas de resiliencia del sistema para mitigar los cambios climáticos a los que están expuestos. Por ejemplo, al proteger la cuenca de la erosión hídrica, deforestación, degradación de ríos y pérdida de fertilidad; mejoraría la captación del agua en la cuenca, ya que esta es la reguladora de la cantidad, calidad y velocidad del movimiento del agua.

La intensidad, frecuencia y escala de los disturbios de origen antropogénico pueden conducir a procesos que disminuyan la velocidad de recuperación, impidiendo así que se reestablezcan los ecosistemas. El uso de prácticas de conservación podría constituir un método efectivo para favorecer el proceso de restauración natural en ecosistemas degradados. En el municipio de San Miguel de Allende, el cambio de uso de suelo se debe ante todo a procesos de urbanización o a la modificación de las áreas naturales para actividades pecuarias y la habilitación y ampliación de áreas de cultivo, transformando así la vegetación nativa a pastizales y matorrales.

En la mayoría de los procesos de restauración se entiende el éxito como el área plantada o sembrada, o sea un cambio de cobertura, la presencia, densidad y porcentaje de cobertura vegetal o como la tasa de supervivencia de la vegetación plantada (Murcia y Guariguata, 2014); subestimando el proceso de restauración por no medir el efecto en otros componentes del sistema, como en los procesos ecosistémicos o su beneficio en la calidad de vida de las personas (Murcia y Guariguata, 2014). Se necesita de un monitoreo para

caracterizar el estado actual y poder documentar los cambios que ocurren a lo largo del tiempo y saber si las acciones que estamos llevando a cabo, están cumpliendo con los objetivos de restauración y a la velocidad proyectada. Existen objetivos inmediatos, a mediano y largo plazo, que miden variables como el control de erosión, calidad/cantidad de agua, supervivencia y crecimiento de la vegetación, cobertura vegetal, composición de la vegetación, niveles de carbono/nutrientes, sucesión secundaria, reproducción de la vegetación, especies faunísticas, cambios en el paisaje, percepción de la comunidad y la gestión interinstitucional (Aguilar y Ramírez, 2015).

WOCAT (2008) enfoca sus esfuerzos para prevenir y reducir la degradación del suelo por medio de tecnologías o prácticas de conservación, en donde cada práctica consiste en una o más medidas de conservación que se dividen en las siguientes categorías: i) *Agronómica* (ej. Cultivos intercalados, cobertura muerta); ii) *Vegetativa* (ej. Plantación de árboles, fajas de pastos); iii) *Estructural* (ej. Terrazas a nivel, barreras de piedra); iv) *Manejo* (ej. Cambio de uso de la tierra, pastoreo rotativo, cierre de ciertas áreas); y que pueden hacerse combinaciones de ellas para fortalecer su finalidad que es, conservar el suelo y agua en terrenos que presentan problemas de deficiencia de humedad.

Newton y colaboradores (2012), proponen que una implementación exitosa de una restauración requiere de alianzas de colaboración entre las partes interesadas, el empoderamiento y la capacidad de construcción de las comunidades locales. Al participar en las actividades de restauración, los pobladores locales pueden llegar a ser participantes activos en el proceso de toma de decisiones. Pero para garantizar un verdadero proceso de restauración, de acuerdo con Aguilar y Ramírez (2005) se deben cumplir como mínimo con estas bases: caracterización diagnóstica; diseño e implementación de las prácticas de restauración; diseño e implementación del programa de monitoreo y, por último, vinculación de los actores sociales y divulgación.

Los planes de manejo de cuenca y las acciones llevadas a cabo en ellas deberían estar basadas en el mejor análisis posible de lo que ha pasado y las lecciones aprendidas, tanto positivas como negativas para tener un mecanismo continuo de retroalimentación y asegurar la participación activa de todos los interesados (WOCAT, 2011). Además de generar herramientas técnicas que brinden apoyo y soporte a la toma de decisiones sobre el manejo de cuencas (FIDAR, 2011). Es aquí donde entra el tercer concepto, ya que se necesita monitoreo sistemático que lleve a una evaluación (Gregersen *et al.*, 2007) que provea la retroalimentación necesaria para la toma de decisiones y la generación de ajustes de manejo cuando estos sean necesarios; éste es el tercer concepto en el que se basa este proyecto.

El monitoreo es la recolección sistémica y repetida de datos, observaciones y estudios sobre un área determinada con el fin de caracterizar el estado actual, se obtiene información cuantitativa de los componentes que constituyen la estructura y función de la cuenca para así evaluar la condición inicial y su transformación con el manejo en el tiempo, es decir proporciona elementos para la evaluación temporal y espacial de la gestión de los recursos naturales. Permite identificar las causas y efectos de los procesos de deterioro de los componentes a tiempo, para poder desarrollar una mitigación efectiva y genera modelos de manejo que se puedan perfeccionar conforme se generen datos por los procesos de monitoreo (Montaño, 2012), además permite generar recomendaciones para el manejo adecuado, conservación y recuperación de la cuenca (Suzán y Maruri, 2000). El monitoreo con observaciones y mediciones directas adecuadas, puede ayudar a entender cómo ocurren los procesos de degradación de suelos, agua y los cambios que provocan las intervenciones humanas.

De acuerdo a Aguilar y Ramírez (2015) el monitoreo es un proceso esencial para medir el éxito de la restauración. Para evaluar y monitorear el impacto biofísico el manual de manejo de cuencas (World View, 2006) señala que es difícil y costoso, dado que se requieren medidas controladas, especialmente en el caso del agua, se debe tener en cuenta que sus variaciones entre lluvias y escorrentía entre años.

Algunos de los criterios globales para la evaluación de impactos en el manejo de cuencas pueden ser: el mejoramiento de la calidad de agua, la reducción de contaminantes de los recursos hídricos, mejoramiento de la fertilidad del suelo, la reducción de los niveles de erosión de suelos, incremento de la cobertura permanente de la tierra y la biodiversidad, la disminución de los riesgos ambientales, incremento en la productividad de la tierra, el comportamiento y los niveles de caudales, el nivel de humedad del suelo, nivel de adopción de las técnicas de manejo de cuencas y actitudes de la población relacionadas con la conservación de recursos naturales beneficios económicos aguas abajo de las cuencas, grado de concientización y actitudes. Maass y Cotler (2006) proponen indicadores de campo aplicados por los habitantes de la cuenca para que puedan ir observando respuestas en menor tiempo sobre la salud de su cuenca, que pueden ser: evaluación de volumen de sedimentos en ríos, índice de sobrevivencia de plántulas para reforestación, rendimiento de la tasa productiva, porcentaje de insumos externos, aumento en el compromiso local, porcentaje de reuniones con participación activa y aumento en la tasa de empleo en la localidad.

Es importante realizar el monitoreo para conocer el estado inicial de las cuencas, para eso hay que determinar los indicadores que serán utilizados de acuerdo a las características

de los espacios. El monitoreo es necesario para conocer los cambios que se generan a partir de la intervención, ya sean positivos o negativos y así efectuar cambios necesarios para mejorar la restauración y aprender para futuras intervenciones. Entendiendo al monitoreo como un proceso de aprendizaje continuo, dentro de una subcuenca que es dinámica, por lo que las observaciones son necesarias para estimar y evaluar periódicamente todos los posibles cambios en el manejo y la gestión.

6. Antecedentes

Las interacciones del hombre con la tierra han causado desequilibrios en los ecosistemas, siendo la degradación de suelos y agua la principal causa de los problemas biofísicos y socioeconómicos a los que nos enfrentamos. La restauración ecológica es tema de política mundial, diferentes países emplean programas para atender esta problemática, en India existe el proyecto National Green Mision (GOI 2011), en la república de Korea el National Strategy for Green Growth (ROK 2010), en Sudáfrica el programa Working for Water y en Brazil el pacto por la restauración del bosque Atlántico (AFRP, 2012), que deben ser ejemplo para demás países para combatir los problemas de degradación de los recursos naturales (Aronson y Alexander, 2012).

En ecosistemas áridos la restauración juega un papel importante para disminuir la degradación de los ecosistemas, que depende de factores socioeconómicos, gubernamentales y ambientales; haciendo imperativo la identificación de soluciones efectivas para este tipo de ecosistemas (Svejcar y Kildisheva, 2017).

Una propuesta para combatir los procesos de desertificación de suelos a nivel mundial, es el Panorama Mundial de Enfoques y Tecnologías de Conservación o WOCAT por sus siglas en inglés (World Overview of Conservation Approaches and Technologies), que es una red global de especialistas en conservación de suelos y agua, iniciada en 1992. Aspirando a promover la integración de métodos exitosos en la conservación de agua, suelo y uso de la tierra en todo el mundo, recabando información por medio de una base de datos sobre prácticas agronómicas, vegetativas, estructurales y, de manejo que controlan la degradación del suelo y aumentan la productividad del campo, o enfoques que ayudan a introducir, implementar, adaptar y aplicar las tecnologías en campo.

Cuentan con la participación de 129 países e información de 1,875 tecnologías aplicadas para controlar la degradación de tierras, fortalecer la productividad y otros servicios de ecosistemas. En WOCAT (2011) se analizaron 42 casos de estudio que abarcan experiencias exitosas que representan diferentes sistemas de producción, tipos de uso de la

tierra, condiciones climáticas y zonas geográficas, pero en cada uno solo se mide el éxito de una práctica de conservación de suelo y agua, y no de la aplicación de un conjunto de prácticas de conservación. Además, hacen mención de la necesidad de hacer esfuerzos para dar seguimiento de los resultados obtenidos en los proyectos de restauración, ya que muchas veces no se les da continuidad.

La tasa de deforestación anual en México, supera las 500,000 hectáreas por año (Velázquez *et al.*, 2002). En las zonas áridas y semiáridas, la ganadería se desarrolla en forma extensiva en pastizales, ocasionando una drástica disminución de la productividad forrajera, pérdida de germoplasma, degradación de la cubierta vegetal e incremento en la pérdida de suelo por erosión (López, 2001). Existen programas de Restauración y Compensación Ambiental que tienen como objetivos principales llevar a cabo acciones tendientes a la restauración o recuperación de ecosistemas y recursos naturales, que por diversas causas fueron dañados o están deteriorados; así como apoyar el desarrollo de actividades encaminadas a la conservación directa a través del manejo y protección de los ecosistemas y su biodiversidad, incluyendo su uso sostenible (CONABIO, 2015). CONAFOR, FIRCO y Gobiernos Estatales realizan obras de manejo de conservación y restauración de suelos; SAGARPA describe a la microcuenca como la unidad básica de atención de proyectos económicos de conservación de suelo, agua y de desarrollo comunitario. Uno de sus objetivos fundamentales es impulsar procesos de planeación y acción participativa (Lored, 2005).

La conservación del medio ambiente ha cobrado mayor importancia en los últimos años, por razones económicas y ambientales se deben unir esfuerzos públicos y privados como una necesidad apremiante para mitigar temas de desigualdad social, migración y pobreza, que sobretodo se presentan en áreas rurales. Se requiere asegurar la provisión de servicios ambientales que den viabilidad a los asentamientos humanos, además de que el manejo sustentable es un aspecto inherente en el tema de soberanía y seguridad alimentaria (Cotler y Claire, 2009). Para el mejoramiento de cuencas degradadas se debe considerar aumentar la materia orgánica, la cobertura de los suelos, reducir el escurrimiento, aumentar la infiltración y retención de humedad y mejorar la fertilidad y química del suelo. Conservar o mejorar el suelo, agua y vegetación tienen el potencial de disminuir la degradación de la tierra y al mismo tiempo dirigirse a problemas de nivel mundial como la escasez de agua, conflictos de uso de suelo, cambio climático, conservación de la biodiversidad y mitigar la pobreza (WOCAT, 2011). Para lograr estos principios es necesario mejorar las condiciones del suelo, una de las alternativas es a través de la implementación de obras y prácticas de conservación con las cuales se mejora la estructura del suelo, disminuyendo la erosión y pérdida de agua.

En este sentido, el Centro Regional de Capacitación en Cuencas (CRCC) surge en el 2010 a partir de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro, su objetivo central es establecer una cuenca demostrativa a nivel regional para promover la cultura de conservación y buen manejo de los recursos naturales, principalmente el agua (Montaño, 2012). Ofrece programas educativos de capacitación y formación en aspectos relativos al análisis, comprensión e intervención de los procesos que conforman la estructura y función de la cuenca. Se han establecido prácticas de conservación de suelo, agua, y biodiversidad, uso de energías alternativas, producción sustentable, desarrollo comunitario y micronegocios, además de ofrecer servicios de capacitación y educación ambiental multinivel.

Una de las prácticas establecidas es el manejo de exclusión de ganado. Este manejo, incrementa el proceso de sucesión secundaria, regenerándose principalmente especies nativas. Sin embargo, dependiendo de la composición florística original del sitio y su prevalencia en el banco de semillas del suelo, es posible también la regeneración de especies exóticas. Cuando las causas de deterioro del sitio son causadas por el hombre, las reforestaciones no deben ser iniciadas antes de haber eliminado confiablemente los factores que impiden una repoblación natural (Lamprecht, 1990). Las especies exóticas deben ser usadas en la reforestación solamente cuando los objetivos primarios sean la protección de suelos y la producción forestal y cuando la especie exótica sea claramente superior a la especie local para estos propósitos (Mackinnon *et al.*, 1990) La necesidad de realizar un manejo de agostadero ha crecido en la medida de la rápida expansión de la población humana y la demanda a la que sometemos a los recursos naturales. González (2011) determinó que el pastoreo intensivo disminuye la fotosíntesis, el crecimiento radicular, la producción de semilla y la capacidad de competencia de las plantas, además de que la materia orgánica no se acumula disminuyendo la capacidad del suelo de infiltrar y retener agua, quedando el suelo expuesto a la erosión.

La unidad de conservación de suelo agua y biodiversidad, con exclusión de ganado en donde se han establecido alrededor de 70 prácticas de conservación como presas filtrantes, presas de piedra acomodada, presas de gaviones, zanjas filtrantes, tinajas ciegas, presas de geocostales, cabeceo de cárcavas, revegetación y reforestación entre otras. Para entender los impactos de las obras y prácticas de conservación que se han realizado en la unidad CONSABIO desde hace siete años, Pérez (2017) realizó un monitoreo comparativo entre la unidad de escurrimiento CONSABIO y una a lado sin manejo y que tiene la función de control, para medir los efectos acumulativos. La unidad CONSABIO obtuvo pastizal cualitativamente

más prominente, favoreciendo diferentes tipos de vegetación, además de tardar más tiempo en responder como escurrimiento que la unidad control.

La implementación de proyectos de restauración debe tener prácticas de conservación que se adecúen a las características específicas del sitio, se ha demostrado que no todas las prácticas funcionan de la misma manera. Por ejemplo, la zanja trinchera que constituye la principal práctica de conservación de suelos utilizada en México, genera un gran número de impactos negativos como la movilización de suelo y la exposición de carbono orgánico en la superficie (Cotler *et al.*, 2015).

7. Área de Estudio

7.1 Subcuenca Támara-Picachos

La subcuenca Támara-Picachos ocupa un 25.16% de la superficie del municipio de San Miguel de Allende. Obteniendo el nombre por las elevaciones más importantes que la conforman, Los Picachos (2810msnm) y Támara (2720msnm). La conforman nueve microcuencas delimitadas por UAQ-DMAyE (2009), propuestas bajo un significado de gestión e integración de unidades de escurrimiento (Figura 1), i) **Cerritos**, ubicada en la porción Sureste de la subcuenca, conformada por nueve localidades; ii) **El Huizachal**, ubicada en la porción superior derecha con el cerro La Márgara dentro de ella, es una de las más grandes dentro de la subcuenca con 18 localidades; iii) **Puerto de Nieto**, ubicada en el extremo Este-Sureste y con 12 localidades, con el cerro Támara como parte de su parteaguas; iv) **San Marcos de Begoña**, ubicada en el extremo Sur-Oeste de la subcuenca y conformada por 6 localidades; v) **Santa Teresita de Don Diego**, ubicada en la parte Oeste, colinda en el sur con la microcuenca de San Marcos de Begoña, y tiene el cerro El Picacho como parteaguas; vi) **Sosnabar**, ubicada en la parte sur conformada por doce localidades y una parte del cerro El Picacho; vii) **Guadalupe de Támara**, ubicada al sureste de la subcuenca y al norte de la microcuenca el Huizachal, al este de Puerto de Nieto y al oeste de Cerritos; y conformada por tres localidades; viii) **Alcocer**, ubicada al Oeste de la subcuenca y al sureste de la Ciudad de San Miguel de Allende, conformada por cinco localidades; y, ix) **San Miguel de Allende**, ubicada en la parte Noroeste de la subcuenca, abarcando a la ciudad de San Miguel de Allende, por lo que casi la totalidad de ella son áreas urbanas. La microcuenca San Miguel de Allende es la más cercana al punto de la salida de la subcuenca y por lo tanto la receptora de los procesos que ocurren cuenca arriba.

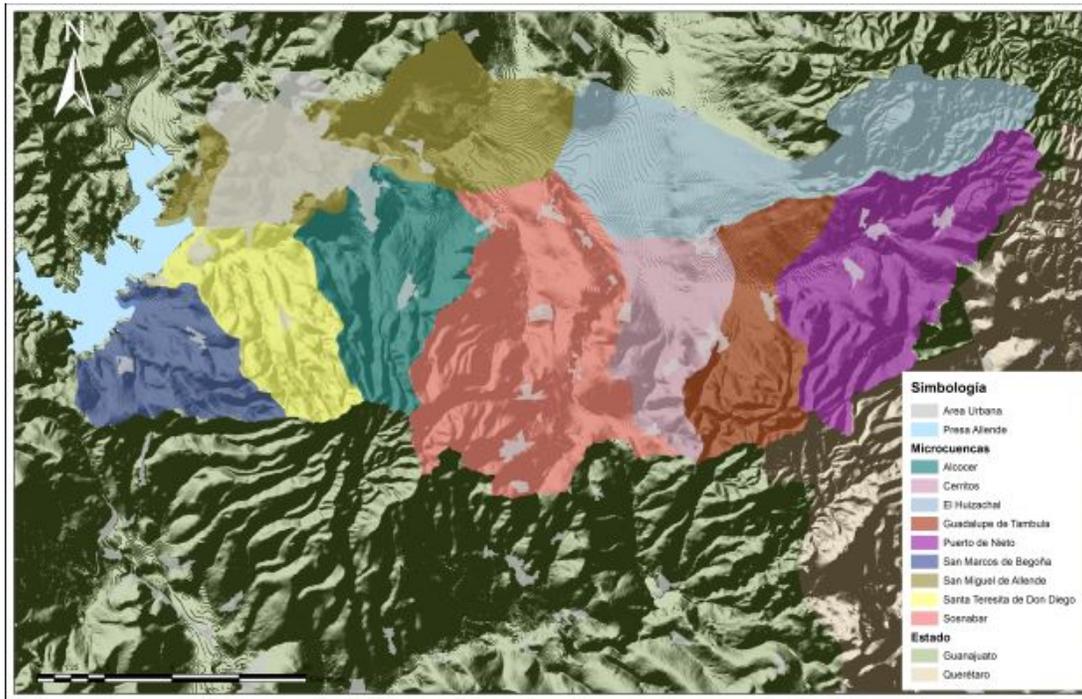


Figura 1. Microcuencas de la subcuenca Támbara-Picachos

En la subcuenca TP predominan características de clima semiárido, caracterizándose por un clima semiseco en el 67% de su superficie y un clima templado en el resto de la subcuenca, que se presenta sobretodo en la zona de cabecera. La temperatura promedio durante los meses marzo a octubre es de 12°C, la precipitación tiene una magnitud de entre 90 y 120 mm de junio a septiembre y una evapotranspiración superior a 100 mm durante todo el año, solo en el mes de abril evapotranspiran más de 230 mm.

Presenta tres tipos de suelo: Phaeozem, leptosol ubicado principalmente en la cabecera de la subcuenca y vertisol. Su vegetación está representada por bosque de encino, selva baja caducifolia, matorral xerófilo crassicaule, matorral espinoso (mezquital), vegetación riparia y pastizal inducido; todos bajo algún tipo de perturbación (UAQ, 2009). En cuanto a su diversidad faunística, cuenta con 268 especies de vertebrados (1.11% peces, 4.84% anfibios, 15.29% reptiles, 64.17% aves y 14.55% mamíferos). Las especies de vertebrados que cuentan con un estatus de conservación son: *Barissia gularis*, *Micrurus fulvius*, *Masticophis sp.*, *Pituophis sp.*, *Zenaida asiática*, *Zenaida macroura*, *Urocyon cinereoargenteus*, *Canis latrans*, *Lynx rufus*, *Procyon lotor*, *Odocoileus virginianus*, *Spermophilus variegatus*, *Lepus californicus*, *Dasybus novemcintus*, *Sciurus aureogaster*, *Procyon lotor*, *Nasua nasua*, *Didelphis virginiana*, *Canis latrans*, *Sylvilagus floridanus*, *Agelaius phoeniceus*, *Columbiana passerina*, *Fulica americana*, *Molothrus ater*, *Ortalis poliocephala*, *Philortyx fasciatus* y *Quiscalus mexicanus*.

En cuanto a la población de la subcuenca, el 60% de la población total se encuentra localizada en la ciudad de San Miguel de Allende y las demás localidades son rurales. Existe un alto porcentaje de población que no tiene acceso a atención médica de ninguna institución pública o privada. Tienen deficiencia de drenaje y manejo de excretas, casi la mitad de la población no cuenta con ese servicio. Más del 50% de las localidades de la subcuenca presentan índices de marginación muy alta y alta, 30% marginación media, lo que significa una inequidad alta entre la zona urbana y la rural. En cada una de las localidades del 20 al 30% de los hogares tienen como jefe de familia a una mujer, debido principalmente a la migración. Existen personas analfabetas, el grado promedio de escolaridad es de 3.51. En el 2005, alrededor de 200 personas hablaban lengua indígena.

La mayor parte de la superficie de la subcuenca es de terrenos de pequeña propiedad, las tierras ejidales abarcan alrededor del 36.6% de la superficie, pero cada vez existe más venta de terrenos para la construcción de residenciales o que están dirigidos al polígono empresarial. La principal actividad es la ganadería extensiva o de pastoreo y la agricultura de temporal en predios no mayores a 5 hectáreas. El ganado se alimenta en las zonas de agostadero, que suelen ser de uso común y en época de sequía se complementa con rastrojo de maíz; los agostaderos presentan sobrepastoreo. El área de uso común es donde se concentran los problemas de deterioro debido al uso colectivo de los recursos naturales.

La zona funcional alta, tiene una superficie de 14,965 ha y la conforman las principales elevaciones (Támbula, Los Picachos y el cerro de la Márgara), son las laderas volcánicas más importantes con pendientes pronunciadas, son zonas de alta fragilidad ecológica; representa una fuente importante de germoplasma. Presenta tasas de erosión mayores a 500 Kg/ ha al año. El 56% de su superficie es de pequeña propiedad y el 44% les pertenece a los ejidos que conforman la subcuenca.

La zona funcional media, es de 13,700 ha que incluye las unidades geomorfológicas de piedemonte superior e inferior, así como laderas suaves volcánicas. El uso que se le da es agrícola de temporal mixto, ganadería de pastoreo y se encuentran 33 comunidades rurales con marginación alta y muy alta. El 32% de la superficie de la zona le pertenece a 19 ejidos, es importante mencionar que presenta una presión importante de venta de terrenos. Las tasas de erosión varían de 15 a 200 ton/ha/año. El principal uso de suelo es de agricultura de temporal.

Finalmente, la zona funcional baja tiene una superficie de 10,352 ha, constituida por terrazas de estructura volcánica, planicies aluviales antiguas y actuales. Presenta cauces riparios que han sido alterados para favorecer la distribución del agua hacia zonas agrícolas,

lo que causa graves problemas de inundaciones. Alberga 31 comunidades, la mayoría con índices de alta marginación. En esta zona, se presenta la mayor presión para venta de terrenos ejidales y construir grandes conglomerados habitacionales o para expandir el polígono empresarial. Se localizan 2,041 hectáreas pertenecientes a 15 ejidos; el uso de suelo más importante es de agricultura de riego y temporal.

La mayor infiltración (20-60 mm) se presenta en los cerros de Tábula, Los Picachos y la Márgara, las demás áreas de infiltración de la subcuenca se asocian a zonas que aún conservan vegetación natural y la infiltración no rebasa los 20 mm.

Las microcuencas se encuentran en la zona de bajo riesgo por fluorosis y bajo contenido de arsénico, pero el contenido de coliformes fecales en el agua representa un riesgo potencial para la salud de los habitantes de las microcuencas San Marcos de Begoña, Sosnabar, Cerritos, Huizachal, Puerto de Nieto y Guadalupe de Tábula.

Existe erosión de las laderas montañosas, los materiales acarreados por efecto de la erosión, han modificado las áreas cercanas al piedemonte, que ahora constituye una extensa planicie que actualmente contiene y mantiene la agricultura de mayor intensidad. Los principales riesgos geomorfológicos que presenta la subcuenca son: erosión hídrica, erosión por gravedad, sedimentación y azolve de cuerpos de agua; riesgos hidrológicos: sequías y avenidas extraordinarias e inundaciones.

La subcuenca TP se enfrenta a problemas de degradación por presiones a urbanizar que enfrenta, Córdova (2010) generó una matriz de permanencia para diferentes categorías como: mancha urbana, sitios de extracción de materiales, cauces y zonas inundables, pastizales, zonas agrícolas de riego, matorral espinoso con vegetación secundaria, zonas agrícolas de temporal, cuerpos de agua, vegetación riparia, selva baja caducifolia perturbada y zona sin vegetación aparente. Encontró que las categorías con mayor probabilidad de permanecer a través del tiempo son: la mancha urbana, sitios de extracción de materiales y zonas inundables, al contrario de la vegetación riparia que fue la categoría con mayor riesgo de desaparición. Demostrando la necesidad de generar procesos dentro de la subcuenca que ayuden a disminuir éstas probabilidades, y promover un cambio en la dinámica de las comunidades.

Además, delimitó cuatro áreas importantes para la restauración por ser críticas para la conservación del recurso hídrico (Figura 2), en las cuales se planteó la implementación de las unidades CONSABIO para recuperar de forma estratégica la estructura y función de la subcuenca Tábula-Picachos. Estas zonas importantes para la restauración teniendo el manejo adecuado ayudarán a minimizar conflictos de escasez de agua y su gestión.

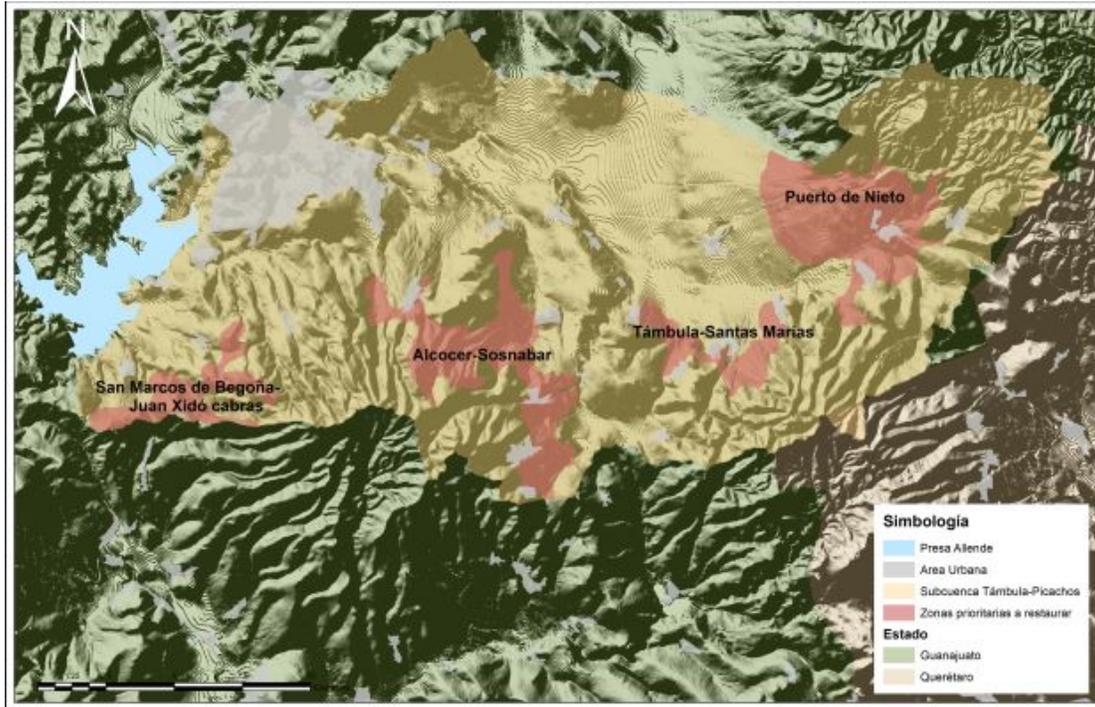


Figura 2. Áreas prioritarias para restaurar descritas por Córdova (2011).

8. Métodos y Herramientas

Para cumplir con el objetivo general de esta tesis: operar y comparar unidades de escurrimiento tipo CONSABIO en las áreas prioritarias para restaurar la estructura y función de la subcuenca Támara-Picachos, el desarrollo metodológico de este estudio implicó tres fases o etapas: i) gestionar el establecimiento de las unidades CONSABIO, ii) el establecimiento y operación de las unidades CONSABIO, y iii) evaluar el desempeño de las unidades CONSABIO. Las cuales se describen en los siguientes párrafos de esta sección.

8.1 Primera etapa: Gestión de las unidades CONSABIO

La gestión de los espacios dentro de la subcuenca Támara-Picachos para la instalación de las unidades CONSABIO, se planteó con diferentes actores como: ejidatarios, gobierno, asociación civil, academia, empresas y fundaciones; con la finalidad de unir esfuerzos y crear compromisos a largo plazo con las instituciones gubernamentales y a su vez con la gente de las localidades, para que los resultados sean sostenibles después de la vida del proyecto.

La gestión de los espacios en los ejidos de San Marcos de Begoña y Puerto de Nieto tuvo rutas diferentes pero los siguientes tres procesos descritos a continuación, fueron fundamentales para lograr la gestión y están presentes en ambas intervenciones.

- I. **Gestión:** La gestión de las unidades contó con el acompañamiento del director de la asociación civil El Maíz Más Pequeño, Henry Miller quién, es director del proyecto. Una vez identificadas y validadas las áreas, se solicitaron juntas ejidales para dar a conocer el proyecto “Cuencas, gente, agua y cambio climático; procesos de adaptación en la subcuenca Támbula-Picachos en el Alto río Laja” ante los ejidatarios. Se planteó la implementación de las unidades CONSABIO dentro de las zonas de uso común, con el entendimiento que se le daría prioridad a sus necesidades como comunidad y otorgando permiso de no cambiar el manejo de unidad CONSABIO durante 3 años. Se explicó la funcionalidad de éstas y la necesidad de adoptar medidas de conservación y restauración en las partes altas de su ejido para poder conservar la función y los beneficios que obtienen de la tierra. También se les invitó a conocer el Centro Regional de Capacitación en Cuencas (CRCC) de la Joya, para que pudieran percibir la funcionalidad y estructura de las unidades CONSABIO. La participación de los promotores del CRCC en la transferencia de su experiencia en la implementación de las unidades de conservación fue base para la aceptación del proyecto. Para poder llevar a cabo con éxito la gestión de las unidades CONSABIO se identificaron factores financiamiento, conocimiento y participación, que se encontraron presentes en ambos procesos de gestión (Figura 3).

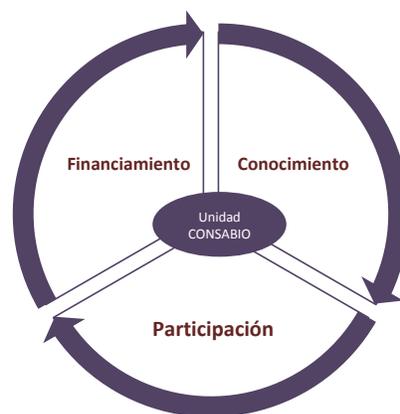


Figura 3. Factores de gestión de unidades CONSABIO

Financiamiento para las visitas al CRCC, los ejidos y la implementación de las unidades CONSABIO. Conocimiento otorgado por parte de la academia que sentó la base para la

propuesta de esta tesis. Participación por parte los actores involucrados en la gestión y establecimiento de las unidades CONSABIO.

- II. **Selección de los espacios:** Para la selección de los espacios se tomaron en consideración las cuatro zonas prioritarias para restaurar la subcuenca Támbula-Picachos, previamente designadas por Córdova (2010). Estas zonas fueron validadas en campo. En el caso de San Marcos de Begoña, en la primera junta con el ejido, se propuso un grupo de mujeres que incluía a la comisaria y secretaria ejidal; este grupo sería el encargado de aprobar o rechazar la propuesta de la unidad CONSABIO; también fue el responsable de la selección del espacio. Se designó el espacio arriba del puente del Fraile para la implementación de la unidad CONSABIO porque tiene interés recreativo para la comunidad. En el caso del ejido Puerto de Nieto, el espacio ya había sido otorgado a la Dirección de Medio Ambiente y Ecología del municipio de San Miguel, así que una vez obtenido el permiso de participación se adaptó el lugar para poder llevar a cabo la unidad CONSABIO. Incorporar el conocimiento y la experiencia de la población es un elemento sustantivo para llevar a cabo procesos de gestión de cuencas (Cotler y Caire, 2009).

Después de haber obtenido el permiso por parte del ejido y sentarlo por escrito, se hicieron recorridos de campo en compañía de habitantes de los ejidos para seleccionar las unidades de escurrimiento, que procedieron a ser digitalizadas por medio del software *ArcGIS*.

- III. **Capacitación:** Para promover procesos de apropiación y planeación participativa del proyecto, se convocó a gente de la comunidad a participar en la implementación de las unidades CONSABIO, sin importar si eran ejidatarios o vecindados. El grupo de participantes reunido después de la convocatoria, fue llevado al CRCC de comunidad La Joya para recibir capacitación campesino-campesino por promotores de las comunidades La Joya y El Charape, con la finalidad de intercambiar saberes y experiencias.

La figura 4 muestra el proceso que se siguió para poder gestionar las unidades CONSABIO en los ejidos San Marcos de Begoña y Puerto de Nieto.

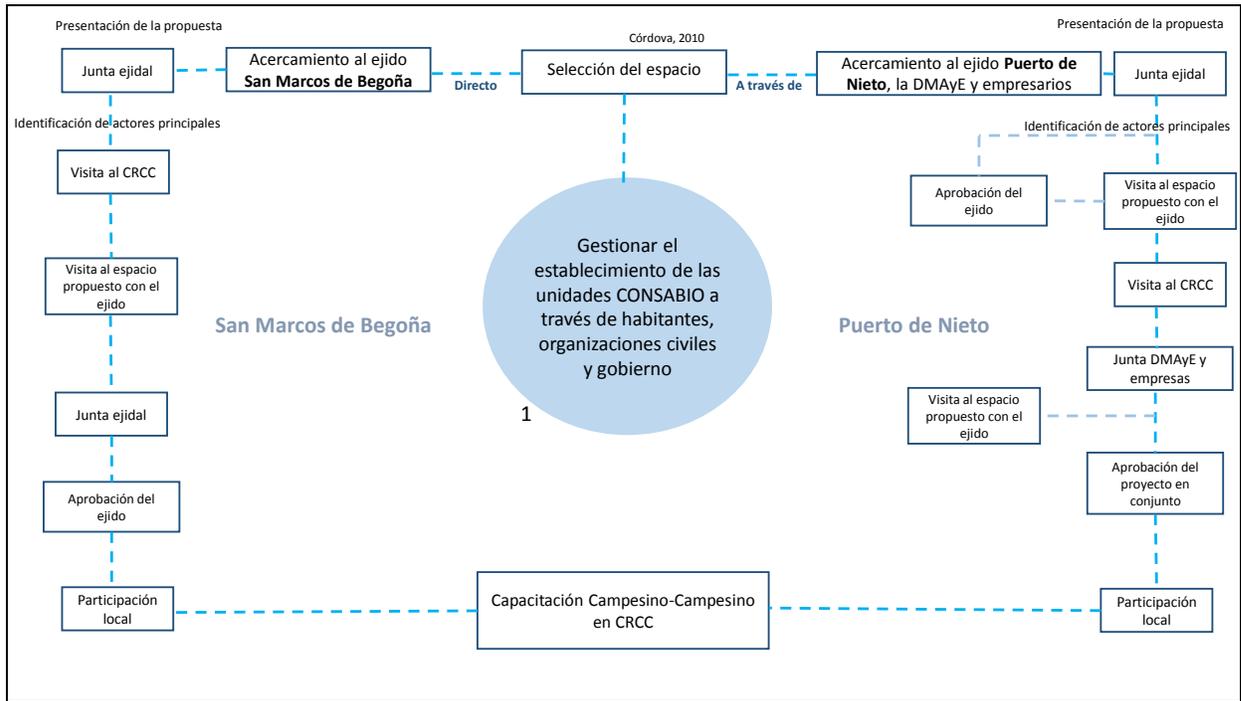


Figura 4. Proceso para gestionar las unidades CONSABIO

La unidad CONSABIO de San Marcos de Begoña, fue un proceso directo a través del ejido. En el caso de Puerto de Nieto, la intervención fue a través de la Dirección de Medio Ambiente y Ecología, junto con empresas del polígono empresarial. El ejido estuvo de acuerdo en la participación de la Maestría en el terreno donado a la DMA y E para un proyecto ecoturístico pero, se tuvo que proponer el proyecto ante las empresas para obtener la aprobación y poder manejar la unidad con un enfoque de cuenca y de manejo de unidades de escurrimiento.

En ambas gestiones se explicó que el proyecto era parte de un trabajo de tesis y se planteó la idea de que permitir llevar a cabo la unidad CONSABIO podría abrir oportunidad de que nuevos proyectos de tesis de generaciones futuras se llevaran a cabo ahí, lo cual podría beneficiar a su comunidad.

8.2 Segunda etapa: Establecimiento de las unidades CONSABIO

La planeación regional debe orientar acciones hacia territorios cuyas funciones son sustantivas para el mantenimiento de los servicios ambientales (Cotler y Claire, 2009). Para lograr un manejo adaptativo WOCAT (2011) propone que las medidas de manejo son especialmente importantes en tierras de pastoreo, como en el caso de las zonas de uso común ejidal de la subcuenca que tienen esta función, en este sentido la exclusión de ganado se

consideró como la intervención inicial para incrementar la cobertura vegetal. La cual se pretende mejore la estructura y calidad del suelo, se obtenga una mayor capacidad de absorción de agua por parte del suelo y disminuya la erosión.

Las unidades de conservación de suelo, agua y biodiversidad (CONSABIO) planteadas dentro de las zonas prioritarias a restaurar por su importancia en la recarga hídrica de la subcuenca Támara-Picachos (Córdova, 2010), son zonas dentro de unidades de escurrimiento. Las unidades CONSABIO están compuestas por tres unidades de escurrimiento pareadas, cada una con un tratamiento diferente para conocer los efectos que tienen las prácticas de conservación sobre el área determinada. Fueron determinadas de la siguiente manera: 1) Unidad de escurrimiento con exclusión de ganado; 2) Unidad de escurrimiento con exclusión de ganado más prácticas de conservación y; 3) Unidad de escurrimiento control, que no recibió ningún manejo (Figura 5); en el caso de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, por la extensión del área se obtuvo una cuarta unidad de escurrimiento que tuvo exclusión de ganado más prácticas de conservación.

Uno de los principales problemas en la subcuenca es el sobrepastoreo (UAQ-DMAE, 2011), al realizar la exclusión de ganado se permite que la vegetación crezca y proteja el suelo de la erosión hídrica, al evitar el impacto directo de las gotas de lluvia al suelo y por consiguiente que se lleve a cabo la compactación de los suelos y el arrastre de sedimentos hacia la parte baja de la cuenca (Hernández, 2008; Brooks *et al.*, 2003). Además las prácticas de conservación de suelos y agua para zonas áridas son inversiones en captura de agua, combinadas con un mejor manejo de la fertilidad del suelo, que deberían ser enfatizadas para incrementar la producción y reducir la demanda de agua para riego (WOCAT, 2011), lo cual es esencial para las necesidades de la subcuenca Támara-Picachos.

El establecimiento fue llevado a cabo por el grupo de habitantes convocado y capacitado en el Centro Regional de Capacitación en Cuencas, en la microcuenca La Joya donde la capacitación campesino-campesino fue la principal estrategia diseñada para la transferencia de conocimiento desde la unidad CONSABIO de la Joya hacia los habitantes de la subcuenca Támara-Picachos. Se ha considerado que la capacitación es necesaria para contar con un seguimiento objetivo, evaluar el impacto y mejorar la capacidad en el manejo del conocimiento, incluyendo la propagación y el uso de la información de los habitantes (WOCAT, 2011).

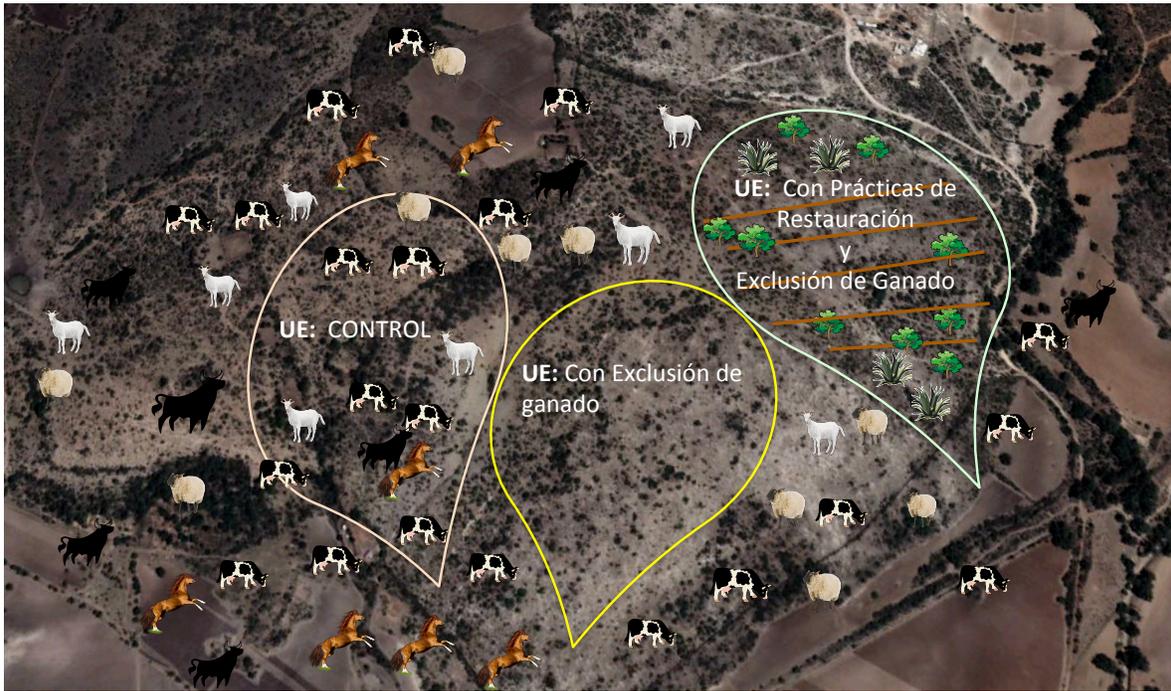


Figura 5. Ejemplo de una unidad CONSABIO

En este trabajo el financiamiento para llevar a cabo la capacitación, la compra de materiales y herramientas (malla, postas, palas, picos y otros) y el pago de jornales lo hizo la Fundación Gonzalo Río Arronte, a través del proyecto “Cuencas, Gente, Agua y Cambio Climático; Procesos de Adaptación en la Subcuenca Tábmbula-Picachos en el Alto Río Laja”. En el caso de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, también se contó con el financiamiento de las empresas del polígono empresarial, que fue utilizado para pagar el jornal de los participantes de las comunidades Puerto de Nieto y Guanajuatito.

En el caso de la unidad CONSABIO en San Marcos de Begoña la delimitación de la zona de estudio fue establecida por medio de recorridos en campo con la asesoría de la presidente del comisariado ejidal Doña Rosa, Don Abel (su esposo) y Raúl Pineda quienes fungieron como guías para identificar los puntos de salida y límites de las unidades de escurrimiento.

Una vez delimitada el área en campo, se tomaron puntos de referencia con el GPS y con ayuda del Modelo Digital de Elevaciones se digitalizó y el programa *ArcGis* se definieron las unidades de escurrimiento que conforman la unidad CONSABIO y el parteaguas de la misma. En el caso de la unidad CONSABIO de Puerto de Nieto la delimitación fue producto de un acuerdo entre la Dirección de Medio Ambiente y Ecología y la junta Ejidal, se otorgó el mapa de la unidad CONSABIO por medio de un estudio topográfico contratado y se delimitaron las unidades de escurrimiento por medio de *ArcGis*.

El proceso para llevar a cabo la implementación de las unidades CONSABIO se muestra

en la figura 6. En ambos casos se tuvo acompañamiento externo de especialistas para el establecimiento de las prácticas de conservación y la exclusión de ganado.

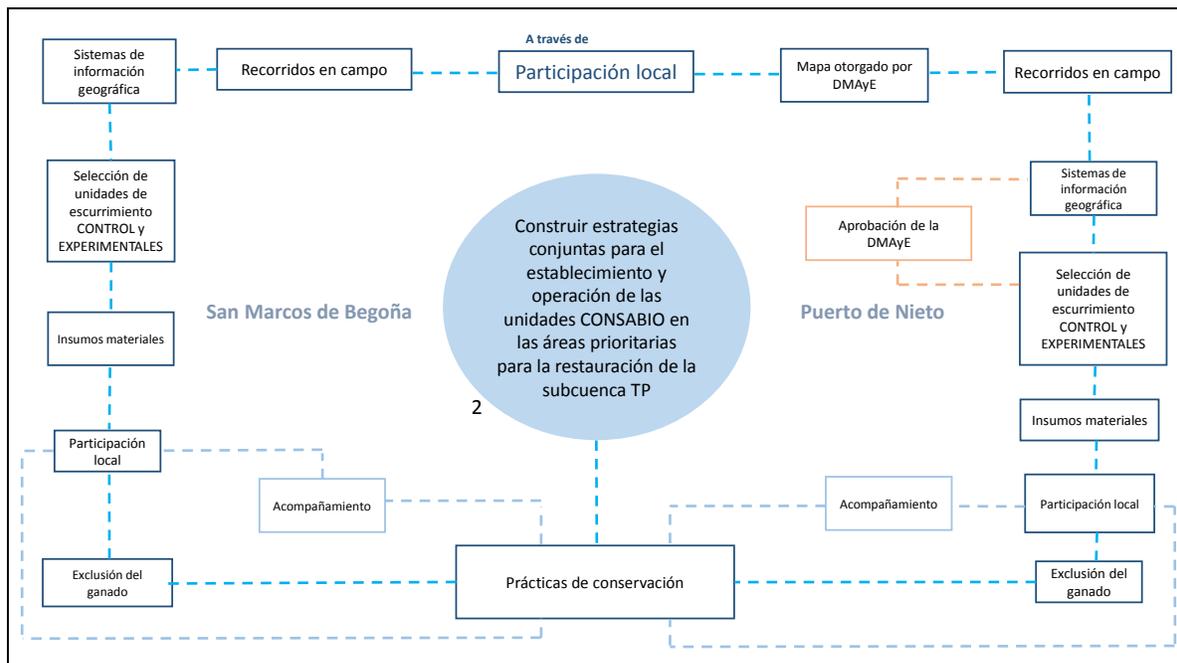


Figura 6. Proceso para la implementación de las unidades CONSABIO

8.3 Tercer etapa: el Monitoreo

Para llevar a cabo el tercer objetivo de la tesis, que es evaluar el desempeño de las unidades CONSABIO en función de distintos procesos de manejo, se hizo a través del monitoreo de los componentes agua, suelo y biodiversidad en cada una de las unidades de (figura 7).

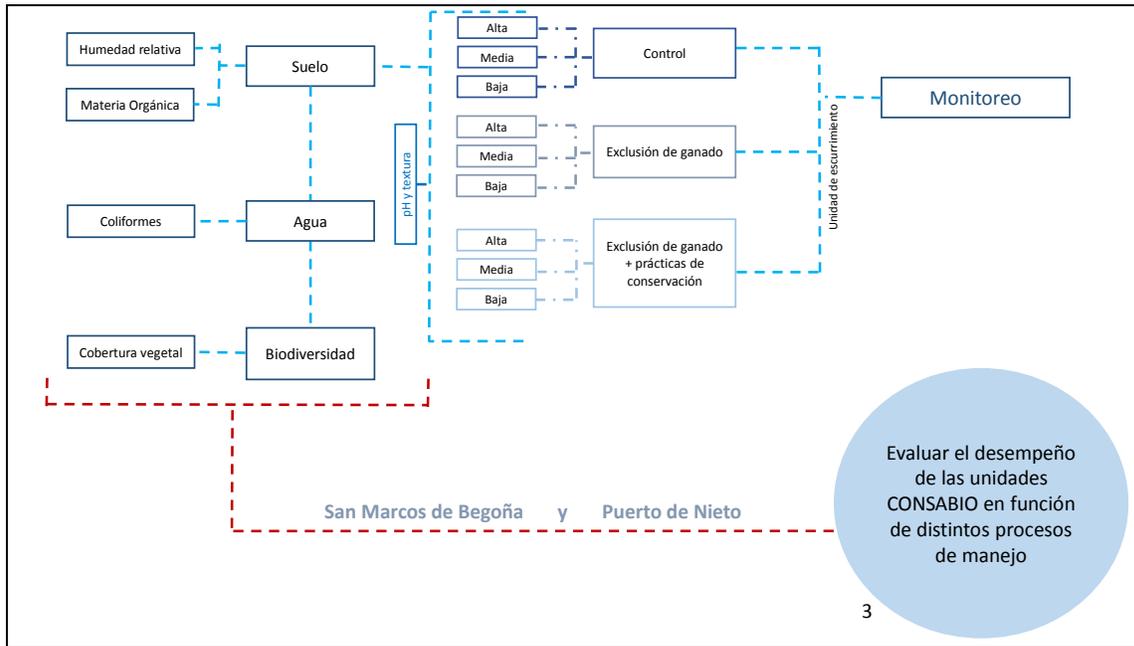


Figura 7. Esquema de la metodología llevada a cabo para el monitoreo de las unidades CONSABIO.

El monitoreo es la recolección sistemática y repetida de datos u observaciones sobre un área determinada con el fin de caracterizar el estado actual, y documentar los cambios que ocurren a lo largo del tiempo para analizar la información necesaria para entender la relación de dichos cambios con las presiones o factores que causan alteraciones en un sistema (Vos *et al.*, 2000). Los indicadores físicos del suelo, son aquellos que reflejan la manera en que se acepta, retiene y transmite agua a las plantas, la infiltración, así como las limitaciones en el crecimiento de las raíces, que además pueden estar relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. Los indicadores químicos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas.

En este trabajo se consideraron indicadores a diferentes escalas y niveles de organización para mejorar el entendimiento de la recuperación del ecosistema. El monitoreo de las dos unidades CONSABIO establecidas, incluyó los componentes biofísicos de las unidades de escurrimiento. Los cambios en el suelo requieren de un análisis previo de las condiciones de su textura y pH para posteriormente evaluar el comportamiento temporal y espacial de la humedad del suelo y la cantidad de materia orgánica. La cubierta vegetal se analizó mediante una aproximación comparativa de su estructura comunitaria y el porcentaje de cobertura. Las variaciones en el factor más móvil de las unidades de escurrimiento, el agua, se analizó en términos de cantidad (flujo de salida de cada UE) y la calidad (cantidad de

bacterias coliformes). Estos indicadores serán la línea base que determinarán el estado de la cuenca a partir del cual se evaluarán los resultados y avances de las acciones de manejo en un futuro.

Evaluación del suelo

El proceso de restauración de la calidad de suelo en ecosistemas degradados puede ser evaluada a partir de diferentes indicadores como: la profundidad del suelo, la textura, la capacidad de retención del agua, la pedregosidad, la porosidad y algunos indicadores de fertilidad del suelo como la materia orgánica, el pH y la disponibilidad de nutrientes. Como indicadores de restauración, decidimos utilizar textura, humedad del suelo, el pH y la materia orgánica de las unidades CONSABIO (Tabla. 1).

Tabla 1. Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos para monitorear los cambios que ocurren en el suelo (tomado y modificado de Bautista *et al*, 2004).

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo
Física	
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo
Capacidad de retención del agua	Relación con la retención de agua, transporte y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica
Químicas	
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión
pH	Define la actividad química y biológica
Biológicas	
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa

Potencial de hidrógeno del suelo

El pH es indicativo de propiedades físicas, químicas y biológicas como: materia orgánica, disponibilidad de nutrientes en el suelo, absorción de pesticidas, límites para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana. El pH es importante para el desarrollo de los microorganismos degradadores, su variación puede alterar la solubilización y absorción de contaminantes y iones, el rango más adecuado es entre 6 y 8. Las plantas solo pueden absorber los minerales disueltos en el agua, mientras que la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales. Se puede compensar los efectos negativos que tiene la acidez del suelo con un alto contenido de materia orgánica.

La determinación del pH fue dejando secar las muestras de suelo, macerarlas y pasarlas a través de un tamiz de 200 mallas, se agregó la muestra al vaso de precipitado (de 100ml) hasta llegar a la marca de 20ml gr, después se agregó 40 ml de agua destilada (medida 1 de muestra y 2 de agua), se agitó y se dejó reposar (Figura 8). La medida fue tomada con un pHmetro digital.



Figura 8. Determinación de pH de muestras de suelo en el laboratorio CALAGUAS-MAGIC

Tabla 2. Rangos de pH para suelos

Denominación	Rango de pH
Ultra ácido	< 3.5
Extremadamente ácido	3.5–4.4
Muy fuertemente ácido	4.5–5.0
Fuertemente ácido	5.1–5.5
Moderadamente ácido	5.6–6.0
Ligeramente ácido	6.1–6.5
Neutro	6.6–7.3
Ligeramente alcalino	7.4–7.8
Moderadamente alcalino	7.9–8.4

Fuertemente alcalino	8.5–9.0
Muy fuertemente alcalino	> 9.0

Clasificación de los rangos de pH del suelo (Soil Survey Staff, 1999)

Humedad del suelo

La humedad del suelo es la disponibilidad de agua o cantidad de líquido que puede ser aprovechada por los vegetales. Es un factor de influencia directa en el desarrollo de las plantas y depende de la capacidad de infiltración y de retención del suelo. La cantidad de agua que llega a infiltrarse en un suelo depende del grado de inclinación del terreno, su permeabilidad dada por la textura, estructura y contenido de materia orgánica. Los suelos muy compactados son poco permeables por el bajo índice de porosidad, en cambio, la existencia de cobertura vegetal aumenta la capacidad de infiltración del suelo además de protegerlo contra agentes erosivos como la lluvia y viento.

La humedad del suelo se estimó por medio de TDR 300 (Figura 9) que se encarga de la Medición de Contenido Volumétrico de agua o VWC por sus siglas en inglés. Es la relación del volumen de agua en un cierto volumen de suelo contra el volumen total de suelo.

Bajo saturación, el contenido volumétrico de agua (expresado en porcentaje) será igual al porcentaje de espacio de poros en el suelo. El TDR 300 genera y mide el regreso de una señal de alta energía que viaja hacia abajo y de regreso, por el suelo, a lo largo de una guía compuesta por las dos barras intercambiables de acero inoxidable y del cual su largo depende del terreno donde se tomen las muestras. Tiene una precisión de $\pm 3\%$ de contenido volumétrico de agua.



Figura 9. Aparato medidor de humedad relativa del suelo

Antes de cada muestreo el fieldscout tiene que ser calibrado haciendo una primera medición en campo con agua destilada y después en suelo recién húmedo. En la unidad

CONSABIO del ejido San Marcos de Begoña en el Puente del Fraile, el muestreo de porcentaje de humedad se tomó durante los meses de octubre y diciembre en el 2017, febrero, abril, junio y agosto del 2018. En el caso de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, el muestreo fue realizado en los meses de febrero, abril, junio y agosto. En ambos casos, las mediciones se realizaron en cada unidad de escurrimiento (control, exclusión de ganado, exclusión más prácticas de conservación) de manera aleatoria, procurando ir por la zona de escurrimiento y cubriendo las partes altas, medias y bajas de cada unidad, geo-referenciando cada punto muestreado (Figura 10). Se utilizaron las barras intercambiables de acero inoxidable más cortas y gruesas por la dificultad de inserción en el terreno.



Figura 10. Documentación del muestreo con el medidor de humedad de suelo, en las unidades CONSABIO.

Es importante mencionar los muestreos no se hicieron exactamente en los mismos puntos, si no que se tomaron en lugares dentro de un rango de 1m cuadrado.

Textura del suelo

La textura es la proporción relativa en la que se encuentra en una masa de suelo la arena, el limo y la arcilla (Peralta, 1976) y que van a depender de la naturaleza de la roca madre y de los procesos de evolución del suelo. En función de su tamaño la distribución de la textura se clasifica en: arena, arena franca, franco arenoso, franco, franco limoso, limo, franco areno arcilloso, arcillo limoso y arcilla.

La textura es la característica edáfica directamente relacionada con la humedad del suelo. Los sustratos de textura arcillosa tienen mayor capacidad de retención de agua que los de textura franca, siendo las texturas arenosas las que menor capacidad de retención tienen.

La gran mayoría de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de los suelos están influenciadas por la granulometría: estructura, color consistencia, porosidad aireación, permeabilidad, retención de agua, lavado, capacidad de cambio y reserva de nutrientes, entre otras. La textura permite inferir parámetros directamente relacionados con el uso y manejo del suelo como: la capacidad de retención del agua útil, susceptibilidad de formación de costras superficiales y la facilidad con la que circula el agua.

Los suelos arenosos son inertes desde el punto de vista químico, carecen de propiedades coloidales y no proporcionan nutrientes. En cuanto a las propiedades físicas presentan mala estructuración, buena aireación, muy alta permeabilidad y nula retención de agua. Por el contrario los suelos arcillosos son muy activos desde el punto de vista químico, muy ricos en nutrientes, retienen mucha agua, son bien estructurados, pero son impermeables y de fácil compactación. Los suelos limosos tienen nula estructuración, sin propiedades coloidales, son impermeables y con mala aireación. Por último, los suelos francos son los equilibrados texturalmente. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Rucks y cols., 2004).

Se determinó la textura del suelo en las unidades CONSABIO por medio de método del hidrómetro de Bouyoucos, quien determinó que luego de transcurrido un intervalo de 40 segundos la arena se deposita y no interfiere en la determinación de la cantidad de limo y arcilla en suspensión (figura 11).

$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{(d \text{ (gr/lit)} + Fc) \times 100}{m} =$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{(d \text{ (gr/lit)} + Fc) \times 100}{m} =$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\text{Porcentaje de Arena} + \text{Porcentaje de Arcilla})$$



Figura 11. Determinación de la textura del suelo con hidrómetro de Bouyoucos en el laboratorio CALAGUAS-MAGIC)

Contenido de Materia Orgánica del suelo

La materia orgánica es un constituyente vital del suelo por ser fuente de nutrientes y agente de agregación que reduce la erosión del suelo e incrementa la retención de la humedad. Además de ser un indicador de la fertilidad del suelo, mejora la estructura edáfica, la cual, a su vez, influye en la formación de micro y macroagregados, la continuidad de poros hacia la superficie y la infiltración de agua a todo el perfil. Mejora las condiciones de los suelos minerales, en los arenosos incrementa la capacidad de retención de agua y de nutrientes, mientras que en los arcillosos los hace menos pesados y mejora su labranza (Edward, 2000). La falta de materia orgánica y organismos adecuados condiciona una agregación mínima de las partículas y una carencia estructural del material, lo cual influye negativamente en la capacidad de infiltración y retención del agua del suelo. Un aporte excesivo dificulta la descomposición y mineralización de la materia orgánica del suelo, origina condiciones anaeróbicas que retrasan y perjudican el desarrollo de los elementos vegetales y provoca la aparición de sustancias tóxicas en el medio.

Los compuestos orgánicos son todas las especies químicas que en su composición tienen el elemento carbono, y usualmente elementos como el oxígeno, hidrógeno, fósforo, cloro, yodo y nitrógeno. La manera de estimar el contenido de materia orgánica en laboratorio es a través del análisis del carbono, que es un elemento que es constituyente de todas las sustancias orgánicas en el suelo. El carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica (Martínez *et al.*, 2008). Conociendo la cantidad de carbono orgánico presente en una muestra de suelo se puede estimar indirectamente cuál es su porcentaje de materia orgánica.

El carbono orgánico se determinó en el laboratorio CALAGUAS-MAGIC por el método de pérdidas de peso por ignición, éste método se basa en la oxidación de carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado (figura 12).

$$\text{COT (Carbono Orgánico Total)} = \text{CT (Carbono Total)} - \text{CIT (Carbono Inorgánico Total)}$$

El porcentaje de materia orgánica se estima a través de la ecuación: % materia orgánica = % Carbono orgánico x 1.724

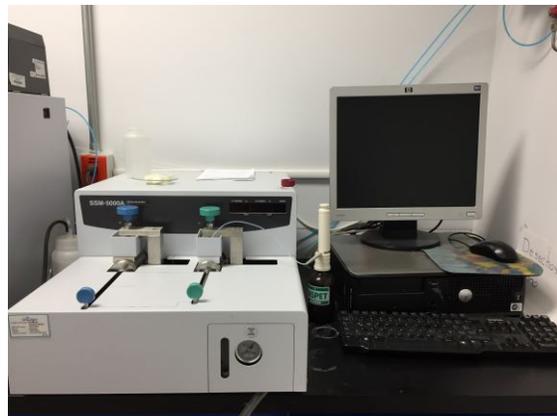


Figura 12. Medición de carbono total de las muestras de suelo en el laboratorio CALAGUASS-MAGIC.

Evaluación de Agua

Calidad del agua

La calidad del agua se define como el conjunto de caracteres físicos químicos y biológicos que deben satisfacerse con el fin de que el agua que se suministra sea segura para el fin destinado. De acuerdo al Manual de Manejo de Cuencas (2004) el monitoreo de agua se puede realizar desde cuatro parámetros fundamentales: 1) Calidad bacteriológica de agua; 2) Calidad química del agua, 3) Calidad física del agua y 4) La disponibilidad del agua (cantidad).

Contenido de Coliformes Fecales

La calidad bacteriológica de agua fue utilizada como parámetro de calidad de agua, los índices utilizados generalmente determinan si el agua es de suficiente calidad para el consumo humano, recreación y el riego de cultivos que tengan contacto directo con el agua, por ejemplo: las partes que serán cosechadas y consumidas. La presencia, contenido y cantidad de coliformes fecales, esta relacionada directamente con las condiciones físicas de las Cuencas y la intervención del hombre en las mismas. En la tabla 3 se muestran los criterios ecológicos de la calidad de agua de acuerdo al número más probable (NMP) de organismos coliformes totales/100mL de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 3. Criterios ecológicos de la Calidad del Agua

Uso	Coliformes totales /100mL
Abastecimiento para potabilización de agua	1000
Riego agrícola	1000
Agua dulce	<200
Agua marina	<200
Recreativo en contacto directo	<200
Agua potable	<2

Las muestras se tomaron en los puntos de salida de cada unidad de escurrimiento, durante la época de lluvia. La colecta fue realizada con frascos de boca ancha estériles y desechables con capacidad de 100 ml, cubre bocas y guantes estériles. Se sumergió el frasco en el agua contracorriente, con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30cm, se destapará y se le permitirá el llenado sin tocar la capa superficial o del fondo, para evitar el sedimento o la nata. Sin llenar totalmente el frasco para facilitar la homogenización en el momento de iniciar los análisis pero superando los 100ml. Las muestras fueron rotuladas y guardadas en una hielera con bolsas refrigerantes para transportar a una temperatura de 4º C. En el laboratorio se procedió a hacer una dilución de 5ml de muestra sobre 95ml de agua destilada, ya que en la primera colecta y siembra de cultivos las colonias fueron tantas que impidió su contabilización (Figura 13).

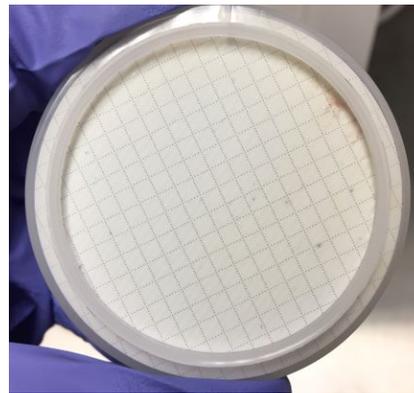
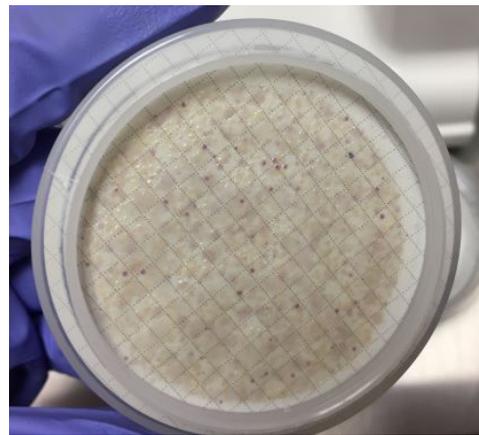
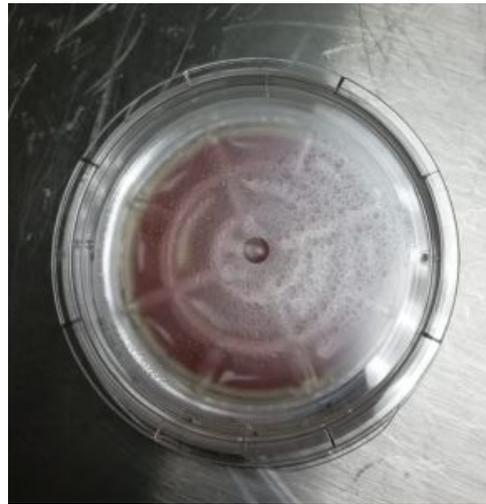


Figura 13. Sembrado, cultivos y lectura de muestras de agua para coliformes fecales y totales, en el laboratorio de CALAGUAS-MAGIC.

En el caso de la unidad CONSABIO en Puerto de Nieto, no se pudieron obtener muestras de agua para analizar, a pesar de que son cuatro unidades de escurrimiento, su morfología no permite la formación de escurrimientos para la toma de la muestra, solo se

podieron tomar en la unidad de escurrimiento control y la que está a lado con exclusión de ganado y prácticas de conservación.

Cantidad de agua

Flujo por medio de un aforador Parshall tipo H

Los aforadores Parshall son instrumentos calibrados para la medida del caudal en cauces abiertos, a través de él se cuantifican consumos, se evalúa la disponibilidad del recurso hídrico y se planifica la gestión de cuencas. Se describe técnicamente como un aforador de profundidad crítica. El Dr. Alfredo Amador aportó al proyecto, un aforador parshall construido de fibra de vidrio de tres pulgadas de ancho en la garganta; para este tamaño de aforador, en la norma ASTM se indica un rango de funcionamiento desde 0.85 hasta 53.80 l/s. Con las medidas y el aforador como ejemplo, se mandó a hacer un segundo aforador del mismo material. Estos aforadores fueron instalados para medir el caudal en época de lluvia durante los meses de Junio y Julio en cada salida de las unidades de escurrimiento control y experimental de San Marcos de Begoña. Para la unidad CONSABIO de Puerto de Nieto se realizó lo mismo durante los meses de agosto y septiembre.

Existe una pequeña pérdida de carga a través del aforador, que deja pasar fácilmente sedimentos o desechos, que no necesita condiciones especiales de acceso o una poza de amortiguación. En consecuencia, es adecuado para la medición del caudal en los canales de riego o en las corrientes naturales con una pendiente suave. El agua fluye a través de la escotadura rápidamente de manera que no se produce depósito de sedimentos en el aforador. Por otro lado, el diseño de salida con una escotadura con pendiente del fondo hacia aguas arriba no queda obstruida por residuos flotantes. Si en la escotadura se retiene algún residuo, el agua se remansa hasta que la obstrucción es arrastrada por la corriente por encima de la escotadura.

El caudal (Q), se define como el volumen de agua (V) que pasa por una sección en un determinado tiempo (t), es decir: $Q= V/t$

La ecuación de descarga es de la forma:

$$Q = K h_a^u$$

Donde:

K = coeficiente que depende del ancho de la garganta

u = coeficiente que varía entre 1,522 y 1,60.

h_a = altura piezométrica en la sección de control A

Para la instalación del aforador parshall se adecuó el terreno con palas, picos y un nivel ya que la boca del parshall que contiene la ranura para la toma de mediciones, necesita estar completamente a nivel para poder encauzar el flujo y no afectar las lecturas del levelogger.

La colocación de los foradores en la unidad CONSABIO San Marcos de Begoña fue en junio del 2018, se seleccionaron las unidades de escurrimiento control y la de manejo con obras para su instalación. Se colocaron a nivel en el punto final del escurrimiento, para darle dirección al flujo de agua se colocaron piedras como guía a los lados del parshall. Dentro del tubo de PVC que esta a un lado de la ranura de entrada se colocó un medidor de flujo (levelogger), como solo se contaba con un levelogger se tuvo que hacer por semana el muestreo, aunque los aforadores fueron colocados el mismo día (Figura 14).



b)

Figura 14. a) Aforador Parshall en punto de salida de la unidad con manejo y obras, ejido San Marcos de Begoña. b) Aforador Parshall en punto de salida de la unidad de escurrimiento control del ejido San Marcos de Begoña.

Para el caso de la unidad CONSABIO en Puerto de Nieto, se hizo un recorrido con el Dr. Alfredo Amador para reconocer posibles sitios para su colocación. Por la extensión de la unidad CONSABIO y la dificultad del terreno en cuanto a pendiente y bifurcación de los escurrimientos se seleccionaron 4 posibles sitios para la colocación de los parshall en la parte media de las unidades de escurrimiento, no en los puntos de salida. Fueron colocados en el mes de agosto dentro de la misma unidad de escurrimiento con manejo y obras de conservación porque las demás UE no tenían flujos de agua significativos. Se colocaron medidores de nivel en cada aforador al mismo tiempo, ya que para este tiempo si se contaba con la instrumentación necesaria (Fig. 15 y 16).



Figura 15. a) Aforador en punto de salida de la unidad de escurrimiento con manejo y obras de ejido Puerto de Nieto. b) Aforador en punto de salida de escurrimiento en la unidad con manejo y obras de ejido Puerto de Nieto.



Figura 16. Modelo de medidor de nivel utilizado en las mediciones de caudal.

Evaluación de Biodiversidad

Índices de diversidad

Índice de Simpson (D_{Si})

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

 p_i = abundancia proporcional de la i ésima especie; representa la probabilidad de que un individuo de la especie i esté presente en la muestra, siendo entonces la sumatoria de p_i igual a 1.

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

 n_i = número de individuos de la especie i . N = número total de individuos para todas las S especies en la comunidad.

Cuando todos los individuos pertenecen a la misma especie, el índice es cero, significa que la diversidad es nula.

El índice de Shannon-Wiener, H' . Mide el contenido de información por individuo en muestras obtenidas al azar provenientes de una comunidad estensa de la que se conoce el número total de especies S . También puede considerarse a la diversidad como una medida de la incertidumbre para predecir a qué especie pertencerá un individuo elegido al azar de una muestra S especies y N individuos. Por lo tanto, $H' = 0$ cuando la muestra contenga solo una especie y, H' será máxima cuando todas las especies S estén representadas por el mismo número de individuos n_i , es decir, que la comunidad tenga una distribución de abundancias perfectamente equitativamente.

$$H' = -\sum P_i * \ln P_i$$

Donde:

H = Índice de Shannon-Wiener

P_i = Abundancia relativa

\ln = Logaritmo natural

Las especies utilizadas para correr los datos de diversidad biológica para las unidades CONSABIO San Marcos de Begoña y Puerto de Nieto, fueron los siguientes. *Ipomoea longifolia*, *Sedum sp*, *Jatropha dioica*, *Acacia schaffneri*, *Mimosa sp*, *Prosopis leavigata*, *Burcera sp*, *Ferocactus histrix*, *Mammillaria histrix*, *Mammillaria rubrograndis*, *Mammillaria spinosissima*, *Mammillaria albiflora*, *Astrophytum ornatum*, *Pachycereus marginatus*, *Echinocactus grusonii*, *Cylindropuntia impricata*, *Opuntia sp*, *Ambrosia cordifolia*, *Myrtillocactus geometrizans* y *Baccharis salicifolia*.

Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal provee distintos servicios ambientales, destacando la protección de la cuenca y la regulación del ciclo hidrológico. Controla la escorrentía superficial y la pérdida de suelo al disminuir el impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie evitando el encostramiento de ésta, al promover la infiltración disminuye los caudales de precipitación susceptibles de golpear la superficie (González, 1998). Además, el incremento de la infiltración puede ayudar a mejorar la recarga de los acuíferos y al mantenimiento del caudal de los ríos, sobre todo en época de estiaje (Marchamalo, 2004).

El indicador de cobertura vegetal, representa uno de los parámetros más importantes para la captura de agua y la conservación de suelo. Cada estrato formado por las copas de árboles o arbustos forma una capa parecida a una esponja que recibe el agua de la lluvia. La cobertura vegetal es la distribución y el arreglo de plantas leñosas en algún sitio en forma horizontal, formada por las copas de los árboles y también utilizamos el porcentaje de pasto en el suelo. Por esta razón la suma de porcentajes de cobertura es casi siempre mayor al 100% del área en donde se encuentran estas plantas.

Para medir el porcentaje de cobertura vegetal se realizaron transectos de tipo Gentry de 2x50 metros por cada zona altitudinal de las unidades de escurrimiento en sitios mejor conservados. Se realizaron dos repeticiones en cada zona altitudinal por unidad de escurrimiento en la unidad CONSABIO San Marcos de Begoña, en el caso de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto se realizaron cuatro repeticiones por zona altitudinal en cada unidad de escurrimiento. En todos los transectos se midieron dos diámetros para cada planta, uno en dirección norte-sur y otro en dirección este-oeste.

$$R = (r_1 + r_2) / 2 \quad ACI = \pi r^2$$

$$AC = \sum ACI_i$$

$i \rightarrow n$

Donde:

r=Radio

R=Radio promedio

ACI=Área de Cobertura por individuo

AC=Área de Cobertura por Transecto

Debido a que los transectos se hicieron de 2x50m=100m², el porcentaje de cobertura es igual al área de cobertura por sitio muestreado.

9. RESULTADOS

9.1 La Gestión de las unidades CONSABIO

Como resultado de la gestión, se concretaron dos unidades CONSABIO, una dentro de la microcuenca San Marcos de Begoña, ubicada en el Puente del Fraile que es zona de uso común del ejido San Marcos de Begoña. La segunda unidad se encuentra dentro de la microcuenca el Huizachal, ubicada en la Loma de Dimas que pertenece al ejido de Puerto de Nieto y que, de igual manera, es utilizado como agostadero. Para la gestión de las unidades los actores participaron en el financiamiento del proyecto, la generación de conocimiento y la implementación y toma de decisiones, estos factores son esenciales para gestionar una unidad CONSABIO (Figura 3, en métodos de gestión). La gestión de ambas unidades comenzó en abril del 2017.

Unidad CONSABIO en Ejido San Marcos de Begoña

La gestión en el ejido San Marcos de Begoña (SMB) se inició con un acercamiento a la comunidad donde se habían realizado trabajos previos de restauración, con un exalumno de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. En la primera reunión ejidal a la que se asistió se presentó la propuesta del proyecto “Cuencas, Gente, Agua y Cambio Climático; Procesos de Adaptación en la Subcuenca Támbula-Picachos en el Alto Río Laja”, ante la junta ejidal, con énfasis en las unidades CONSABIO y se seleccionaron cuatro actores principales para llevar al Centro Regional de Capacitación en Cuencas para que pudieran conocer la propuesta y magnitud del trabajo (Figura 17). El grupo de actores principal fue conformado por dos ejidatarias, la presidente y secretaria del comisariado ejidal, su papel era conocer la propuesta y aceptarla o rechazarla. Su participación fue fundamental para la aceptación del proyecto, porque tuvieron labor de convencimiento y participación en las juntas ejidales posteriores.



Figura 17. Junta ejidal en San Marcos de Begoña y Salida a la Joya con el grupo de señoras

Posterior a la visita al CRCC con el grupo de ejidatarias, se hicieron recorridos de campo dentro del ejido para reconocer posibles espacios para establecer la unidad CONSABIO. De acuerdo a lo observado en La Joya, ellas identificaron espacios que pudieran ser implementados como unidades CONSABIO pero, con especial interés por parte del proyecto en establecerla dentro de las áreas prioritarias para rehabilitar (Córdova, 2010). El Puente del Fraile fue el sitio seleccionado por el grupo de ejidatarias y avalado por el ejido. Éste espacio tiene un propósito recreativo, ya que, en época de lluvias es utilizado como sitio de convivencia familiar, actualmente no recibe ningún cuidado para ello, sino que es utilizado como zona de agostadero. Las zonas de agostadero se consideran como prioridad por ser susceptibles a degradación e importantes para el incremento de la producción y provisión de servicios ecosistémicos (WOCAT, 2011).

Una vez identificado el espacio para establecer la unidad CONSABIO se tuvieron dos reuniones ejidales para solicitar y obtener el permiso, sin exceder el lapso de un mes. A pesar de que la convocatoria a las reuniones ejidales fue con una semana de anticipación y por medio perifoneo, que fue identificado por los ejidatarios como el método más efectivo para informar a la comunidad, la participación de los ejidatarios de San Marcos de Begoña fue limitada. Son alrededor de 76 ejidatarios, de los cuales asistieron 13 por cada junta ejidal, así que se decidió dentro de las mismas juntas y en acuerdo unánime que en la tercer junta ejidal se determinaría la participación del ejido en el proyecto y el establecimiento de las unidades CONSABIO. Fue así como en la tercer junta ejidal, con una participación de 14 ejidatarios se obtuvo el permiso por escrito el préstamo de 5 ha para cercar y excluir el ganado durante 3 años.

Analizando los tres factores de gestión (financiamiento, conocimiento y participación) de la unidad CONSABIO en SMB, se muestra una relativa facilidad para el establecimiento de la unidad en el sitio Puente del Fraile. En relación al **financiamiento**, éste estuvo a cargo de la fundación Gonzalo Río Arronte como parte del proyecto “Cuencas, gente, agua y cambio climático; procesos de adaptación en la subcuenca Támbula-Picachos en el Alto Río Laja”. El **conocimiento**: Fue desarrollado por la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro y por el Centro Regional de Capacitación en Cuencas, además de incorporar opiniones de los habitantes. La **participación**: fue llevada a cabo por el grupo de ejidatarios que visitaron el CRCC y pudieron transmitir su experiencia a la asamblea ejidal; como tomadores de decisiones, la secretaria ejidal Doña Rosa Sánchez fue un actor importante en la delimitación de la zona y la labor de convencimiento ante la junta ejidal y,

por último, la asociación civil El Maíz Más pequeño como administrador del recurso económico y acompañamiento durante la gestión (Figura 18).



Figura 18. Participación de los actores dentro de los factores para la gestión de la unidad CONSABIO en Puente del Fraile

Unidad CONSABIO en Ejido Puerto de Nieto

La gestión de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto fue resultado del acercamiento entre la Dirección de Medio Ambiente y Ecología (DMAyE) y el proyecto “Cuencas, Gente, Agua y Cambio Climático; Procesos de Adaptación en la Subcuenca Támbula-Picachos en el Alto Río Laja”. En abril del 2017, se hizo el primer acercamiento y se realizaron juntas continuas para presentarles el proyecto y unir esfuerzos en gestionar unidades CONSABIO dentro de la subcuenca Támbula-Picachos.

En octubre del 2017 el Ejido de Puerto de Nieto cedió a la Dirección de Medio Ambiente y Ecología (DMAyE) 42 ha para implementar un proyecto ecoturístico y de producción de harina de mezquite. En noviembre del mismo año, se asistió a una asamblea Ejidal de Puerto de Nieto (PN) para presentar el proyecto “Cuencas, Gente, Agua y Cambio Climático; Procesos de Adaptación en la Subcuenca Támbula-Picachos en el Alto Río Laja” y la propuesta de la unidad CONSABIO (Fig. 19, a). El ejido aceptó la participación del proyecto dentro de la unidad donada a la DMAyE, así que se realizó un segundo acercamiento ante la Dirección de Ecología para plantear la posibilidad de trabajar en conjunto en el proyecto ecoturístico con una perspectiva de gestión integrada de cuencas e implementar una unidad CONSABIO.

En una junta realizada por la DMAyE con ejecutivos de empresas del polígono empresarial de San Miguel de Allende, quienes aportarían el capital económico para llevarlo a

cabo, se presentó una propuesta de desarrollo integral del predio y se nos hizo la invitación a presentar nuestra propuesta de manejo de la unidad con perspectiva de gestión de cuenca y plantear el establecimiento de las unidades CONSABIO (Fig. 19, b). El proyecto de manejo a través de unidades CONSABIO fue aceptado por los empresarios, así que se hicieron visitas conjuntas con la DMAE y el clúster de empresas a la Loma de Dimas para que conocieran la situación actual del espacio y pudieran apreciar la problemática de degradación de suelo que se presenta. Las salidas de campo, tuvieron acompañamiento por parte del delegado de Puerto de Nieto, Don Caín, quien fungió durante el proyecto como interlocutor del ejido, habitantes de Puerto de Nieto y Guanajuatito.

Como parte de la gestión de las unidades CONSABIO, se convocaron reuniones con habitantes de los ejidos Puerto de Nieto y Guanajuatito en donde se les invitó a participar en el establecimiento de la unidad CONSABIO y a capacitarse en el CRCC (Fig. 19, b).

a)



b)





c)

Figura 19. a) Reunión ejidal en Puerto de Nieto, b) Junta informativa e invitación al proyecto a las comunidades de Guanajuatito y Puerto de Nieto y c) Reunión en DMAE con empresarios

El **financiamiento**: principalmente estuvo a cargo del clúster de 12 empresas del polígono empresarial de San Miguel de Allende y con la participación de la fundación Gonzalo Río Arronte aunque el aporte de ésta última fue menor. El **conocimiento**: Fue otorgado por la parte de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro y por el Centro Regional de Capacitación en Cuencas. La **participación**: fue llevada a cabo por la Dirección de Medio Ambiente y Ecología como facilitador de la gestión entre empresas y ejido de Puerto de Nieto; Don Caín, delegado del ejido Puerto de Nieto y habitante de Guanajuatito quién fungió como intermediario entre el ejido y gobierno; la asamblea ejidal como prestadora de las 42 ha en la Loma de Dimas; la AC El Maíz Más Pequeño como administrador del recurso económico de la Fundación Gonzalo Río Arronte y de Asesores en Conservación y Desarrollo A.C. para la administración del recurso económico brindado por el clúster empresarial (Figura 20).



**Figura 20. Participación de los actores dentro de los factores para la gestión de la unidad
CONSABIO en Loma de Dimas**

Comparación de la gestión de las dos Unidades CONSABIO

La principal diferencia en los procesos de gestión entre las dos unidades establecidas fue el tiempo de duración de las mismas, desde su selección hasta el monitoreo (Figura 21). Los factores que influyeron en la diferencia de tiempos son:

1. Cantidad de actores involucrados: En la gestión de la unidad CONSABIO Puente del Fraile, en Ejido SMB existió una participación directa con los dueños y tomadores de decisiones sobre el uso de las tierras. En el caso de la unidad CONSABIO Loma de Dimas, del Ejido PN existió la intervención de cinco actores (DMAE, Ejidatarios, El Maíz Más Pequeño AC, Clúster de empresas y Maestría en GIC) lo que significó mayor esfuerzo para llegar a acuerdos consensados.
2. Papel de los actores como tomadores de decisiones: En SMB la gestión fue por medio de la asamblea ejidal), al ser ellos dueños de la tierra y los únicos tomadores de decisiones, los tiempos para llegar a acuerdos fue significativamente más corto en comparación con la unidad CONSABIO en PN. En donde los ejidatarios, dueños de la tierra ya habían acordado donar 42 ha para hacer un proyecto de rehabilitación; la DMAE y el clúster de empresarios también fungían un papel como tomadores de decisiones prolongaron los tiempos para llegar a acuerdos.
3. Tiempos administrativos de los actores: En el caso de la unidad CONSABIO en la Loma de Dimas, la al estar involucrados actores como la Dirección de Medio Ambiente y Ecología y el clúster del polígono empresarial, se tuvieron que cumplir con los tiempos administrativos que retrasaron el inicio de actividades. Aunado a eso se presentaron inconvenientes con la asamblea ejidal, ya que hubo cambio de ésta durante el proceso de la gestión e implementación de la unidad.
4. Eficiencia de la comunicación: Fue compleja, entre gobierno, empresas, ejido y academia, se tuvo una deficiente comunicación para llegar a acuerdos que coincidieran con los tiempos administrativos de la Dirección de Medio Ambiente y Ecología, quién tenía la presión de comenzar trabajos de establecimiento pero, que no podían hacerlo sin la aportación económica de las empresas y éstas tenían que esperar a que la junta directiva diera luz verde a la participación en el proyecto de rehabilitación de la Loma de Dimas por medio de unidades de escurrimiento. Además de que la comunicación fue sectorial y no en conjunto, las conversaciones acerca del

trabajo en Loma de Dimas fue: DMAE -Ejido, Ejido-MAGIC, MAGIC- DMAE y DMAE - Empresarios, lo que dificultó la toma de decisiones y la certeza de los acuerdos.

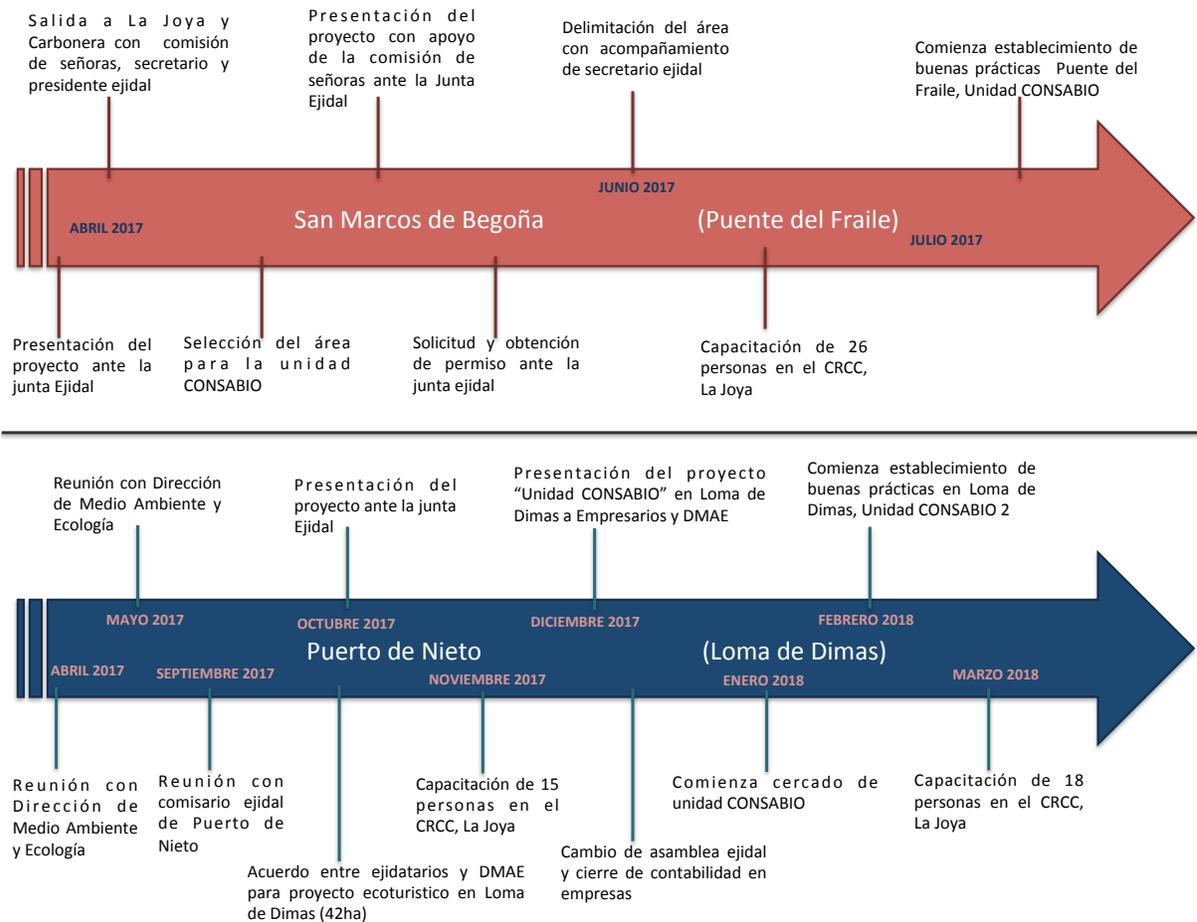


Figura 21. Línea de tiempo para la gestión de las unidades CONSABIO Puente del Fraile y Loma de Dimas

Se identificaron los actores para la gestión de las unidades, su tipología y la función que cada uno cumplió durante el proceso (Tabla. 4). El Centro Regional de Capacitación en Cuencas (CRCC) tiene una asociación civil pero también representa a la academia por ser el lugar donde la gente recibe capacitación campesino-campesino y porque la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro mantiene este sitio, donde se propuso por primera vez la unidad CONSABIO, mediante el desarrollo de investigación de su funcionamiento y conformación. La asamblea Ejidal de San Marcos de Begoña y Puerto de Nieto son los principales representantes de las comunidades, en ambos casos fueron tomadores de decisiones e informantes clave para la MAGIC y la DMAyE. La Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA) es una financiadora del proyecto "Cuencas, Gente,

Agua y Cambio Climático” y el Maíz Más Pequeño A.C. es la encargada de administrar el recurso financiero brindado por ellos, en el caso de la gestión de la unidad CONSABIO instalada en SMB fue la única fuente de financiamiento para su gestión e implementación. En el caso de la unidad CONSABIO de Loma de Dimas, la participación económica de la FGRA fue menor a la que tuvo el clúster de empresas. Debido a la participación del clúster empresarial como parte de su pago por daños ambientales, la DMAE decidió contratar a la asociación civil Asesores en Conservación y Desarrollo como administradora del recurso financiero de las empresas.

En ambos procesos de gestión se observa un actor que destacó por su participación proactiva como intermediario o funcionario público, en SMB fue Doña Rosa Sánchez, secretaria Ejidal representante del Ejido quien fungió como intermediaria entre la academia y el ejido, sin su colaboración hubiera sido difícil la aceptación del proyecto ante la comunidad, además de haber sido acompañante en el proceso de establecimiento y delimitación de las unidades de escurrimiento. El segundo actor que tuvo una significativa participación en la gestión fue la de Don Caín, delegado de PN quién como funcionario público tuvo mucho interés en que el proyecto se desarrollara en su comunidad, ayudando a la gestión con el gobierno y los ejidatarios.

La Maestría en Gestión Integrada de Cuencas proporcionó la base científica para la gestión de las unidades CONSABIO, informó a los actores acerca de la importancia de llevarlas a cabo en la subcuenca Tábula-Picachos y participó en la gestión, establecimiento, monitoreo y evaluación de las dos unidades.

Tabla 4. Tipología de actores y su función dentro de la gestión de las unidades CONSABIO

Actor	Tipo	Función
El Maíz Más Pequeño A.C.	Asociación Civil	Administración del recurso financiero aportado por la Fundación Gonzalo Río Arronte Gestión Director del proyecto
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (UAQ)	Academia	Base científica Gestión Asesoramiento
Centro Regional de Capacitación en Cuencas A.C.	Asociación Civil y Academia	Sitio demostrativo de unidad CONSABIO Capacitación Campesino-Campesino
Fundación Gonzalo Río Arronte	Fundación	Financiamiento del proyecto “Cuencas, gente, agua y cambio climático; procesos de adaptación en la subcuenca Támbula-Picachos en el Alto Río Laja”
Asamblea Ejidal	Representantes de la comunidad	Tomadores de decisiones Informantes Canal de comunicación entre ejidatarios y gobierno
Ejidatarios	Habitantes con voto	Dueños de la Tierra Tomadores de decisiones
Secretaría Ejidal Representante del Ejido San Marcos de Begoña	Intermediario	Asesoría entre ejidatarios y academia
Dirección Medio Ambiente y Ecología	Gubernamental	Gestión administrativa con los empresarios y Asesores en Conservación y Desarrollo A.C.
Clúster de 8 empresas del Polígono Empresarial	Sector privado	Financiamiento para la unidad CONSABIO Loma de Dimas, Ejido de Puerto de Nieto
Delegado del ejido Puerto de Nieto	Funcionario Público	Gestión a través de gobierno y ejidatarios
Asesores en Conservación y Desarrollo A.C.	Asociación Civil	Administración del recurso financiero aportado por el clúster empresarial

La gestión de las unidades CONSABIO tuvo dos procesos, uno directo con ejidatarios en donde tomó tres semanas obtener el permiso para su establecimiento y el segundo proceso fue en Puerto de Nieto en donde fue indirecto, con la participación de gobierno como intermediario entre el acuerdo de la unidad CONSABIO con el ejido. Ambos procesos permitieron la implementación de las unidades CONSABIO pero difirieron en el alcance que pueden tener y el área prestada para la unidad. Creemos que es importante tomar en cuenta que tipo de unidad CONSABIO se quiere implementar para tomar en cuenta el tiempo que se necesita para su establecimiento. Pero es importante que para cualquier de las dos aproximaciones se tenga capital económico para poder llevar a cabo su implementación.

Discusión del proceso de gestión

Dentro de la gestión de las unidades fue importante llevar a los principales actores al Centro Regional de Capacitación en Cuencas, La Joya; esto dio pauta para conocer la propuesta de la unidad CONSABIO en sitio y poder apreciar la capacidad de restauración que pueden llegar a tener, además de contar con el acompañamiento y asesoramiento de Mario Moreno, promotor

del CRCC y habitante del Charape, una comunidad que forma parte de la cuenca La Joya. Mario fungió un papel importante en la labor de compartir el conocimiento y el planteamiento del proyecto en un contexto campesino a campesino.

Uno de los factores importantes para obtener el permiso de la instalación de la unidad CONSABIO, fue proponer ante la junta ejidal que la participación de ellos hacia el proyecto, podría significar una oportunidad de seguir recibiendo propuestas de proyectos para llevar a cabo en su comunidad.

Los esfuerzos sociales para la conservación de ecosistemas deben estar enmarcados en la construcción de alternativas hacia la sustentabilidad (Castillo, 2009). Para la construcción de una conciencia crítica ciudadana se requiere estrategias de educación-acción participativa y así lograr el desarrollo sustentable (Esteva y Reyes, 1999). En México, desde finales de los años setenta se adoptó la propuesta del programa UNESCO “El Hombre y la Biosfera”, que sugería que la conservación de los ecosistemas estuviera vinculada a los objetivos del desarrollo regional, y para ello la población local debía involucrarse activamente en un papel dual: como responsable y como beneficiaria. Gestionar y establecer unidades CONSABIO en conjunto con ejidatarios y habitantes de las comunidades, promueve cumplir con objetivos del desarrollo regional de acuerdo al programa “El hombre y la Biósfera”.

En ambos ejidos existe un desapego con su entorno natural, hacen uso de los recursos naturales pero no existe un cuidado o mantenimiento hacia ellos, hacer la gestión e implementación con la participación de la comunidad puede propiciar un interés colectivo que impulse la participación para la conservación y manejo adecuado de sus ecosistemas (Ostrom, 2000). Se ha visto que la participación de organizaciones ciudadanas es capaz de revertir medidas negativas del gobierno que afectan a sectores urbanos pobres, además de que su movilización ha podido impedir la aprobación de desarrollos inmobiliarios para sectores de mayores ingresos en zonas periféricas de protección ambiental (Castillo, 2009), lo cual es una problemática constante dentro de la subcuenca Tábula-Picachos.

9.2 Establecimiento de las unidades CONSABIO

El establecimiento de la primera unidad CONSABIO, ubicada en el ejido de San Marcos de Begoña consistió en tres unidades de escurrimiento; la segunda unidad CONSABIO ubicada en el ejido de Puerto de Nieto, consta de cuatro unidades de escurrimiento. El manejo de las unidades de escurrimiento se llevó a cabo de la siguiente manera: control (con manejo convencional por los habitantes), con exclusión de ganado y con exclusión de ganado más prácticas de conservación (figura 22). La U de San Marcos de Begoña se encuentra dentro de la zona prioritaria a restaurar San Marcos de Begoña-Juan Xido Cabras. La unidad CONSABIO

de Puerto de Nieto no se encuentra dentro de ninguna zona prioritaria a restaurar pero, toca una porción pequeña de la zona prioritaria a restaurar Puerto de Nieto. A pesar de eso, se encuentra dentro de la zona funcional media de la subcuenca Tábula-Picachos que tiene establecida como estrategia de intervención la implementación de unidades de restauración (Resumen ejecutivo, 2011).

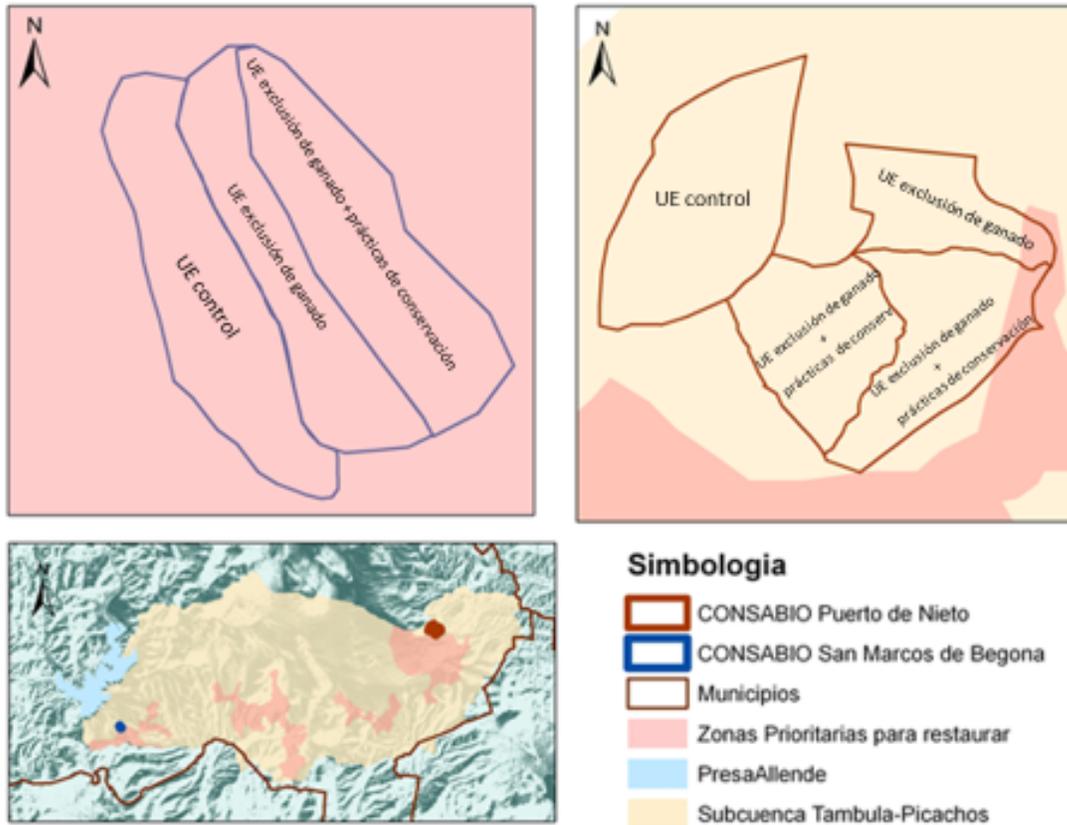


Figura 22 Localización de las unidades CONSABIO dentro de las zonas prioritarias a restaurar caracterizadas por Córdova 2011

La unidad CONSABIO San Marcos de Begoña se encuentra localizada dentro de la zona funcional media de la subcuenca Tábula-Picachos, en el caso de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, la mitad es parte de la zona funcional alta y la otra mitad se encuentra dentro de la zona funcional media de la subcuenca (figura 23).

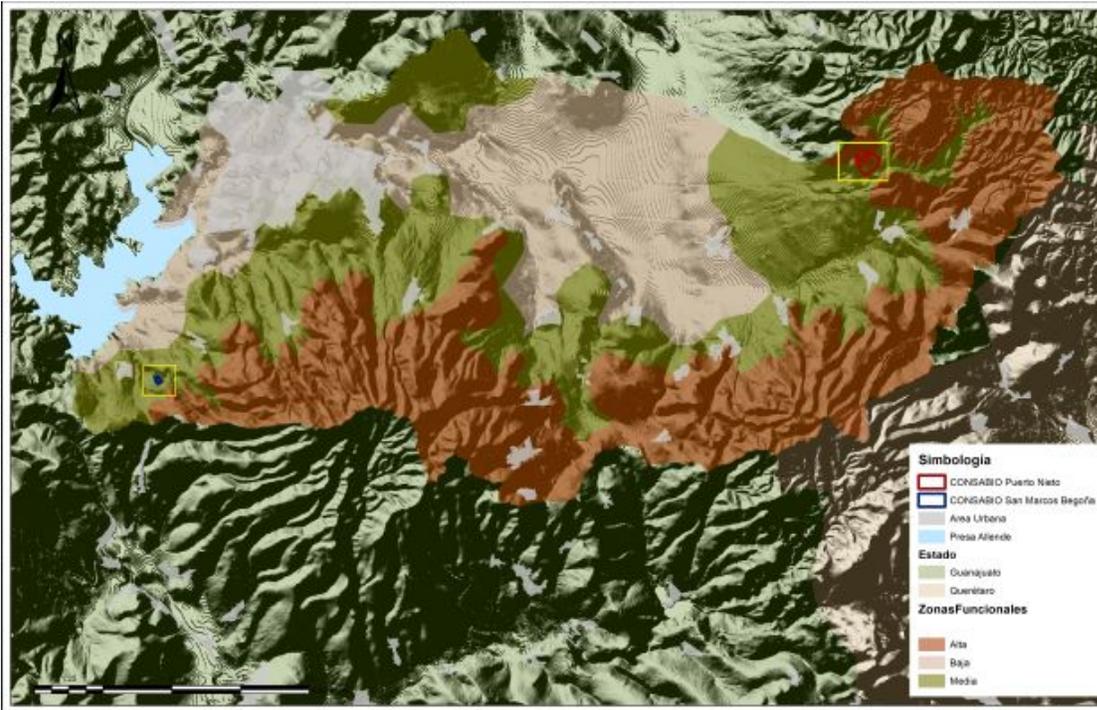


Figura 23. Zonas funcionales de la subcuenca Tám-bula-Picachos, descritas por UAQ-DMaYe (2009).

Unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña

El principal ingreso económico para el 80% de las familias del ejido San Marcos de Begoña, proviene de familiares que trabajan en Estados Unidos. Teniendo la venta de terrenos ejidales como una práctica común ante la oferta de fraccionadores y como respuesta a la pérdida gradual del sector productivo. Las principales actividades humanas que causan mayor impacto en el suelo se encuentra la deforestación y el sobrepastoreo (Cotler *et al.*, 2007), las cuales son practicadas en el ejido.

La unidad CONSABIO se encuentra dentro de la zona prioritaria a restaurar San Marcos de Begoña-Juan Xidó Cabras (Córdova, 2010), en la microcuenca San Marcos de Begoña y ejido San Marcos de Begoña. Las comunidades de la microcuenca son rurales, identificadas como alta marginación, la mayoría de su población es de la tercera edad. La microcuenca comprende seis comunidades, de las cuales San Marcos de Begoña es la que tiene mayor número de habitantes. Su clima es subhúmedo, con veranos frescos y largos. Su clima es considerado como extremo, la oscilación anual de la temperatura varía entre 7 y 14°C, la promedio oscila entre 12 y 18°C, las precipitaciones del mes más húmedo es por lo menos diez veces mayor que la del más seco, su precipitación anual es de 679.3mm.

Tiene tres tipos de suelo: feozem, litosol y vertisol; el feozem lúvico se encuentra en el 64% de la superficie de la microcuenca, tiene textura media y presenta en el subsuelo una

capa de acumulación de arcilla. En cuanto a su vegetación, existen manchones de bosque de encino, bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo bien conservados, pero la mayor parte de las áreas de vegetación natural se encuentran con algún tipo de alteración, ya sea por sobrepastoreo o han sido taladas para establecer cultivos y zonas de agostadero. La erosión que predomina en la microcuenca va de ligera a moderada, excepto por algunas zonas de mayor pendiente y escasa vegetación. Las características topográficas e hidrológicas de la microcuenca resultan en un área de inundación bien definida al margen de la presa Allende, mientras que la ubicación de los poblados resulta en un riesgo menor de inundaciones. La densidad de drenaje sugiere mayor escurrimiento que infiltración.

Se obtuvieron mapas de cobertura vegetal y tipo de suelo (Figura 24) para la zona de la unidad CONSABIO SMB. Para obtener el mapa de cobertura vegetal se digitalizó una imagen satelital de google earth desde el programa ArcGis y para la obtención del mapa de tipo de suelo fue por medio de la carta INEGI, en donde más del 70% de la unidad es leptosol +feozem lúvico. Los feozems (phaeozem) tienen un espesor de 100cm o más de la superficie del suelo o hasta roca continua o una capa cementada o endurecida, lo que esté a menor profundidad. Tienen un color pardo, los que están ubicados en laderas o pendientes presentan como principal limitante la roca, se erosionan con facilidad y suelen utilizarse para pastoreo o ganadería, su subunidad lúvico habla de que tienen acumulación de arcilla en el subsuelo y que tienen por encima textura arenoso franco. Los leptosoles son suelos someros que se caracterizan por tener una profundidad menor a 10cm, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Se encuentran en áreas fuertemente erosionadas. En el caso específico de la zona en donde hay matorrales y pastizal, el pastoreo que se puede llevar a cabo es limitado (INEGI, 2004).

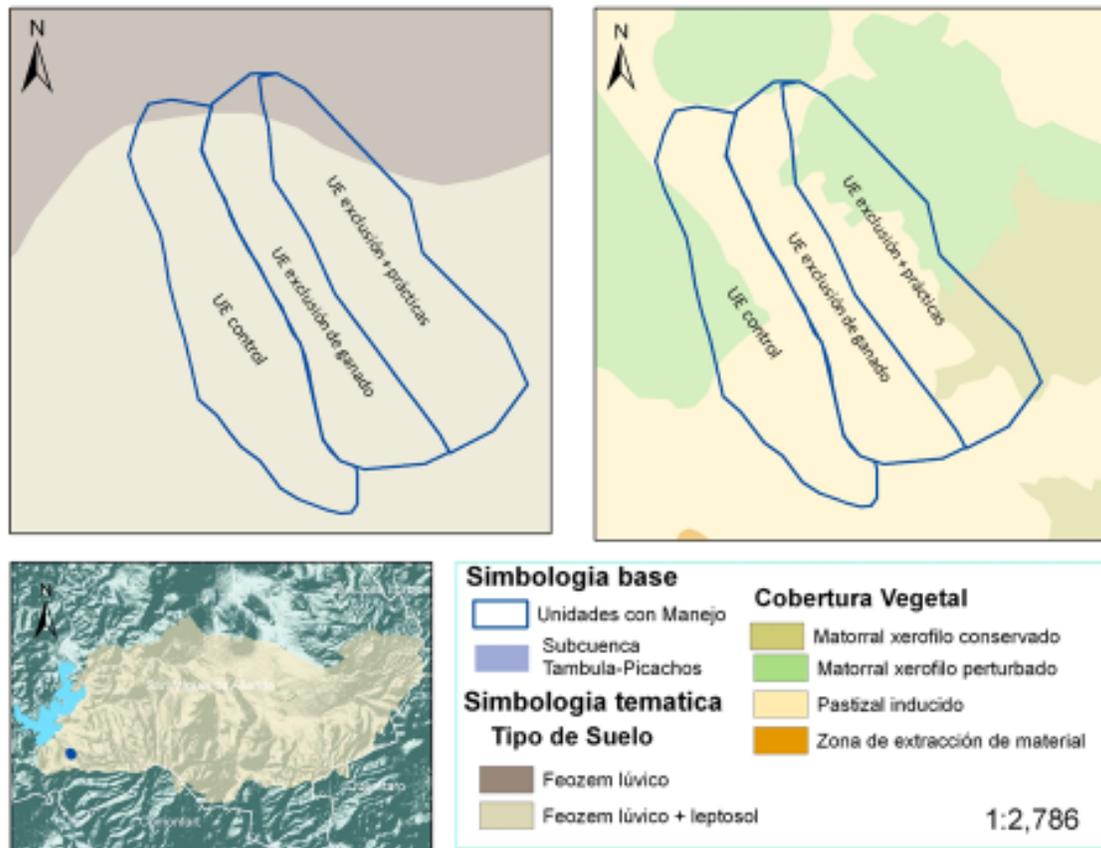


Figura 24. Cobertura vegetal para la unidad CONSABIO en San Marcos de Begoña

Alguna de las especies vegetales que se encuentran dentro de la unidad CONSABIO Puente del Fraile en el ejido de San Marcos de Begoña son: *Ipomoea longifolia*, *Opuntia sp*, *Sedum sp*, *Jatropha dioica*, *Acacia schaffneri*, *Mimosa monancistra*, *Prosopis laevigata*, *Bursera sp*, *Ferocactus histrix*.

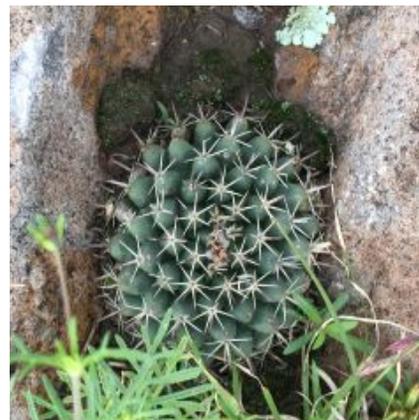




Figura 25. Fotografías de vegetación de la unidad CONSABIO del ejido de San Marcos de Begoña

La unidad CONSABIO fue establecida en el Puente del Fraile por decisión de los ejidatarios, al ser un lugar importante utilizado como sitio recreativo en época de lluvias, además de ser una zona que es de uso común dentro del ejido y utilizada como agostadero y banco de extracción de material para construcción. Se delimitaron en campo tres unidades de escurrimiento, contiguas y después se digitalizaron por medio de ArcGis. Las tres unidades de escurrimiento se establecieron como unidades experimentales de la siguiente manera: I) Unidad de escurrimiento control, que contempla el manejo convencional de los ejidatarios; II) En esta unidad se contempló el manejo exclusivo de la exclusión del ganado mediante cercado y la unidad de escurrimiento III) En esta unidad además de la exclusión de ganado se incluyen

prácticas de conservación de suelo y agua.

El establecimiento de la unidad CONSABIO se hizo en julio del 2017, en temporada de lluvia. La exclusión de ganado se hizo con un cercado de malla borreguera de 1.72m de altura y colocación de postas cada 7m; después se seleccionaron las prácticas vegetativas y estructurales con base en las características topográficas, edáficas y de cubierta vegetal del terreno (figura 26). En una primera instancia se instalaron las prácticas estructurales que se muestran en la tabla 5. Las prácticas incluyeron líneas de pasto nativo (navajita) del género *bouteloua sp*, la reforestación con arbustos y árboles nativos fue planeada para la temporada de lluvias del 2018, pero no se llevó a cabo por cuestiones administrativas del proyecto “Cuencas, gente, agua y cambio climático”.

Tabla 5. Prácticas de conservación aplicadas para la unidad CONSABIO de San Marcos de Begoña
Prácticas de conservación

Manejo	Exclusión de ganado	900 m
Vegetativa	Líneas de pasto 2 m	192 m
	Reforestación	Pospuesto
Estructural	Líneas de piedra de 5 m a curva de nivel	480 m
	Presas filtrantes	3
	Prevención de cárcavas	5

Dentro de la unidad CONSABIO se observan procesos de erosión como erosión laminar, pedastales y terracetas que son causados por el ganado y el agua (Stocking y Murnaghan, 2001).





Figura 26. Imágenes del trabajo de exclusión de ganado y prácticas de conservación, realizadas en la unidad CONSABIO en el ejido San Marcos de Begoña.

Para el establecimiento de esta unidad CONSABIO se contó con la participación de ejidatarios y vecindados del ejido San Marcos de Begoña. Los participantes se capacitaron (26 personas) en el mes de junio en el Centro Regional de Capacitación en Cuencas La Joya, financiados por la fundación Gonzalo Río Arronte (figura 27). El inicio del establecimiento de la unidad se hizo en el mes de Julio por cuestiones administrativas y retrasos en el financiamiento, teniendo como consecuencia que no todas las personas capacitadas permanecieran en la implementación de las obras.

Se contó con una participación mayoritaria de hombres (Tabla. 6), cabe mencionar que de los 18 hombres que participaron, 12 fueron menores de edad. Esto influyó en la dinámica del establecimiento porque los jóvenes eran considerados por los adultos como una población problemática para la comunidad, por su historial de mal comportamiento. De los 26 participantes en el establecimiento de la unidad CONSABIO cinco fueron mayores de 40 años y cinco mayores de 50 años.

Tabla 6. Participantes en el establecimiento de la unidad CONSABIO San Marcos de Begoña

Categoría	Total Participantes
Cercado y prácticas de conservación	26
Capacitados	26

Hombres	18
Mujeres	12
Menores de Edad	12
Promedio de Edad	30.83
Total de participantes	30

El establecimiento de la unidad CONSABIO tuvo una duración de 8 días, la gente recibió un promedio de \$1,288.00 pesos por persona, dependiendo de su asistencia, los que no faltaron recibieron un total de \$1,600.00, el jornal de trabajo se pagó en \$200.00 con un horario de 8:00 am a 2:00pm, haciendo un total de \$33,600.00 pesos. El costo del material utilizado fue de \$43,953.70 pesos, incluyó 20 rollos (de 50m x 1.72m de altura) de malla borreguera, 94 postes ganaderos (1.67m), 10 mazos, 10 picos, 18 palas, 14 barras, 10 piezas de alambre galvanizado y un rollo de malla de gallinero. La capacitación en el CRCC, La Joya tuvo un costo de \$200.00 pesos por persona, el total invertido fue de \$5,200.00 pesos. El costo total del establecimiento de la unidad CONSABIO en San Marcos de Begoña (5 ha) fue de \$82,753.70 (Tabla. 7).

Tabla 7. Costo del establecimiento de la unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña

Material	Capacitaciones	Jornales	Total
\$43,953.70	\$ 5,200.00	\$ 33,600.00	\$82,753.70





Figura 27. Capacitación campesino-campesino en el Centro Regional de Capacitación en Cuencas, La Joya.

Unidad CONSABIO en Ejido Puerto de Nieto

La delimitación de la zona de estudio fue realizada por la DMAyE en acuerdo con el ejido Puerto de Nieto, mediante la contratación de un cartógrafo con la funcionalidad adicional de asignar espacios de trabajo e inversión a cada empresa participante en el proyecto de restauración. La superficie para instalar la unidad CONSABIO, fue seleccionada por parte de los ejidatarios en la Loma de Dimas, pertenece al área de uso común, funciona como agostadero y han propuesto un proyecto para construir una represa para abastecer de agua a su ganado. La unidad forma parte de la microcuenca el Huizachal y solo una porción pequeña está dentro de la zona prioritaria a restaurar denominada Puerto de Nieto (Córdova, 2010). Por otro lado, se encuentra en el límite de las zonas funcionales alta y media de la subcuenca, y muestra los problemas típicos de erosión de suelo, pérdida de biodiversidad, degradación de cauces (UAQ-FAI, 2011), los cuales pueden ser atendidos con la implementación de la unidad CONSABIO.

En diciembre del 2017 se acordó trabajar en conjunto con la DMAE para la restauración de la Loma de Dimas. Se digitalizaron cuatro unidades de escurrimiento por medio de *ArcGis*, diseñadas de la siguiente manera: Unidad de escurrimiento I) Con el manejo convencional de los ejidatarios que consiste en zona de agostadero y recolección de leña; unidad de E II) Se propone la exclusión de ganado como la única actividad de manejo; unidad E III) y unidad de E IV) el manejo incluyó tanto la exclusión de ganado, como la instalación de prácticas estructurales de suelo y agua, en conjunto con prácticas vegetativas de reforestación.

La microcuenca Huizachal presenta unidades de terreno con un relieve muy contrastado, lo cual implica diferencias marcadas en la permeabilidad e infiltración; presenta cinco unidades de suelo: fluvisol-regosol, leptosol, leptosol-redzina, regosol-leptosol y

vertisol; sostiene unidades de suelo poco desarrolladas en las partes altas, con una textura y estructura muy endeble que lo hace susceptible a erosión. La mayor cantidad de lluvia es en la época de verano, la precipitación anual no acumula los 500mm. La densidad de drenaje sugiere mayor escurrimiento que infiltración. Presenta dos tipos de clima intermedios entre los muy áridos y los húmedos, su temperatura está considerada como extremosa, ya que la oscilación térmica es mayor de 14 °C. Se han determinado categorías de uso de suelo y vegetación para la microcuenca las cuales son: agricultura de riego, agricultura de temporal, asentamientos humanos, bosque de encino, bosque de encino perturbado, frutales, bordos, infraestructura, matorral xerófilo, matorral xerófilo perturbado, pastizal inducido, selva baja caducifolia, selva baja caducifolia perturbada, vegetación riparia, vegetación secundaria y zonas sin vegetación aparente.

Para la zona de la unidad CONSABIO en la Loma de Dimas, ejido de Puerto de Nieto se obtuvieron mapas de cobertura vegetal y tipo de suelo (Figura 28). Para obtener el mapa de cobertura vegetal se digitalizó una imagen satelital de google desde el programa *ArcGis* y para la obtención del mapa de tipo de suelo fue por medio digitalización de la carta INEGI, la unidad CONSABIO es de suelo tipo feozem háplico con subunidad leptosol. Los leptosoles por lo general son pedregosos, con profundidad menor a 10cm.

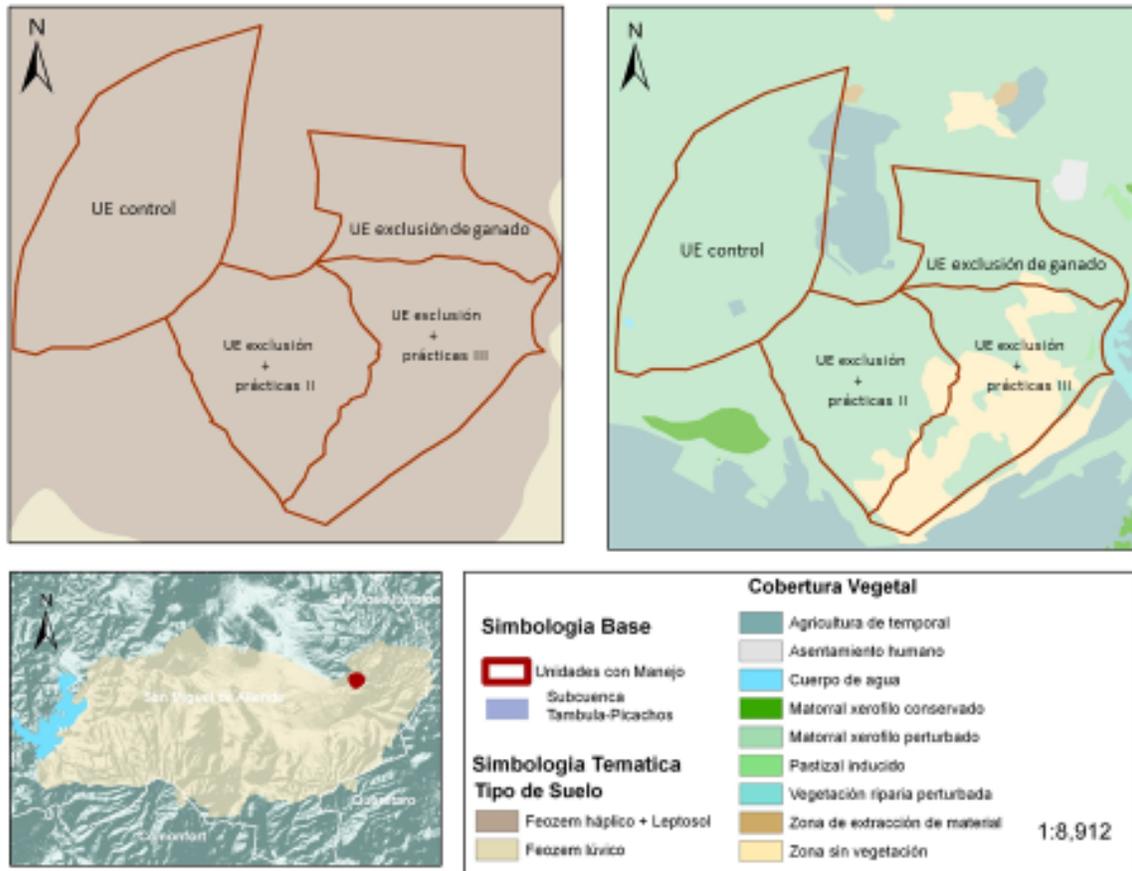


Figura 28. Uso de suelo para la unidad CONSABIO Puerto de Nieto

Algunas de las especies vegetativas que se encuentran dentro de la unidad CONSABIO en el ejido Puerto de Nieto son (figura 29): *Mammillaria rubrograndis*, *Mammillaria spinosissima*, *Mammillaria albiflora*, *Astrophytum ornatum*, *Ferocactus histrix*, *Pachycereus marginatus*, *Echinocactus grusonii*, *Cylindropuntia imbricata*, *Opuntia sp*, *Ambrosia cordifolia*, *Aster gymnocephalus*, *Aster spinosus*, *Baccharis heterophylla*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Baccharis salicifolia*, *Bidens angustissima*, *Gymnosperma glutinosum*, *Zaluzania augusta*, *Bursera sp*, *Jatropha dioica*, *Acacia schaffneri*, *Mimosa aculeaticarpa* y *Prosopis laevigata*.





Figura 29. Imágenes de vegetación de la unidad CONSABIO en el ejido Puerto de Nieto

En noviembre del 2017 se capacitaron 15 personas en el Centro Regional de Capacitación en Cuencas de La Joya en diversas prácticas de conservación de suelo y agua. Los procesos administrativos sobre los recursos financieros entre la Dirección de Medio Ambiente y las empresas retrasaron el inicio de los trabajos. En enero del 2018, se inició el manejo de exclusión de ganado por medio de cercado de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto en la Loma de Dimas, con ocho personas. A este grupo se añadieron once personas que no contaban con la capacitación previa. En este contexto el pago de los jornales y material fue aportado por el proyecto “Cuencas, Gente, Agua y Cambio Climático; Procesos de Adaptación en la Subcuenca Támbula-Picachos en el Alto Río Laja” y no por el cluster de empresas.

En el mes de Febrero se comenzó la instalación de las prácticas estructurales con la aportación del capital de las empresas, participaron 23 personas de las comunidades Puerto de Nieto y Guanajuatito, tanto ejidatarios como vecindados, las personas fueron seleccionadas por la DMAyE empeñada en llevar un control del número de personas y el tiempo a desarrollar el trabajo. De las 23 personas que participaron en el establecimiento de las prácticas, solo ocho personas habían sido capacitadas en noviembre del 2017, por lo que fueron capacitados en el CRCC de La Joya en marzo del 2018.

Finalmente, en el establecimiento de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, se contó con la participación de 39 personas de las cuales 36 fueron capacitadas en el CRCC. El promedio de edad de los participantes fue de 32 años, solo participaron tres menores de edad (17 años), doce personas mayores de 30 años y dentro de esos, ocho mayores de 40 y dos ejidatarios mayores de 60 años (tabla. 8).

Tabla 8. Participantes en el establecimiento de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto

Categoría	Total Participantes
Cercado	19
Prácticas	23
Capacitados	36
Hombres	17
Mujeres	14
Menores de Edad	3
Promedio de Edad	31.96
Total de participantes	39

En la figura 30 se muestra las prácticas de conservación establecidas en la unidad CONSABIO de Puerto de Nieto, el cercado de las 42ha para la exclusión del ganado y las prácticas de estructurales y vegetativas que se llevaron a cabo como: líneas de piedra, medias luna, arreglo de cárcavas y presas filtrantes.





Figura 30. Prácticas de conservación de Puerto de Nieto

Para la exclusión de ganado de las 42 ha se utilizaron 26 rollos de malla borreguera de 1.72m de altura, los cuales fueron colocados estratégicamente para unirse a cercas de parcelas de ejidatarios y así poder ahorrar material, tiempo y dinero. Como prácticas estructurales se implementaron líneas de piedra continuas a curva de nivel, presas de gaviones filtrantes para controlar las cárcavas que se encontraban en la parte baja de las unidades y dos en la parte alta y baja de la unidad III, se hicieron medias lunas para preparar el terreno para la reforestación durante la época de lluvias, y por último se hicieron arreglo de sitios con inicio de erosión (tabla. 9). Es importante mencionar que se observaron procesos de erosión laminar, pedestales, exposición de raíces, acumulación contra tronco de árbol, terracetas que son causados por el ganado y cárcavas, en donde existe una mayor concentración de escurrimiento de agua (Stocking y Murnaghan, 2001).

Tabla 9. Prácticas de conservación aplicadas en la unidad CONSABIO en Puerto de Nieto

Prácticas de conservación en la unidad CONSABIO Loma de Dimas		
Manejo	Exclusión de ganado	1 300 m
Vegetativa	Reforestación	Este año
Estructural	Líneas de piedra a curva de nivel	33,548 m
	Presas filtrantes	12
	Prevención de cárcavas	20
	Medias luna	1,638

La duración del establecimiento de la unidad CONSABIO hasta el momento ha sido de 17 semanas, la gente que participó en el cercado recibió un promedio de \$500.00 pesos por persona, dependiendo de sus asistencias, los que no tuvieron faltas recibieron un total de \$600.00, el día de trabajo se pagó en \$200.00 pesos con horario de 8:00 am a 2:00pm. Para el establecimiento de las prácticas estructurales se recibió \$1,200.00 pesos a la semana, el día de trabajo se pagó en \$200.00 con un horario de trabajo de 8:00 am a 3:00pm, es por eso que se pagaron \$200.00 pesos extra a la semana. El costo del material utilizado fue de \$43,062.00 pesos e incluye 26 rollos de malla borreguera, 124 postes ganaderos, y 4 rollos de alambre galvanizado. La capacitación en el CRCC, La Joya tiene un costo de \$200.00 pesos, el total de las dos capacitaciones fue de \$7,600.00 y de jornales fue un total de \$237,500.00 pesos. La suma del material, capacitaciones y jornales es de \$288,162.00 pesos, costo total del establecimiento de la unidad CONSABIO por 42 ha (Tabla. 10).

Tabla 10. Costo del establecimiento de la unidad CONSABIO en ejido Puerto de Nieto

Costo de implementación de unidad CONSABIO			
Material	Capacitaciones	Jornales	Total
\$ 43,062.00	\$ 7,600.00	\$ 237,500.00	\$ 288,162.00



Figura 31. Capacitación campesino-campesino de participantes en la implementación de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, en el Centro Regional de Capacitación en Cuencas, La Joya

Análisis del establecimiento de las unidades CONSABIO

Existe una diferencia evidente en cuanto a el tamaño y el costo de las unidades CONSABIO, la primera establecida en el Puente del Fraile, ejido de San Marcos de Begoña se obtuvo de manera directa con los tomadores de decisiones, en donde se solicitó excluir el ganado por 3 años para restaurar la zona y también se haría restauración del cauce del puente de Fraile como parte del proyecto “Cuencas, Gente, Agua y Cambio Climático”. Para el caso de la unidad 2 en Puerto de Nieto, ya se tenía un acuerdo establecido con la Dirección de Medio Ambiente y Ecología de San Miguel de Allende, en donde se planteó un proyecto ecoturístico y la construcción de un bordo para su ganado. Al intervenir actores como gobierno y empresarios del polígono empresarial de San Miguel de Allende, se pueden acordar proyectos de índole turística y con mayor financiamiento para la intervención, aunque ello representó una desventaja en relación al incremento de los tiempos de gestión y establecimiento.

Para comparar el costo económico que tiene la implementación de las unidades CONSABIO se analizaron los datos números de las dos unidades, en el caso del Puente del Fraile se eliminó del costo total los materiales que fueron utilizados para las dos zonas, como: las palas, picos, barras y mazos. En la tabla 11 se puede observar que el establecimiento de la unidad Loma de Dimas es de \$225,884.³⁰ pesos arriba de la unidad Puente del Fraile, cuando se compara el costo por hectárea baja casi a la mitad de precio que la unidad Puente del Fraile.

Tabla 11. Comparación monetaria entre unidad CONSABIO San Marcos de Begoña y Puerto de Nieto

Unidad CONSABIO	Ha	Costo Total	Costo por ha	Recurso Humano	Tiempo
San Marcos de Begoña	5	\$ 62,277. ⁷⁰	\$ 12,455. ⁵⁴	26 personas	2 semanas
Puerto de Nieto	42	\$ 288,162. ⁰⁰	\$ 6,861. ⁰⁰	31 personas	17 semanas

Discusión del proceso de establecimiento de las unidades CONSABIO

Es importante contar con la participación comunitaria, se ha visto que da a lugar a la apropiación del proyecto, reconociendo el valor de mantener la calidad de los ecosistemas que

a su vez contribuye a la calidad de vida. De acuerdo a WOCAT (2011) la implementación de prácticas de conservación de suelos y agua debe buscar la incorporación de los usuarios de la tierra, investigadores sobre distintas disciplinas y de quienes toman decisiones.

Dentro del costo total de la implementación de las unidades CONSABIO, el pago de jornales es en donde existe la mayor inversión del capital, creemos que si los habitantes pueden apropiarse del proyecto y entender los beneficios que pueden aportar para su calidad de vida, podrían proponer replicar este tipo de unidades en otras partes del ejido pero con trabajo sin remuneración, lo que disminuiría los costos de la implementación de las U CONSABIO. De acuerdo con los ejemplos que mostramos en este estudio el costo total de implementación en San Marcos de Begoña disminuiría en 40% y en un 82% del costo total en la unidad CONSABIO de Puerto de Nieto.

Durante el tiempo de establecimiento de las unidades CONSABIO se tuvo acompañamiento externo permanente, éste fue un factor determinante para llevar a cabo cada una de las prácticas establecidas dentro de las unidades de escurrimiento experimentales.

La participación activa y permanente de los actores involucrados es un elemento determinante en la continuidad de los proyectos de manejo integral de cuencas (Cotler y Caire, 2009). En el caso de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, en donde el periodo de implementación fue considerablemente más largo que en el caso de San Marcos de Begoña, permitió la apropiación y comprensión de la funcionalidad de las prácticas de conservación y el manejo de exclusión de ganado. Hartman y colaboradores (2016) encontraron algo similar en los Andes, las personas que habían participado más en la elaboración de prácticas de conservación de suelos, tenían más conocimiento sobre su construcción y funcionamiento, mejorando la percepción de la relación que tiene el ser humano en degradación del ecosistema.

En el caso de la unidad CONSABIO en ejido Puerto de Nieto, en donde el proyecto plantea ser un lugar ecoturístico, la gente podría utilizar como indicadores de su funcionamiento la sobrevivencia de plántulas de la reforestación, el aumento en el compromiso social, la participación y el aumento en la tasa de empleo en la localidad (Mass y Cotler, 2006). En un futuro sería importante incluir indicadores sociales y económicos en la restauración, ya que proporciona información relevante para evaluar la inversión del costo beneficio del todo el proceso (Clewel y Rieger, 1997).

La existencia de financiamiento gubernamental o social para la ejecución de las acciones propuestas en el plan de manejo de cuencas, es un elemento determinante para tener continuidad (Cotler y Claire, 2009), en el caso de Puerto de Nieto que estaba financiado por el

polígono empresarial, se sigue trabajando en el proyecto de unidad CONSABIO, por lo cual le ha dado continuidad y en el caso de San Marcos de Begoña, no existe financiamiento o continuidad con la gente por el momento, solo por parte del monitoreo y con la secretaria ejidal.

El manejo de zonas ejidales de uso común incluye al agostadero y la extracción de materiales. Las unidades CONSABIO excluyen el ganado e implementan prácticas de conservación de suelo y agua. Mantener al ganado fuera de las zonas prioritarias para su restauración, disminuye la compactación del suelo y promueve la vegetación; por otro lado, las prácticas de conservación ayudan a disminuir la erosión hídrica, contribuyen a la formación de suelo, la conservación de vegetación. Estos procesos incrementan la infiltración de agua por medio de la prevención del encostramiento del suelo y mejoran la estructura del suelo, capturan más humedad que los suelos descubiertos, dan sombra al suelo, reduciendo la evaporación y aumentan la capacidad de retención de agua del suelo gracias al mejoramiento su estructura. El proceso de restauración de las unidades CONSABIO contribuye a mitigar daños causados por la escorrentía de Puerto de Nieto y San Marcos de Begoña que pueden concentrar sus escurrimientos en aproximadamente 15 minutos (Resumen Ejecutivo, 2011).

Las figuras 32 y 33 son significativas en cuanto a la diferencia que se percibe en cuanto a cobertura vegetal, ésta es importante por las funciones ecosistémicas que se llevan a cabo por la vegetación como la producción de hojarasca, la fijación de nitrógeno a través de las raíces, la recuperación de nutrimentos, la disminución de la evapotranspiración del agua del suelo y la formación de microclimas que benefician el crecimiento de otras plantas (Heneghan *et al.*, 2008).



Figura 32. Imágenes tomadas durante (tercer día del establecimiento) y cuatro meses después del establecimiento de prácticas de conservación en unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña.



Figura 33. Imágenes tomadas durante (20 días de trabajo) y seis meses después del establecimiento de prácticas de conservación en unidad CONSABIO en ejido Puerto de Nieto.

9.3 Monitoreo de las unidades CONSABIO

El monitoreo fue realizado en las tres zonas altitudinales de cada unidad de escurrimiento que conforman las unidades CONSABIO.

Textura del suelo

Unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña

El análisis de suelos para la unidad CONSABIO en el ejido San Marcos de Begoña muestran tres texturas, las predominantes son franco arenoso (textura moderadamente gruesa), franco

areno arcilloso (textura moderadamente gruesa) y solo la zona alta de la UE resultó de textura arenosa (textura gruesa).

La distribución de la textura de suelos en la parte alta de las unidades CONSABIO no tiene una distribución uniforme pero las partes medias y bajas son uniformes en cuanto al tipo de suelo (tabla 12), siendo un elemento importante para establecer la similitud en las características de suelo entre las unidades de escurrimiento.

Tabla 12. Resultados del análisis de textura de suelos en las zonas altitudinales de la unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña.

Unidad de escurrimiento	Zona altitudinal	Textura
Control	Alta	Arenoso
	Media	Franco arenoso
	Baja	Franco arenoso
Exclusión	Alta	Franco areno arcilloso
	Media	Franco arenoso
	Baja	Franco areno arcilloso
Exclusión y Prácticas	Alta	Franco arenoso
	Media	Franco arenoso
	Baja	Franco areno arcilloso

Unidad CONSABIO en ejido Puerto de Nieto

El análisis de textura de la unidad CONSABIO en el ejido Puerto de Nieto arroja dos texturas de suelo, franco arenoso (textura moderadamente gruesa) y limo arcilloso (textura media). Existe similitud de conformación de textura de suelo entre las unidades control y la unidad con exclusión de ganado y prácticas de conservación II, que son contiguas; por otro lado de igual manera se observa una similitud entre la zona altitudinal y la textura del suelo de las unidades de escurrimiento con exclusión de ganado y la UE con exclusión y prácticas de conservación III. De igual manera se observa que tres de las cuatro UE (control, con exclusión y la unidad con exclusión de ganado y prácticas de conservación III) tienen el mismo tipo de textura para la zona baja (tabla 13).

Tabla 13. Resultados del análisis de textura de suelos en las zonas altitudinales de la unidad CONSABIO en el ejido Puerto de Nieto.

Unidad de escurrimiento	Zona altitudinal	Textura
Control	Alta	Franco arenoso
	Media	Franco arenoso
	Baja	Franco arenoso
Exclusión	Alta	Limo arcillosa
	Media	Limo arcillosa
	Baja	Franco arenoso
II E y Prácticas	Alta	Franco arenoso
	Media	Franco arenoso
	Baja	Limo arcillosa
III E y Prácticas	Alta	Limo arcillosa
	Media	Limo arcillosa
	Baja	Franco arenoso

Discusión

El haber obtenido diferentes texturas dentro de las unidades CONSABIO, que son áreas relativamente pequeñas (5 a 42 ha), nos habla de los distintos procesos a los que están sometidos, como la erosión hídrica, la carga animal, el tipo de cobertura vegetal o la falta de ella. Además, se debe tomar en cuenta que dependiendo de la textura de los suelos se originan estructuras diferentes en cuanto a porosidad y agregación, por lo cual no responden similar ante los problemas de encostramiento, aireación, capacidad de retención hídrica, permeabilidad y otros (Acevedo et al, 2005).

Los cambios temporales en las propiedades del suelo constituyen indicadores de su funcionamiento y del manejo al que es sometido. Es importante considerar las características físicas del suelo, ya que son necesarias en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000), de acuerdo a Arnold y colaboradores (1990), se necesitan 1,000 años para percibir cambios en la textura del suelo. A pesar de que la textura tarda años en ser modificada, conocerla sienta la base para el monitoreo de las unidades CONSABIO.

Potencial Hidrógeno del suelo

La tabla 14 muestra la denominación para los valores de pH medidos en suelos.

Tabla 14. Denominación de pH en suelos

Denominación	Rango de pH
Ultra ácido	<3.5
Extremadamente ácido	3.5-4.4
Muy fuertemente ácido	4.5-5.0
Fuertemente ácido	5.1-5.5
Moderadamente ácido	5.6-6.0
Ligeramente ácido	6.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Ligeramente alcalino	7.4-7.8
Moderadamente alcalino	7.9-8.4
Fuertemente alcalino	8.5-9.0
Muy fuertemente alcalino	>9.0

Clasificación de los rangos de pH del suelo (Soil Survey Staff, 1999)

Unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña

En la tabla 15 se muestra la variación del pH en dos fechas, la primera en julio del 2017 al inicio de la época de lluvia y en abril del 2018 que aún se considera como época de estiaje. A pesar de haber sido muestreados en épocas del año distintas no existe una variación importante entre ellas, la cuál se esperaría porque el pH varía estacionalmente y es afectado por factores como la humedad, temperatura, el crecimiento de plantas y la actividad microbiana.

En la unidad CONSABIO San Marcos de Begoña en la UE control no muestra diferencias importantes entre sus valores de pH. Para el caso de la UE con exclusión y la UE con exclusión más prácticas de conservación se observa una diferencia invertida para sus valores. En el caso de la zona alta de la UE con exclusión de ganado pasó de pH neutro a un pH moderadamente alcalino y la UE con exclusión de ganado altitudinal alta que tenía valores de pH moderadamente alcalino, casi fuertemente alcalino quedó en los límites de ligeramente alcalino a pH neutro (de acuerdo a Soil Survey Staff, 1999).

Tabla 15. Análisis de pH durante el año 2017 y 2018 de la unidad CONSABIO en el ejido San Marcos de Begoña.

Unidad de	Zona	Julio 2017	Abril 2018
-----------	------	------------	------------

Ecurrimiento		pH	
Control	Alta	6.8	6.9
	Media	6.7	6.7
	Baja	6.0	6.1
Exclusión	Alta	6.3	7.4
	Media	6.9	6.8
	Baja	6.6	6.8
Exclusión y prácticas	Alta	8.0	6.6
	Media	6.5	6.7
	Baja	6.3	6.9

Unidad CONSABIO en ejido Puerto de Nieto

La unidad CONSABIO Puerto de Nieto obtuvo valores de potencial de hidrógeno en suelo de 5.8 como el mínimo y 7.1 como el valor máximo. Tomando a la tabla 14 como referencia para los rangos de pH para suelos, la unidad de escurrimiento control tiene valores de moderadamente ácido a neutro. Para la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado se obtuvieron denominaciones de pH ligeramente ácido. La unidad de escurrimiento con exclusión de ganado más prácticas de conservación II obtuvo valores de pH neutro y por último la UE con exclusión de ganado más prácticas de conservación III se obtuvieron valores de pH que van de ligeramente ácido a neutro. De acuerdo a las características químicas de los suelos feozem, que es el tipo que se encuentra en ésta unidad CONSABIO, los rangos de pH se encuentran entre 5 y 7, lo cual concuerda perfectamente con los resultados obtenidos en el muestreo (tabla 16).

Tabla 16. Análisis de pH durante dos temporadas del 2018 en unidad CONSABIO del ejido Puerto de Nieto

Unidad de Ecurrimiento	Zona	Febrero 2018	Agosto 2018
		pH	
Control	Alta	6.2	6
	Media	5.8	6.1
	Baja	6.1	6.7
Exclusión	Alta	6.3	6.4
	Media	6.4	6.4
	Baja	6.3	6.2
II Exclusión y prácticas	Alta	6.9	7
	Media	6.8	7.1

	Baja	6.9	6.8
III Exclusión y prácticas	Alta	6.1	6.2
	Media	6.4	6.3
	Baja	6.8	6.7

Discusión

Los suelos feozem tienden a tener alta saturación de bases que se traduce a un pH de 6 a 7, lo que nos indica que corresponde con las características del suelo pero que no concuerda con el alto contenido de materia orgánica obtenido para las unidades CONSABIO y que es parte de la característica de éstos suelos (IUSS, 2015).

Con valores cercanos a pH neutral, el carbono orgánico del suelo aumenta la solubilidad de varios nutrientes, en el caso de las unidades CONSABIO SMB y PN que tienen valores ácidos y neutros, llevarlos a valores neutros puede mejorar la calidad del suelo. Los valores de pH obtenidos en las unidades CONSABIO SMB y PN, varían entre ligeramente ácido, neutro y ligeramente alcalino (6.1-7.8). Si fueran utilizadas como zonas de cultivo, el pH entre 6 y 7.5 tiene la mayor disponibilidad de nutrientes, haciéndolo óptimo para el crecimiento de la mayoría de los cultivos comúnmente utilizados.

Humedad del suelo

Unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña

Los resultados de porcentaje de humedad del suelo obtenidos en la UE control (figura 34) muestran un comportamiento similar en sus tres zonas altitudinales a través de los meses, el patrón de comportamiento está correlacionado con la variación en la precipitación (Tabla 17).

La relación entre la humedad del suelo y cantidad de precipitación desplazada un mes es altamente significativa en la UE control, mientras que, no presenta ninguna relación con la UE con exclusión de ganado, debido a la conformación de la unidad con grandes afloramientos de roca madre. Finalmente, la UE con exclusión de ganado y construcción y habilitación de obras mecánicas y vegetativas, muestra poca relación entre la humedad del suelo y la precipitación, en su zona altitudinal alta, mientras que es significativa tanto en la parte media como en la baja.

Estos resultados indican que, por un lado, la condición estructural de la unidad puede tener un efecto sobre la humedad del suelo, así como también las obras de conservación y manejo que se practiquen en ellas.

Tabla 17. Resultados del análisis de correlación de Pearson desplazado un mes entre la humedad del suelo y la precipitación en mm con datos de la estación meteorológica de Atascadero la Palmita.

Zona altitudinal	UE	Exclusión + Obras	Exclusión	Control
Alta		0.67	0.60	0.94*
Media		0.89	0.65	0.99*
Baja		0.93	0.57	0.98*

*Significativo a una $p > 0.05$

Los valores de humedad de suelo en la UE control fluctúan entre el 6 y el 20% de humedad de suelo con un rango de 14 puntos de variación (figura 34). Estos valores son más altos que los obtenidos en otros sitios semiáridos con vegetación arbórea (Gómez, 2000), valores de 7).

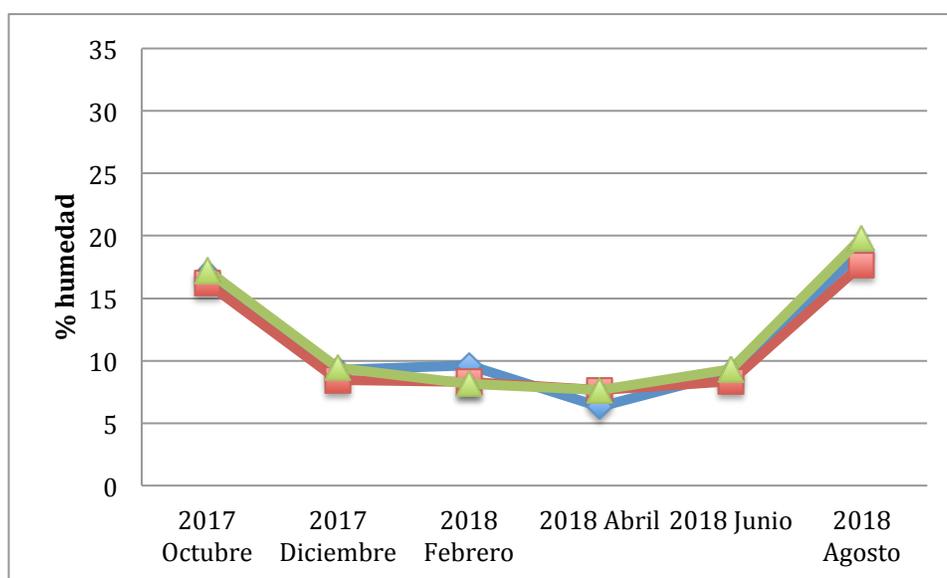


Figura 34. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en la unidad de escurrimiento control en San Marcos de Begoña. Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE.

La Figura 36 muestra un porcentaje muy estable de humedad para la unidad de escurrimiento en la que sólo se hizo exclusión de ganado. La humedad se conservó a través del tiempo de muestreo muy cercana a valores de 10% con variaciones de 6 a 8% en el mes máximo de estiaje (abril) y un máximo de 13% para la temporada de lluvias. Es posible que la mínima variación del rango se deba a que la unidad de escurrimiento, aunque es contigua a las

otras, muestra una mayor cantidad en su superficie de la roca madre, lo que puede dificultar el proceso de infiltración y muestra una limitada profundidad del suelo (figura 35).



Figura 35. Unidad de escurrimiento con exclusión de ganado en Puente del Fraile, ejido de San Marcos.

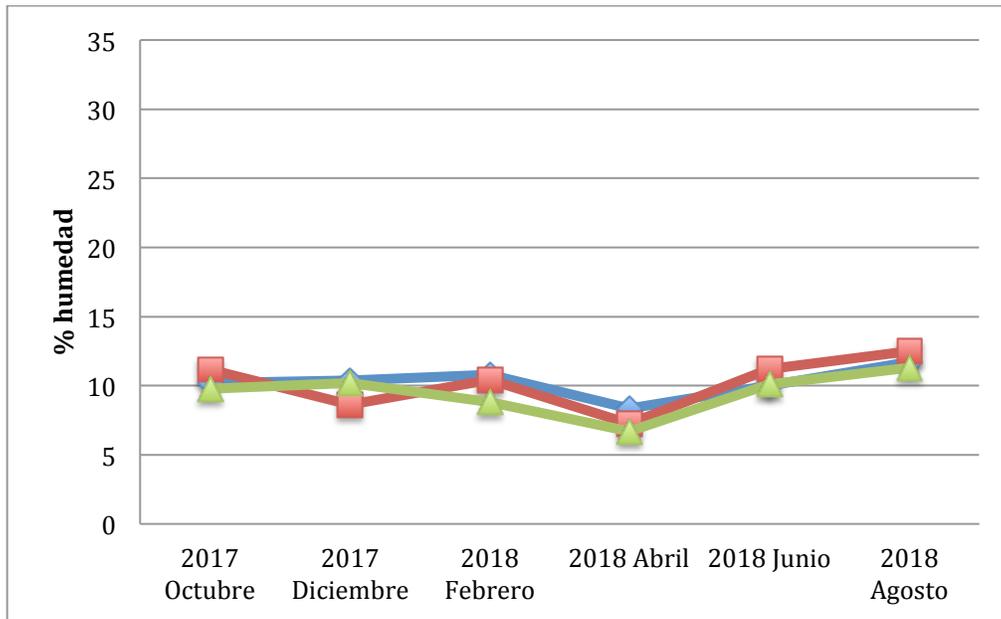


Figura 36. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado en San Marcos de Begoña . Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE.

Los resultados de humedad del suelo en la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado y obras de conservación (figura 37) muestran, que el patrón de variación es similar a las otras UE experimentales donde los valores fluctúan en relación a la precipitación. Sin embargo, los valores mínimos de humedad muestran una variación de entre 8% para el mes de diciembre (con una precipitación nula de 0.3 mm), pero que son mayores que en la unidad de escurrimiento control para el resto de los meses donde la zona media y alta mostraron un rango de valores mínimos de 8 a 20% de humedad del suelo para los meses de estiaje y para el caso de los meses lluviosos con valores de 14 a 30% de humedad, estos valores son definitivamente mucho más altos que los observados en las otras UE. Además de este patrón, también existe una diferencia importante entre las zonas altitudinales: en la UE baja y media los valores de humedad del suelo varían entre 8 y 22%, mientras que en la UE alta la humedad se conserva con porcentajes mayores pues el rango se extiende a 11 y 30% de humedad. Este incremento es 10 puntos porcentuales mayor que en las otras UE.

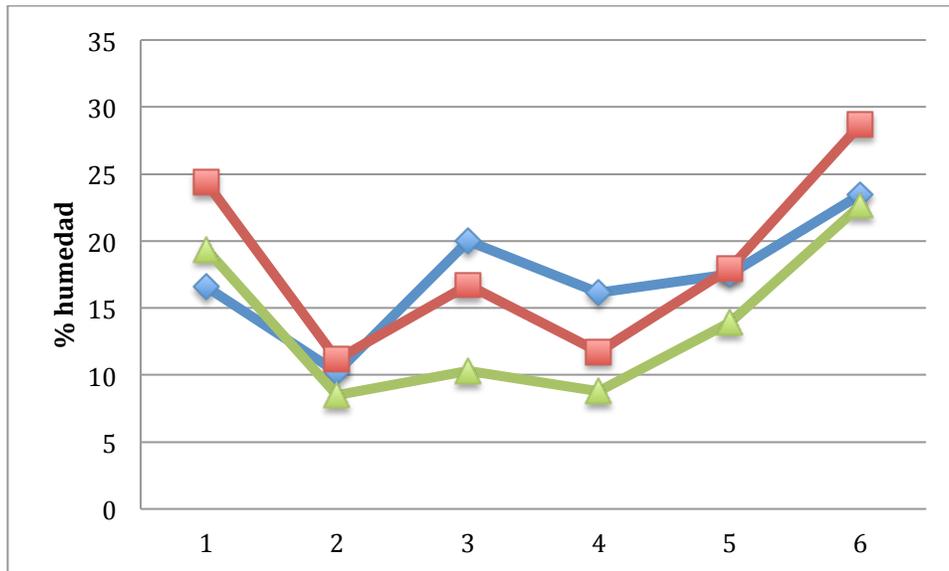


Figura 37. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado + obras de conservación en San Marcos de Begoña . Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE

Existen diferencias en los porcentajes de humedad en el suelo entre las tres unidades de escurrimiento experimentales. Los porcentajes de humedad del suelo más altos se observaron en la UE con exclusión de ganado y prácticas de conservación, pero a diferencia de la unidad que solo tiene exclusión de ganado no permanece con una humedad constante, si no que presenta una mayor variación indicando procesos de retención de agua por periodos más largos de tiempo (figura 38).

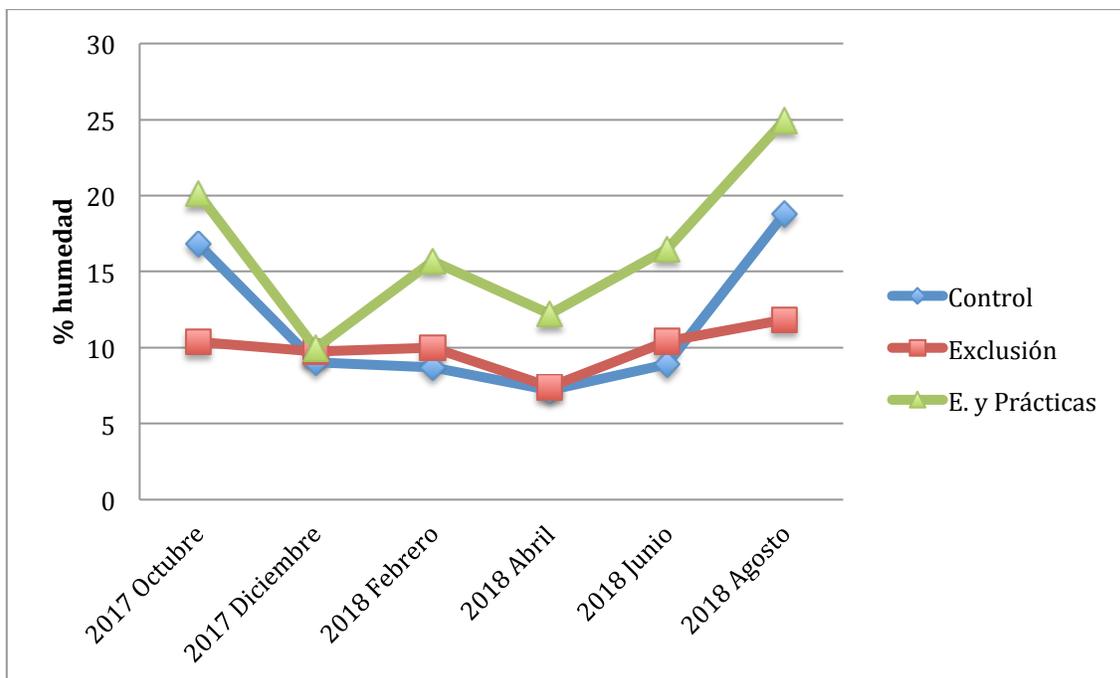


Figura 38. Promedio de la variación temporal del porcentaje de humedad del suelo entre las unidades de escurrimiento con diferentes tratamientos de la unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña.

Discusión

A pesar de que en el mes febrero no es común que se presenten precipitaciones, en el 2018 llovieron 16.8 mm, lo que explica un incremento de valores de humedad en el suelo de las tres unidades de escurrimiento. Dentro de cada unidad las variaciones observadas son mínimas a pesar de las variaciones en la pendiente del terreno, los manchones de vegetación en cada UE y la compactación del suelo no permitió la introducción de las agujas metálicas del aparato muestreador. Estas variaciones se evitaron mediante la toma de cinco lecturas para cada zona altitudinal en cada UE.

Aunque en las unidades CONSABIO de San Marcos de Begoña no se tomaron datos de porcentaje de humedad del suelo al momento de su instalación, los datos mostrados incluyen las estaciones de estiaje y lluvias, que de manera comparativa muestran que la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado más la inclusión de obras sencillas de conservación de suelos, agua y biodiversidad funciona mejor que el manejo convencional y la exclusión de ganado por si sola.

La humedad del suelo, a la luz de los resultados obtenidos es un buen indicador para el manejo de UE bajo diferentes condiciones, sin embargo se debe poner mucha atención a una selección de UE lo más similar posible, pues los resultados de la UE con exclusión de ganado muestran que se trata de una unidad atípica.

En 2010 Martínez y colaboradores obtuvieron una correlación positiva ($r=0.78$) entre la humedad del suelo en temporada de secas y humedad del suelo en temporada de lluvias, concordando con lo obtenido durante la época de muestreo del parámetro humedad de suelo para San Marcos de Begoña. De igual manera obtuvieron que las variables de pendiente y textura del suelo eran las de mayor influencia para explicar el porcentaje de humedad y una correlación significativa entre la pérdida de humedad y el número de árboles, a mayor número de árboles, menor la pérdida de humedad. En este caso, las prácticas de conservación podrían explicar el patrón observado para el porcentaje de humedad de suelo ya que se conoce que ayudan a detener la escorrentía e infiltrar más agua.

Unidad CONSABIO en el ejido Puerto de Nieto

El porcentaje de humedad del suelo en la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, fue monitoreada durante el periodo de febrero-agosto del 2018. El porcentaje de humedad del suelo para la unidad de escurrimiento control, muestra que las zonas altitudinales alta y media se

comportan de la misma manera y conservan casi el mismo porcentaje de agua en suelo a través del tiempo (50%), mientras que la zona baja mantiene valores de porcentaje más bajos (30%) (figura 39).

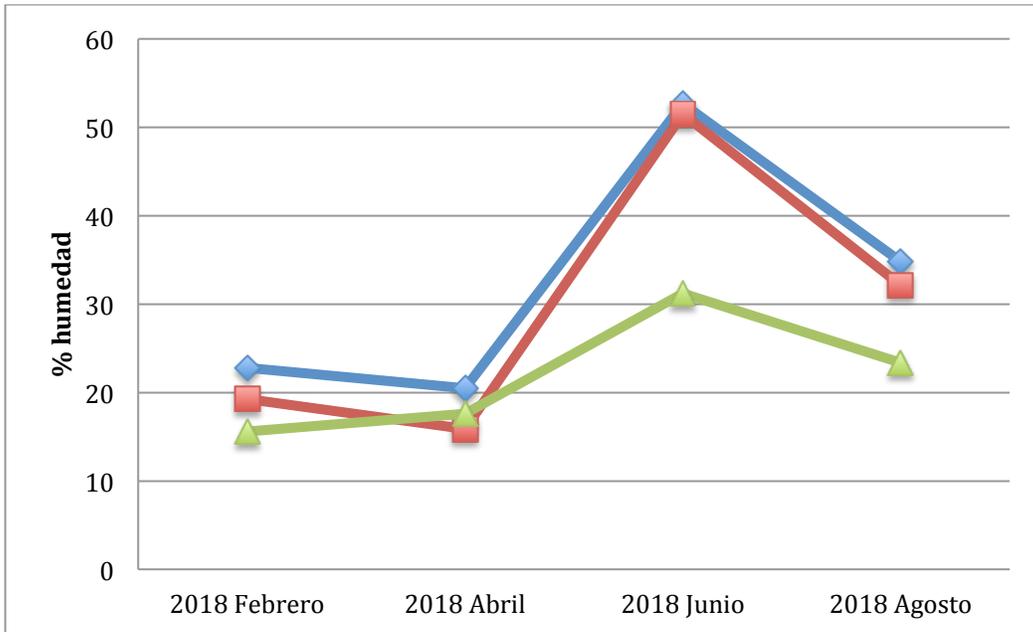


Figura 39. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento Control en ejido Puerto de Nieto. Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE

La unidad de escurrimiento con exclusión de ganado obtuvo los valores más bajos en porcentaje de humedad, en comparación con las otras unidades de escurrimiento (figura 40). Esto podría deberse a la textura del suelo o por el terreno accidentado y su distribución a diferente a los demás ya que tiene mayor pendiente y podría ser factor que incremente el escurrimiento del agua.

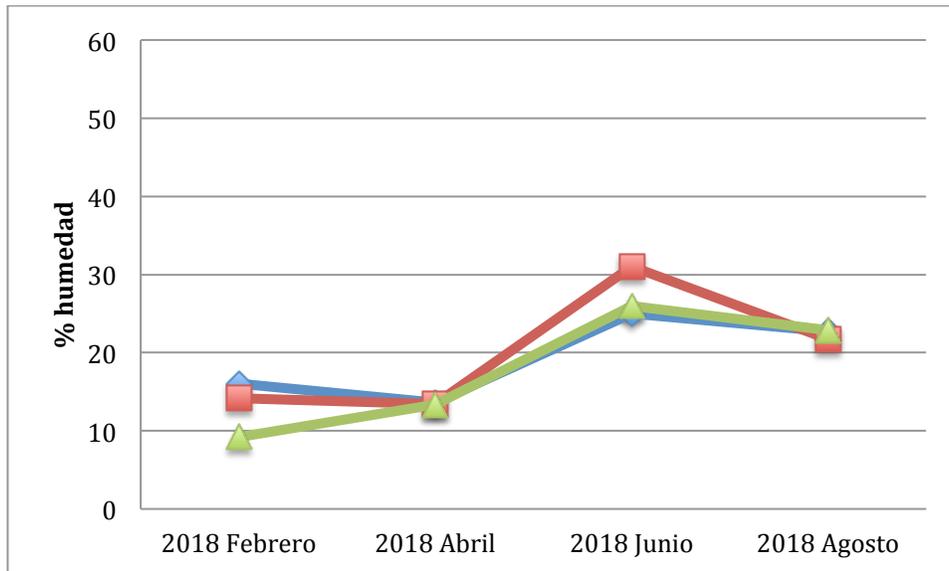


Figura 40. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento exclusión de ganado en ejido Puerto de Nieto. Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE

El comportamiento de humedad en la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado más prácticas de conservación es similar a la observada en las otras dos UE previamente analizadas. Los resultados obtenidos concuerdan con las épocas de lluvia y estiaje. Además de existir comportamiento y porcentaje de humedad de suelo similar entre zonas altitudinales (figura 41).

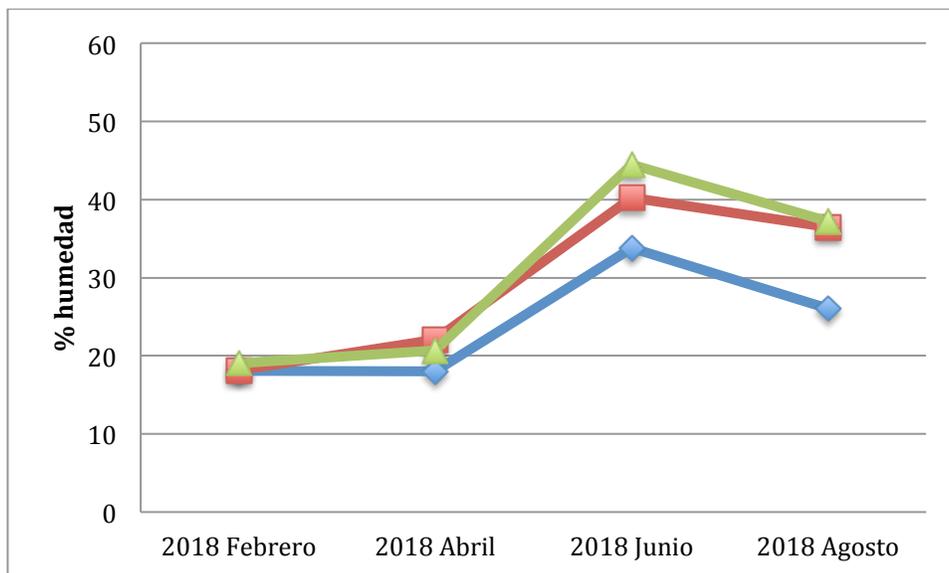


Figura 41. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento exclusión de ganado más prácticas de conservación II en ejido Puerto de Nieto. Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE

El porcentaje de humedad en la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado más prácticas de conservación III (figura 42) muestra que la zona altitudinal baja es la que conserva mayor porcentaje de humedad en suelo, y la zona alta es la que obtuvo porcentajes de humedad menores, a diferencia de lo que pudiera esperarse, ya que según la teoría las partes altas son las que retienen el mayor porcentaje de humedad. Los patrones de porcentaje de humedad concuerdan con la época de estiaje y lluvias.

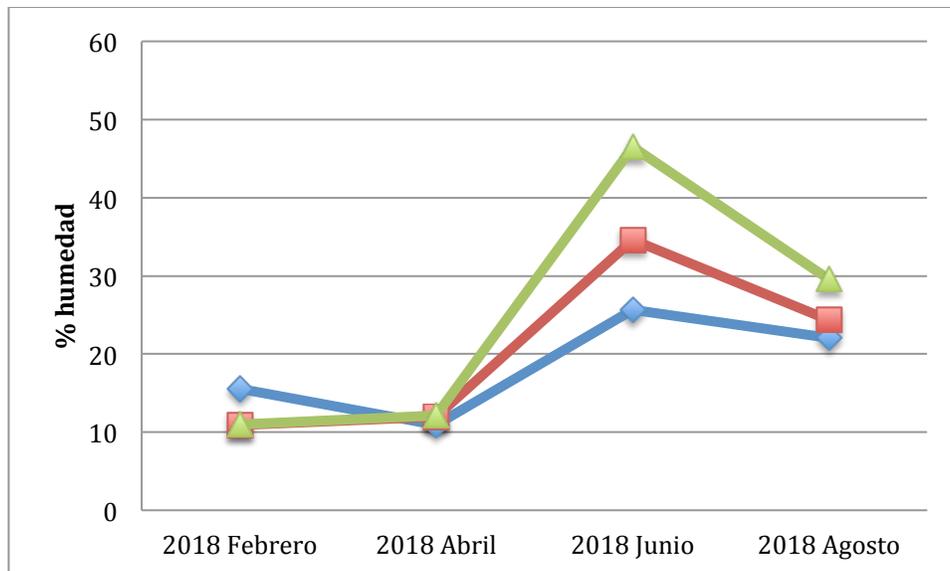


Figura 42. Variación temporal del porcentaje de humedad del suelo en un gradiente altitudinal dentro de la unidad de escurrimiento exclusión de ganado más prácticas de conservación III en ejido Puerto de Nieto. Azul=Parte alta de la UE, Rojo= Parte Media de la UE y Verde= Parte Baja de la UE

El porcentaje de humedad del suelo en las unidades de escurrimiento dentro de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto se comporta de manera similar a través del tiempo (figura 43). La UE control tiene valores más altos de porcentaje de humedad, pero parece que la unidad con exclusión de ganado más prácticas de conservación II conserva mayor humedad en el suelo que la control, a pesar de que ésta última tiene mejor cobertura vegetal, esto se puede asociar a las prácticas de conservación realizadas que frenan la velocidad de escorrentía y permite una mayor infiltración.

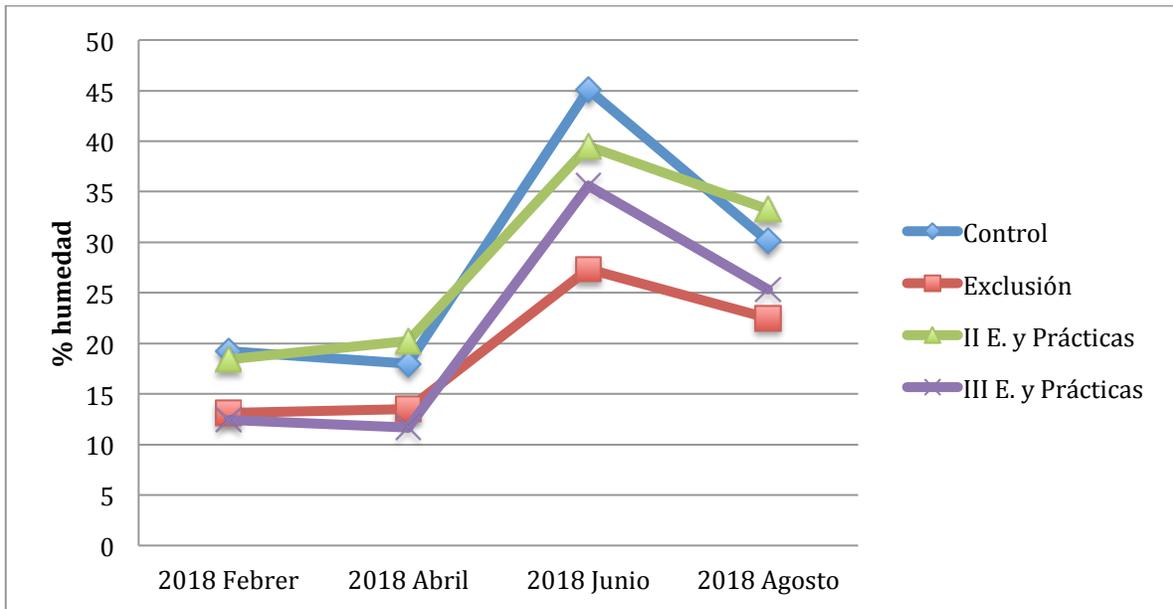


Figura 43. Promedio de la variación temporal del porcentaje de humedad del suelo entre las unidades de escurrimiento con diferentes tratamientos de la unidad CONSABIO en ejido Puerto de Nieto.

Discusión

La tasa de infiltración del agua depende de la textura, la densidad y porosidad del suelo, la estabilidad de agregados y la cobertura vegetal (Cruz, 1982). Se conoce que los suelos arenosos carecen de nutrientes, tienen una alta permeabilidad y poca retención de agua. La textura obtenida para la unidad CONSABIO San Marcos de Begoña podría estar relacionada con los valores de menor porcentaje de humedad, en comparación con los valores encontrados para la unidad CONSABIO en Puerto de Nieto.

De acuerdo a Gómez (2000), los factores que determinan la distribución espacial de la humedad son diferentes según exista o no una cubierta vegetal, puede ser determinada por la orientación del lugar, la curvatura local del terreno o la profundidad del suelo; lo cual explica los resultados obtenidos entre unidades de escurrimiento, ya que existen parches donde la cobertura vegetal es nula o el suelo es nulo ya que presenta exposición de roca madre. Sin embargo, la presencia de la vegetación introduce un factor determinante a la hora de controlar el contenido de humedad en el suelo (Gómez, 2000), lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el muestreo de porcentaje de humedad del suelo en las unidades de escurrimiento. La unidad control es la que tiene mayor porcentaje de cobertura vegetal y de igual manera fue la que obtuvo mayor porcentaje de humedad de suelo.

Contenido de Materia Orgánica

Unidad CONSABIO en el ejido San Marcos de Begoña

A continuación, se muestra el contenido de carbono total para la unidad CONSABIO SMB (figura 44).

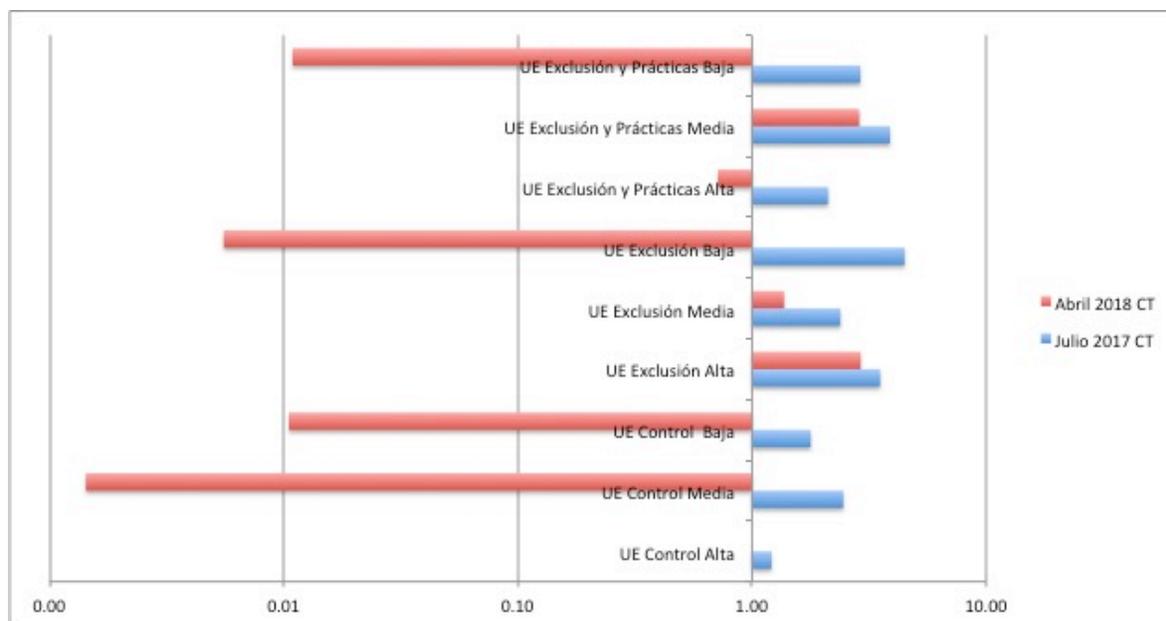


Figura 44. Contenido de carbono total entre julio del 2017 y abril del 2018, en la unidad CONSABIO San Marcos de Begoña

De acuerdo a los valores de referencia para clasificar la concentración de materia orgánica en los suelos (tabla 18), los valores obtenidos para la unidad en ejido San Marcos de Begoña (tabla 19) son valores muy bajos para suelos volcánicos. Los valores de porcentaje de materia orgánica más altos los obtuvieron las unidades de escurrimiento con exclusión de ganado y UE exclusión de ganado más prácticas de conservación (EP), en altitud alta y media. Tanto la UE con exclusión de ganado y UE con exclusión más prácticas de conservación, tienen una accidentada concentración de rocas, en la UE con E se encuentra en la parte alta y en la UE con E.P la zona media es en donde se encuentra la misma particularidad, esto podría permitir la acumulación de materia orgánica en esas áreas.

Retomando la clasificación de suelo de la unidad CONSABIO en el ejido San Marcos de Begoña (feozem lúvico+leptosol), si comparamos las características de los luvisoles que son suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo y bajo contenido en el suelo superficial, son suelos fértiles y apropiados para amplio uso agrícola (FAO, 2008). Nuestros resultados de porcentaje de materia orgánica hablan de suelos pobres, lo cual no corresponde con las características de este tipo de suelo, lo que indica una pérdida de sus características normales.

Tabla 18. Clasificación de la concentración de materia orgánica en suelos.

Clase	Porcentaje de Materia Orgánica	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1-6.0	0.6-1.5
Medio	6.1-10.9	1.6-3.5
Alto	11.0-16.0	3.6-6.0
Muy alto	> 16.1	> 6.0

NOM-021-RECNAT-2000

A diferencia de los valores de carbono total en donde se tiene dos temporadas de muestreo, en el caso para el porcentaje de materia orgánica, es necesario tener valores de porcentaje de carbono orgánico el cual no se pudo obtener en Julio del 2017 por cuestiones del laboratorio CALAGUAS-MAGIC.

Tabla 19. Porcentaje de materia orgánica para Abril del 2018 de la unidad CONSABIO en ejido San Marcos de Begoña

Unidad de escurrimiento	Zona	% de materia orgánica
Control	Alta	0.0016
	Media	0.0018
	Baja	0.0122
Exclusión de ganado	Alta	3.6640
	Media	1.7160
	Baja	0.0201
Exclusión + prácticas de conservación	Alta	0.8816
	Media	3.6143
	Baja	0.0064

Unidad CONSABIO en el ejido Puerto de Nieto

De acuerdo a la tabla de clasificación de la concentración de materia orgánica en suelos (ver tabla 18), la unidad CONSABIO en Puerto de Nieto también presenta valores muy bajos de M.O. pero, entre las cuatro unidades de escurrimiento, la UE control es la que presenta valores por debajo del 1 % (tabla 20).

Tabla 20. Porcentaje de materia orgánica para el mes de Abril del 2018 de la unidad CONSABIO en ejido Puerto de Nieto

Unidad de escurrimiento	Zona	% de materia orgánica
Control	Alta	0.0040
	Media	0.0055
	Baja	1.3489
Exclusión de ganado	Alta	0.8073
	Media	2.6097
	Baja	1.3629
II Exclusión y prácticas de conservación	Alta	1.3605
	Media	3.1321
	Baja	3.0414
III Exclusión y prácticas de conservación	Alta	1.5533
	Media	2.7042
	Baja	2.6748

Discusión

La materia orgánica posee una influencia significativa sobre la calidad del suelo y su productividad ya que incide directamente sobre propiedades edáficas como estructura y disponibilidad de carbono y nitrógeno. La materia orgánica y el pH son indicadores de la capacidad productiva del suelo. Silva (2004) encontró que la relación materia orgánica/textura limo+arcilla resultó ser un indicador más sensible que la materia orgánica por sí sola, ya que la pérdida de materia orgánica fue más intensa en suelos de textura más fina. Aunque Matus y Maire (2000) infieren que es el grado de saturación el que explica esa relación y no la textura, ya que las fracciones de arcilla y limo en suelos arenosos se encuentran más libres, mientras que en suelos arcillosos forman densos paquetes de agregados. Por lo tanto, la superficie específica disponible para retener materia orgánica del suelo es muy superior en suelos arenosos que en suelos arcillosos. A pesar de esa disyuntiva, es importante considerar que la UE control de San Marcos de Begoña que tiene textura arenosa es la que obtiene valores más bajos de porcentaje de materia orgánica (ver tabla --) que podrían estar influenciados por ser más sensibles a la pérdida de materia orgánica. En el caso de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto no parece haber una relación entre estos factores para explicar el porcentaje de materia orgánica respecto a sus características de textura.

El contenido de materia orgánica del suelo afecta su pH, debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (Aguilera, 2000). De acuerdo a un

estudio realizado por Wong y colaboradores (2000), el pH del suelo aumentó 1.7 unidades durante los primeros 14 días al incubarlo con humus de poda de ramillas de árboles. En las unidades CONSABIO San Marcos de Begoña y Puerto de Nieto, no se observaron cambios importantes en el pH a través del tiempo pero, no se aplicaron prácticas de adición de humus. Sin embargo, es posible que el incremento en la descomposición de la vegetación permita que este proceso se lleve a cabo en el futuro, y por lo tanto en el tiempo se puedan observar incrementos en el pH.

La materia orgánica de los suelos nos puede hablar sobre la calidad de éstos, por ejemplo, los suelos de alta calidad son mejores productores de comida y fibra, además de jugar un papel en la mejora de la calidad de aire y del agua (Gregorich *et al*, 1994). El contenido de MO incrementa la estabilidad del suelo, con una mejor estructura del suelo mejora la capacidad del suelo de absorber y retener agua, además de que éste puede limitar el crecimiento radicular de las plantas. En la unidad CONSABIO de Puerto de Nieto, existe la propuesta de convertirse en área de producción de harina de mezquite, para esto, se plantarán 2,000 árboles. Es importante mejorar el porcentaje de materia orgánica en el suelo para mejorar el almacenamiento de nutrientes, actividad biológica y estructura, para así aportar suelo de calidad para el establecimiento y desarrollo de las plantas de mezquite.

Los suelos feozem se caracterizan por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes (INEGI, 2004); en ambas unidades CONSABIO el porcentaje de materia orgánica es bajo, lo que nos habla de una pérdida de propiedades. Son suelos fácilmente erosionables pero, con las unidades CONSABIO esperamos poder recuperar la materia orgánica de los suelos.

Evaluación de Agua

Calidad del agua

Contenido de Coliformes Fecales

De acuerdo a la tabla 3 (ver sección de metodología) que habla sobre los criterios ecológicos de la calidad de agua, el límite permisivo de coliformes totales/100ml para agua recreativa que esté en contacto directo es menor a 200 y para agua de riego agrícola o abastecimiento para potabilización de agua el límite es 1000 coliformes totales /100ml. Los valores obtenidos en el muestreo de coliformes fecales y totales para las unidades de escurrimiento en la CONSABIO de San Marcos de Begoña, llegan a rebasar las 1300 coliformes fecales para la UE control y sobre pasa las 500 para la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado. Estos valores pueden ser significativos porque la unidad CONSABIO se encuentra

arriba de un arroyo que es utilizado como recreativo en época de lluvias, lo cual nos indica que el agua no es apta para ese tipo de actividades y sería importante notificar de ello a la comunidad (figura 45).

Los resultados obtenidos para la concentración de coliformes totales en las unidades CONSABIO en San Marcos de Begoña y Puerto de Nieto se comportan de la misma manera en las unidades control y con exclusión y prácticas de conservación. Parecen indicar que las prácticas de conservación ayudan a disminuir la cantidad de coliformes fecales.

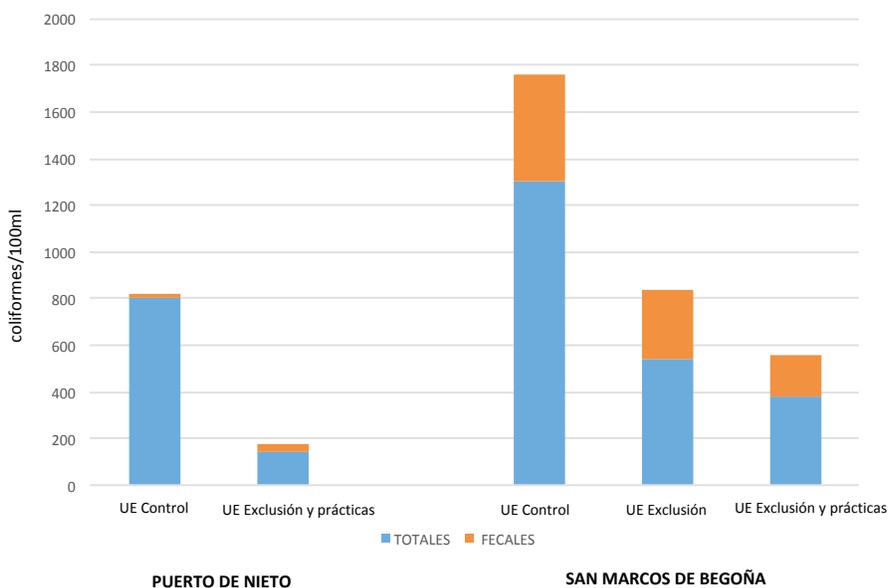


Figura 45. Parámetro de coliformes totales y fecales para las unidades CONSABIO Loma de Dimas en ejido Puerto de Nieto y Puente del Fraile en ejido San Marcos de Begoña, tomadas en septiembre del 2018.

Discusión

Es interesante observar que la unidad CONSABIO de Puerto de Nieto obtuvo valores menores a los de la unidad CONSABIO de San Marcos de Begoña, a pesar de que ésta tenga menor tiempo de establecimiento. Estos valores podrían estar explicados por la diferencia en cuanto al área de las unidades de escurrimiento, Puerto de Nieto son de 10 hectáreas y las de San Marcos de Begoña son de una hectárea, además de que las prácticas de conservación de línea de piedra fueron establecidas de sin separación de largo y a cinco metros de distancia entre la siguiente línea abajo y en el caso de SMB se establecieron con dos metros de separación de largo y hacia abajo.

El monitoreo de contenido de coliformes fecales y totales en los escurrimientos es importante porque en el caso de San Marcos de Begoña, la parte de abajo de la unidad CONSABIO es utilizada con fines recreativos y el establecimiento de prácticas de manejo como la exclusión de ganado y estructurales pueden disminuir el riesgo de contraer enfermedades causadas por estas bacterias. De igual manera, el contenido de coliformes es un factor importante para la unidad CONSABIO PN porque, la comunidad tiene un pozo de agua establecido en esa zona, y disminuir los valores de coliformes fecales y totales puede significar una mejoría a su salud y calidad de agua.

Cobertura Vegetal

En la unidad CONSABIO de San Marcos de Begoña, el porcentaje de cobertura vegetal para las unidades de escurrimiento control y exclusión de ganado presentan patrones similares por zonas de altitud, en la zona baja se obtuvieron valores de cobertura más altos en comparación con las zonas media y baja que tienen porcentajes similares. En cambio, la UE con exclusión de ganado más prácticas de conservación obtuvo el porcentaje de vegetación más alto en la zona media de la unidad y en la zona baja se obtuvieron valores dentro de los rangos de las UE control y con exclusión de ganado (figura 46).

La media del porcentaje de vegetación para las UE con manejo es similar, a diferencia de la UE control que esta al menos 12 puntos porcentuales por debajo de las UE con exclusión de ganado y exclusión más prácticas. Esta unidad CONSABIO tiene un año de haber sido establecida así que, la información obtenida muestra datos confiables de la importancia que tiene la exclusión del ganado en el manejo de cuencas.

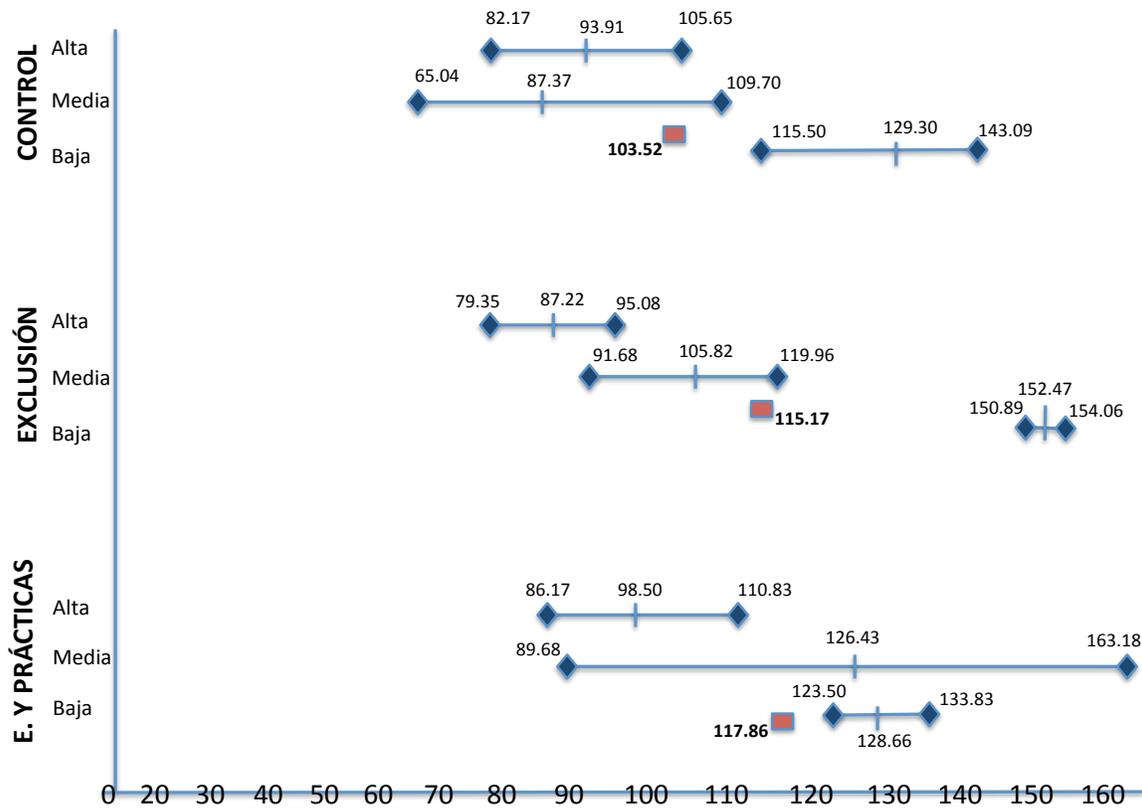


Figura 46. Cobertura vegetal unidad CONSABIO en el ejido San Marcos de Begoña

El porcentaje de cobertura vegetal para la unidad CONSABIO en Puerto de Nieto (figura 47) muestra la disparidad que existe entre las unidades de escurrimiento, la unidad control muestra los porcentajes más altos y una uniformidad de vegetación entre sus zonas de altitud. Seguida de la UE control, se encuentra la unidad de escurrimiento II con exclusión de ganado más prácticas de conservación, en ella, la zona media es la que tiene porcentajes más altos de cobertura vegetal, pero también son los más bajos de toda la unidad.

En cuanto a la media del porcentaje de cobertura vegetal la unidad de escurrimiento control tiene valores, más altos que las unidades con exclusión.

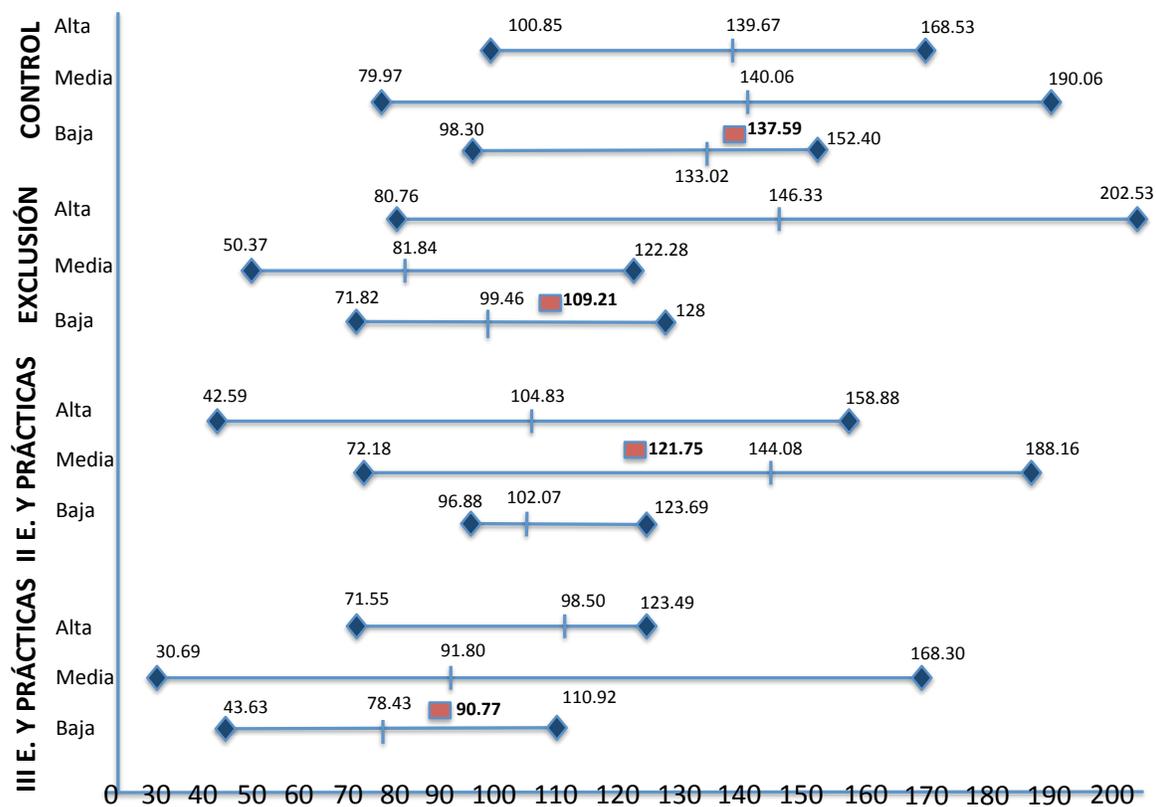


Figura 47. Cobertura vegetal unidad CONSABIO en el ejido Puerto de Nieto

Discusión

Los valores de cobertura vegetal para la unidad CONSABIO de la Loma de Dimas en el ejido Puerto de Nieto, muestran características totalmente diferentes entre sus UE experimentales, por ello, será importante tomarlo en cuenta para el futuro monitoreo en la unidad. Es pues, una unidad control no representativa de la zona experimental (figura 48).

La cobertura vegetal es importante para este tipo de unidades de escurrimiento en donde se tienen parches con roca madre expuesta y cobertura vegetal muy escasa, se espera que la exclusión del ganado proporcione una ventana temporal para el crecimiento del pasto nativo, además de la colaboración que se espera de la reforestación llevada a cabo dentro de las unidades de escurrimiento experimentales. La recuperación de cobertura vegetal puede ser primordial para los parches de suelo desnudo, por ejemplo, Belmonte y colaboradores (1999) encontraron que en condiciones semiáridas al aumentar la cobertura vegetal del 5 al 15% en suelos desnudos se disminuye la erosión hídrica.

Los resultados obtenidos de porcentaje de humedad en suelo de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, se relacionan con la distribución de cobertura vegetal entre las unidades de escurrimiento que se pueden apreciar en la figura 40.

De acuerdo a la FAO (2008) los feozem son suelos en donde su vegetación natural es pastizal, son suelos porosos y fértiles, los resultados del monitoreo de textura del suelo, porcentaje de materia orgánica y porcentaje de cobertura vegetal muestran una realidad diferente a sus características. Encontramos parches de suelo desnudo dentro de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto y porcentaje pobre de materia orgánica para ambas unidades CONSABIO. De igual manera la distribución de la textura de suelos habla de una pérdida de suelo, todo esto podría deberse al manejo de agostadero que se le ha dado. Los indicadores que utilizamos sientan la base del estado actual de las unidades CONSABIO y de acuerdo a las características del suelo feozem lúvico+leptosol y feozem háplico+leptosol sabemos que con el proceso de restauración iniciado en las unidades de escurrimiento con exclusión de ganado más prácticas de conservación podemos esperar recuperar la estructura y función del suelo.

La calidad del suelo incluye la evaluación de sus propiedades y de los procesos que se relacionan con su capacidad de funcionar adecuadamente como un componente del estado de integridad del ecosistema. Determina la sobrevivencia y crecimiento de las plantas, dentro de sus funciones están la capacidad de producir biomasa, reciclar nutrientes, almacenar carbono, controlar las transformaciones de energía, fijación o eliminación de contaminantes, retener agua y regular el ciclo hidrológico (Schoenholtz et al, 2000). Por lo tanto es muy importante regenerar la calidad del suelo cuando se haya perdido pero primero, hay que conocer su estado actual.

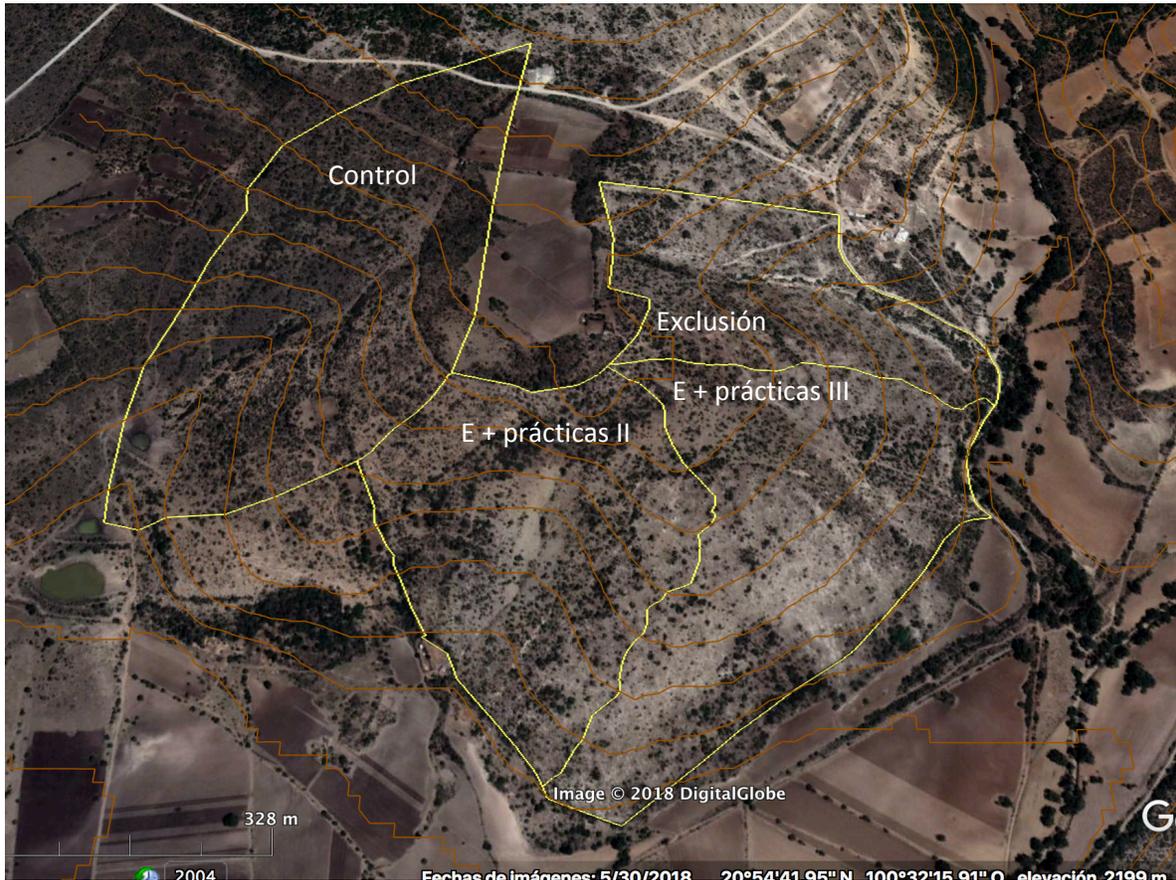


Figura 48. Imagen satelital de las unidades de escurrimiento en Loma de Dimas, ejido Puerto de Nieto (imagen obtenida de google earth)

Índices de biodiversidad

Para la medición de los índices de diversidad se hizo por unidad de escurrimiento, la unidad CONSABIO San Marcos de Begoña tiene tres UE: SM1, SM2 y SM3 (1 en figura 49); en la unidad Puerto de Nieto se tienen cuatro UE: PN1, PN2, PN3 y PN4 (2 en figura 49), y así es como se presentarán los resultados.

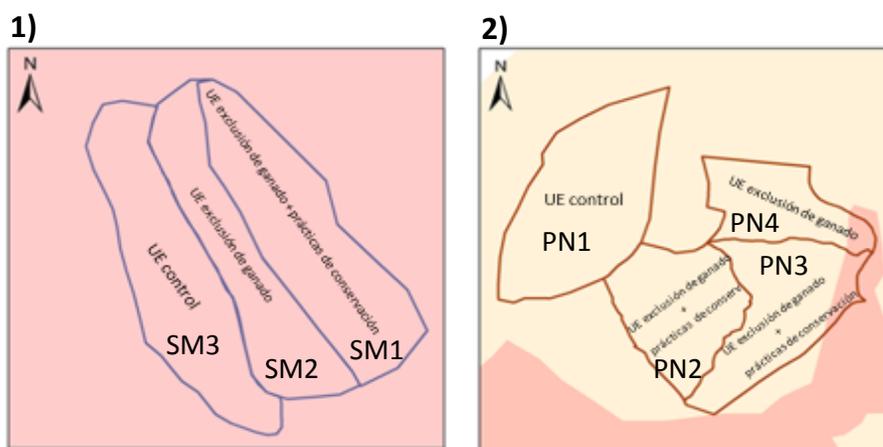


Figura 49. 1) Unidad CONSABIO San Marcos de Begoña y 2) Unidad CONSABIO Puerto de Nieto.

	SM1	SM2	SM3	PN1	PN2	PN3	PN4
Riqueza especies	12	12	11	16	17	17	14
# individuos	286	298	423	866	923	963	799
Índice de Simpson							
D=	.659	.671	.655	.708	.714	.686	.658
Índice Shannon							
H=	2.11	2.14	2.04	2.42	2.46	2.36	2.16

Discusión

La riqueza de especies obtenida para la unidad CONSABIO San Marcos de Begoña no varía entre la unidad de escurrimiento control y con exclusión de ganado; la UE con exclusión de ganado más prácticas de conservación tiene una especie menos que las otras dos unidades. En el caso de la unidad CONSABIO Puerto de Nieto, las dos unidades de escurrimiento que son con exclusión de ganado más prácticas de conservación mantienen el mismo número de especies y la que tuvo el menor número de especies fue la unidad con exclusión de ganado. Es importante mencionar que las especies utilizadas no contemplan pastos, lo cual podría

generar una diferencia mayor entre unidades de escurrimiento y que deberían ser tomadas en futuras mediciones.

En San Marcos de Begoña, a pesar de que la unidad de escurrimiento con prácticas de conservación más exclusión de ganado tuvo menos riqueza de especies en comparación con las otras UE, fue la que obtuvo un mayor número de individuos; esto podría estar dado por su cercanía con un barranco, el cual dificulta el paso de ganado. En el caso de Puerto de Nieto, nuevamente las unidades con mayor número de individuos son las unidades con exclusión de ganado más prácticas de conservación, siguiendo la UE control y la UE solo con exclusión de ganado la que tiene el menor número de individuos; lo cual podría estar explicado porque es la UE con menor área y la UE control abarca zonas de cultivo.

De acuerdo al índice de Simpson, las unidades CONSABIO San Marcos de Begoña y Puerto de Nieto tienen valores de diversidad no alta, al igual que el valor de Shannon se considera bajo pero concuerda con valores encontrados para zonas desérticas. Es importante mencionar que los valores del índice de Shannon y Simpson no comparten unidades entre sí, por lo que sus valores no se pueden comparar directamente.

Discusión general del monitoreo

Para la restauración de ecosistemas, una de las prácticas a las que se recurre usualmente es la siembra de especies nativas, sin embargo, para realizar una verdadera restauración se debe recuperar no solo la estructura sino también las funciones y las del suelo están entre las más importantes (Ohsowsky et al, 2012). La supervivencia de la reforestación durante el primer año depende de diferentes factores como: la calidad de la planta, la ejecución de la plantación, la climatología del año de plantación (Alloza y Vallejo, 1999), la preparación y las características edáficas o calidad del suelo. Para el caso específico de la unidad CONSABIO en Puerto de Nieto se realizó reforestación por parte de la Dirección de Medio Ambiente y Ecología, será necesario hacer un monitoreo del éxito de sobrevivencia de las plantas comparando las UE experimentales y el posible efecto de su manejo.

El contenido de materia orgánica en el suelo, depende del clima, vegetación, relieve, material parental y el tiempo; Evaluar su contenido es un paso importante para identificar la calidad de un suelo.

Leirana y Bautista (2014) encontraron que para situaciones donde el ambiente del área de estudio presenta condiciones consideradas como adversas o estresantes para el desarrollo de la vegetación, estas condiciones hacen que la presencia de árboles y arbustos sea importante, ya que son capaces de generar un tipo de “isla de fertilidad”, en donde se

encuentran fragmentos de hábitat rico en nutrientes, humedad y materia orgánica, rodeados de una matriz en la que los suelos tienen baja fertilidad y escasa cobertura vegetal. Ello podría ser importante para el monitoreo en la unidad CONSABIO en Puerto de Nieto, ya que existen parches de suelo expuesto y sin vegetación dentro de estas (figura 49), se propone tomar muestras de suelo en parches de vegetación y en donde la vegetación es inexistente y comparar los resultados con las especies vegetativas para saber si alguna especie en especial es la que genere mayor contenido de materia orgánica y con eso replantear las especies utilizadas en la reforestación. Además, de que en ambientes semiáridos los arbustos juegan un papel determinante en el micro hábitat de otras especies, como los pastos y otras especies importantes de la biodiversidad como las cactáceas y es importante considerar su función dentro de la restauración de cuencas.



Figura 49. Parches sin cobertura vegetal y exposición de roca. En unidad CONSABIO Puerto de Nieto

Los indicadores deben describir los procesos del ecosistema, integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, ser sensitivas a variaciones de clima y manejo ser reproducibles, fáciles de entender y ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica (Doran y Parkin, 1994).

Varios autores (Doran y Parkin 1994; Martin et al, 1998; Arshad y Martin, 2002) proponen que el monitoreo debe tener indicadores de carácter físico y químico como: materia orgánica, profundidad de la capa superior del suelo, pH, conductividad eléctrica, respiración del suelo, disponibilidad de nutrientes, textura, densidad aparente e infiltración. Sin embargo

hay autores que argumentan se necesita contar con indicadores que midan la biodiversidad y actividad de comunidad de organismos que son determinantes en procesos ecológicos y de estructuración del suelo, para saber si responden al disturbio (Harris, 2003). Este trabajo provee información del estado inicial de las unidades CONSABIO, las mediciones de contenido de materia orgánica, pH y humedad del suelo son esenciales para entender el proceso de recuperación de calidad o salud. Se esperaría obtener valores más altos de contenido de materia orgánica y porcentaje de humedad en un futuro ya que, los suelos de ecosistemas degradados se caracterizan por almacenar menos materia orgánica, que se traduce en una menor capacidad de retención hídrica, que también está asociado a un proceso de acidificación o reducción del pH del suelo y que limita la disponibilidad de nutrientes a las plantas (McKinley et al, 2005) y con las unidades CONSABIO la exclusión del ganado y la implementación de prácticas de conservación deberían permitir la recuperación de la calidad del suelo.

De acuerdo a Dourojeanni (2006) el conocimiento de la dinámica de la cuenca debe cubrir amplia gama de variables, hacer uso de la mejor tecnología disponible y si es posible medir en tiempo real, para conocer el impacto que pueden causar las alteraciones en la dinámica de la cuenca sobre el ambiente, los sistemas de producción y la sociedad.

Para abordar la complejidad de las interacciones dinámicas entre los componentes de las cuencas, subcuencas y unidades de escurrimiento, es importante ofrecer un diagnóstico entre sus componentes en el tiempo y a lo largo de la cuenca, subcuenca o unidad de escurrimiento (Cotler y Caire, 2009). Este trabajo a pesar de haber tenido dificultades en cuanto a los tiempos de monitoreo y los parámetros utilizados, sienta una base sobre la estructura de las unidades CONSABIO y futuros muestreos podrán confirmar los cambios significativos entre tratamientos.

La necesidad de generar programas de monitoreo para poder medir la efectividad de la restauración en términos cuantitativos y de reproducción de la metodología, sigue siendo necesario. Existen dos enfoques para medir su éxito: maximizar la eficiencia del ecosistema con respecto a su función o el más conocido, regresar al ecosistema a las condiciones iniciales previas al disturbio. Para lograr cualquier de los dos enfoques es necesario periodos de tiempo largos, por lo cual este trabajo sienta las bases del estado actual de las unidades CONSABIO.

La rehabilitación de una cuenca se debe evaluar a partir de una serie de indicadores que representen de una forma cuantificable la estructura, composición y el funcionamiento del área en proceso de recuperación (Herrick et al, 2006). Requiere de un compromiso de

mediano a largo plazo para mostrar los resultados esperados, por ello, es importante mencionar que conlleva un alto nivel de incertidumbre por la complejidad de los factores implicados en el proceso como, los cambios en las situaciones socioeconómicas, el cambio continuo del entorno biofísico y la naturaleza experimental de las metodologías aún en desarrollo. Es así que, el monitoreo brinda información sobre el funcionamiento de las estrategias para lograr finalmente, la restauración.

En un proceso de restauración, el éxito incluye la valoración de resultados obtenidos con relación a los esperados que se propusieron previamente en los objetivos, en este sentido este trabajo ofrece datos base sobre la estructura de las unidades CONSABIO proponiendo un monitoreo a futuro que nos pueda hablar sobre el funcionamiento de las mismas, ya que un año no ofrece cambios significativos en los indicadores utilizados tales como: pH, textura, cobertura vegetal, ya que la información que dan es a largo plazo.

El muestreo se debe realizar en las zonas a restaurar así como en zonas de referencia en donde se encuentre el ecosistema original o en el mejor estado de conservación dentro de la misma zona ecológica, en este caso específico de las unidades CONSABIO San Marcos de Begoña y Puerto de Nieto, ambas se encuentran bajo niveles de perturbación y es algo importante a considerar.

Conclusiones sobre la gestión, implementación y monitoreo de las unidades CONSABIO

Una primera conclusión de este trabajo, es acerca del tiempo de gestión y el alcance de las unidades CONSABIO. Se detectó que entre más actores estén involucrados en el proceso de gestión, la implementación de las unidades CONSABIO puede llegar a retrasarse, ya que la experiencia mostró que trabajar directamente con los ejidatarios (unidad CONSABIO de San Marcos de Begoña) que son dueños de la tierra, facilita la decisión de aceptar o rechazar la propuesta. En cambio, cuando no sólo intervienen los ejidatarios, sino otros actores como empresarios, la Dirección de Medio Ambiente y Ecología, y los delegados, hay que respetar tiempos administrativos que retrasan la toma de decisiones y acciones. Sin embargo, el que intervengan más actores en éste proceso da la posibilidad a tener unidades de conservación de suelo, agua y biodiversidad de mayor área y alcance. Los tiempos de gestión pueden ser muy variables e involucrar a una diversidad de actores; en este proyecto contamos con la ventaja de tener durante tres años las unidades CONSABIO disponibles para su monitoreo.

Una segunda conclusión del proyecto es que la participación de los habitantes de las comunidades es esencial para el establecimiento de las unidades CONSABIO. La participación

en la implementación fue facilitada con la capacitación campesino a campesino pero, requirió constante acompañamiento externo.

Como tercera conclusión, las condiciones de pobreza, falta de estabilidad laboral y la migración son factores que prevalecen en las comunidades, lo cual dificulta la adopción y promoción de la protección, conservación y restauración de sus recursos naturales, al no sentir pertenencia con el territorio donde viven. Participar en proyectos de restauración de su comunidad, contribuyó a disminuir la brecha que existe entre su entorno y el cuidado de sus recursos naturales, siempre y cuando exista acompañamiento, capacitación y continuidad del proyecto.

La quinta conclusión se refiere a los datos preliminares del monitoreo, los que indican que los procesos de restauración en la unidad de escurrimiento con exclusión de ganado más prácticas de conservación son más eficientes que las unidades control. Por lo que este monitoreo nos permite sentar una línea base para el futuro y explorar las dificultades técnicas y económicas para su implementación a mediano y largo plazo.

La sexta y última conclusión es, que las unidades CONSABIO se pueden medir, delimitar, monitorear y cuentan con la participación de las comunidades rurales favoreciendo una mejor relación con el entorno natural. Por esto, consideramos que esta estrategia basada en el enfoque de cuencas para la recuperación de la función de la subcuenca, además de ser replicable, se puede extrapolar a diferentes socio-ecosistemas y representa una estrategia que muestra resultados en cortos períodos de tiempo, lo que facilita su adopción.

RECOMENDACIONES

El gestionar los espacios para implementar unidades CONSABIO, puede ser a través de dos procesos, el directo y el indirecto. En el primer proceso, se interviene directamente con la comunidad, con la oportunidad de llegar a acuerdos en tiempos cortos y sin la intervención de intermediarios. En el caso del segundo proceso, que es a través de intermediarios y con la participación de gobierno, el tiempo obedece a acuerdos grupales, objetivos particulares y en conjunto, además de obedecer a tiempos administrativos, lo que puede extender el lapso de gestión. Sin embargo, es importante mencionar que la participación de actores como empresas y gobierno permite que las unidades de conservación de suelo, agua y biodiversidad tengan mayor área, financiamiento continuo, proyectos productivos y de ecoturismo, además de que se puedan replicar en otras zonas de la subcuenca en donde gobierno intervenga como actor principal con asesoramiento de parte de la academia. También permite mantener continuidad y apropiación del proyecto por parte de la comunidad a intervenir.

La participación de los habitantes de las comunidades en la gestión y establecimiento de la unidad CONSABIO, es de suma importancia. Este método permite generar procesos de apropiación al proyecto, les da pauta a reconocer diferentes tipos de degradación que se generan en los espacios dentro de su comunidad, con oportunidad a que ellos puedan atenderlos, con la capacitación proveída. Es importante mencionar que, la intervención de parte del asesor técnico en unidades CONSABIO fue continuo, lo que permitió crear lazos de confianza con la comunidad, impactando en su actitud hacia el trabajo y la continuidad en el proyecto; se recomienda que ésta relación exista.

El establecimiento de las unidades CONSABIO debe realizarse en época de estiaje. Se recomienda tomar en cuenta la extensión del área ya que en el cercado para la exclusión de ganado el material postas y malla borreguera ocupa un gasto considerable. Se pueden utilizar cercados que ya estén en la zona para disminuir estos costos, también hay que considerar las características del terreno, pero en general se recomienda poner postas a una distancia no mayor de 5 metros entre cada una. En cuanto a la contigüidad de las unidades de escurrimiento control, UE con exclusión de ganado y la UE con exclusión de ganado más prácticas de conservación, es importante considerar que puede existir variabilidad en la pendiente, altitud, porcentaje de cobertura vegetal y características edafológicas y deberán ser consideradas en los resultados obtenidos del monitoreo. La unidad de escurrimiento control deberá tener características similares a las unidades experimentales o podrán encontrar resultados de monitoreo como los que se obtuvieron en este trabajo, en donde la UE control estaba en mejor estado en comparación a las experimentales.

El monitoreo de las unidades CONSABIO debe ser sistematizado, recomendamos que los puntos de muestreo sean georreferenciados y marcados físicamente en el sitio para poder tener certeza de cambios en los resultados obtenidos. Será importante realizar el muestreo abarcando las diferentes estaciones del año para observar el comportamiento de la unidad de escurrimiento. La periodicidad de muestreo dependerá de cada indicador utilizado.

Consideramos que la textura y pH del suelo son indicadores que deben seguir siendo monitoreados para sentar base de la estructura de la UE y para poder observar cambios a futuro.

El muestreo del factor agua en las unidades de escurrimiento tuvo limitaciones. La medición de coliformes fecales solo puede hacerse cuando hay flujo de agua en las unidades de escurrimiento, la cual sucedió después de temporadas constantes de lluvia y el tiempo de duración del escurrimiento es corto, así que se deben hacer visitas constantes al sitio para poder encontrar el fenómeno; pero se recomienda monitorearlo para saber cómo influye la

exclusión de ganado en este factor. La medición de flujo de agua por medio de aforadores Parshall tipo H, es recomendable utilizarlos si se cuenta con tres y si la UE no es mayor a 5ha, hay que considerar que se deben construir canales para direccionar el agua a la entrada de éste; también se debe contar con el aparato levellogger que se encarga de medir la cantidad de agua que escurre y en qué tiempo.

El porcentaje de humedad del suelo, es un indicador base para entender el comportamiento de la unidad de escurrimiento, sus valores se pueden relacionar con la textura del suelo, la inclinación del terreno y la cobertura vegetal. Se recomienda muestrear una vez al mes para monitorear el comportamiento del suelo en temporadas de lluvias y secas, así como la conservación de la humedad entre estas estaciones. También se recomienda hacer el muestreo con los mismos días de diferencia entre uno y otro.

El contenido de Nitrógeno debe ser incluido en el análisis de materia orgánica porque, se ha visto que el N es uno de los elementos más dinámicos en los suelos, que responde rápidamente a diferentes manejos y entre más información se pueda tener en las interacciones que suceden a nivel de suelo ayudarán a entender los procesos de restauración del ecosistema.

El manejo actual que se le da a la zona en donde están localizadas las unidades CONSABIO es de agostadero, la compactación del suelo puede ser provocada por este tipo de manejo. Ésta genera costras superficiales que reducen el desarrollo de las raíces, el movimiento capilar del agua y la infiltración de agua y aire, teniendo como consecuencia el incremento de la escorrentía y la erosión hídrica del suelo. Éste factor no fue tomado en cuenta para el monitoreo y creemos que medir la resistencia de penetración del suelo podría ser un buen indicador para entender la dinámica entre la compactación y las propiedades del suelo.

Como indicadores a corto plazo se recomienda utilizar porcentaje de cobertura vegetal de pasto, al igual que riqueza de especies de pasto, ya que es lo primero en modificarse al excluir el ganado; éste puede ser monitoreado cada 6 meses en época de sequía y en lluvias.

Se recomienda tomar muestras de suelo con especies vegetativas representantes de la unidad de escurrimiento y medir porcentaje de materia orgánica de suelo para encontrar si existe una asociación significativa entre éste y alguna especie vegetal, ya que se ha visto que algunas especies arbustivas pueden tener una asociación significativa con el contenido de materia orgánica y contenido de nitrógeno total.

El estudio de algunos parámetros biológicos de los suelos, como la biomasa microbiana y su actividad respiratoria, pueden servir como bioindicadores a los cambios que están ocurriendo sobre la materia orgánica y sobre su estado ecológico de los suelos.

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de éste, no es fácil de mejorar, así que también proponemos agregar como indicador la profundidad del suelo superficial porque éste parámetro podría ser significativo dentro de la unidad CONSABIO en ejido Puerto de Nieto, ya que hay espacios en los cuales no existe suelo, sino que, la roca madre está expuesta y cualquier acumulación de sedimento puede ayudar a la formación de suelo y consecutivamente de vegetación.

Referencias

- Acevedo E., Carrasco M., León O., P. Silva, G. Castillo, I. Ahumada, G. Borie y S. González. (2005) Informe de Criterios de Calidad de Suelo Agrícola. Ministro de la Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero. Chile. 205 pp
- Aguilar, G.M. y Ramírez, W. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Bogotá D.C., Colombia.* Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Aguilera, S. M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. *Simposio proyecto Ley protección de suelo. Chile.* Boletín 14: 77-85.
- Alvarado, G.V., Bermúdez, R.T., Romero, V.M. y Piedra, C.L. (2011). Selección de plantas para el control de la erosión mediante la metodología de criterio de expertos. *Recursos Naturales y Ambiente*, 63: 41-46
- Allen, C. D., Savage, M., Falk, D. A., Suckling, K. F, Swetnam, T. W., Schulke, T., Stacey, P. B., Morgan, P., Hoffman, M. y Klingel, J. T. (2002). Ecological Restoration of Southwestern Ponderosa Pine Ecosystems: Abroad Perspective. *Ecological Applications* 12 (5): 1418-1433
- Anaya, G.M., Martínez, M., Trueba, C.A., Figueroa, S.B., Fernández, M.O. (1977). *Manual de Conservación de suelos y del agua.* Chapingo (México): Colegio de Postgraduados.
- Aronson, J. y Alexander, S. (2013). Ecosystem Restoration is Now a Global Priority: Time to Roll up our Sleeves. *The Journal of the Society for Ecological Restoration.* 21(3): 293-296.
- Astier, M., Maser, O.R. y Galván, M. Y. (2008) *Evaluación de Sustentabilidad, un Enfoque Dinámico y Multidimensional.* España: SEAE, CIGA, ECOSUR, CIEco, UNAM, GIRA, Mundiprensa y Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable.

- Ayala, C. F.J. y Vadillo, F. L. (2004). *MANUAL de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería*. 5ta Edición. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España/ Estudios y Proyectos Mineros S.A.
- Bautista, C. A., Etchevers, B. J., del Castillo, R.F. y Gutiérrez, C. (2004). La Calidad del Suelo y sus Indicadores. *Ecosistemas* 13(2):90-97.
- Barrientos, R.G. (2013) *Propuesta de Prácticas de conservación de suelos en Ambientes Semiáridos: Caso Microcuenca La Joya (Querétaro-Guanajuato)*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Belmonte, S. F., Romero, D. A., López, B. F. y Hernández, L. E. (1999) Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. *Papeles de geografía*. 30:5-15.
- Boege, S. E. (2010). *El Patrimonio Biocultural de los Pueblos Indígenas en México. Hacia la Conservación in situ de la Biodiversidad y Agrodiversidad en los Territorios Indígenas*. México. DF: Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comisión Nacional para el Desarrollo de Los Pueblos Indígenas.
- Brundtland G.H. (1987). *Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development*, s.l.: United Nations. Recuperado el 20 de Julio del 2017, de <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Caldera, S. A. (2007). *Propuesta de rehabilitación del bosque ripario, en áreas de extracción de grava y arena en el río San Marcos, San Miguel de Allende, Guanajuato*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Carmona, M. (2014, 29 de agosto). Un nuevo espacio industrial en Guanajuato. *Manufactura*. Recuperado el 8 de octubre del 2018, de <http://www.manufactura.mx/industria/2014/08/29/un-nuevo-espacio-industrial-en-guanajuato>
- Carranza, V. J.A. (2010) *Propuesta de Manejo Sustentable de la Ganadería Extensiva en la Microcuenca Guadalupe de Támbula, Guanajuato*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Castillo, A. (2009) *Conservación y sociedad*. En *Capital Natural de México*. Vol II. México. CONSABIO. 761-801pp
- CMMAD- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1988). *Nuestro Futuro Común*. Bogotá: Alianza Editorial Colombiana
- CONAFOR, Gobierno Federal y SEMARNAT (2009) *Restauración de Ecosistemas Forestales. Guía básica para comunicadores*. (1^{era} Edición). México. Comisión Nacional Forestal.

- Contreras, H. A. y Morandín, A. I. (2016). Creatividad y Sustentabilidad. *RINDERESU-Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable*. Vol. 1(1):49-63
- Córdova A.M. (2010) *Priorización de Áreas para Recuperar la Función Hidrológica de la Subcuenca Támbrula-Picachos, Guanajuato*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro
- Comín, F. (2002). Restauración ecológica: teoría vs práctica. *Ecosistemas*, núm. 11. Recuperado el 21 de marzo del 2018, de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=305>
- CONABIO (2006). *Capital natural y Bienestar Social*. Ed. Sarukhán, J. México. Redacta, S.A. de C.V. y GAIA Editores, S.A. de C.V.
- Cotler, H., Priego, A., Rodríguez, C. y Guadarrama, C. E. (2004, marzo-junio). Determinación de zonas prioritarias para la eco-rehabilitación de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta Ecológica*. 71: 79-92
- Cotler, H. (Comp.) (2007). *El Manejo Integral de Cuencas en México. Estudios y Reflexiones para Orientar la Política Ambiental*. (Segunda Edición) México. Instituto Nacional de Ecología
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S. y Quiñones, L. (2007, abril-junio). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*. 83: 5-71.
- Cotler, H. y Caire, G. (2009) *Lecciones Aprendidas del Manejo de Cuencas en México*. México Instituto Nacional de Ecología-WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.
- Cotler, H., Cram, S., Martínez, T. S. y Bunge, V. (2015, marzo). "Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera". *Investigaciones Geográficas, Boletín*. 88: 6-18
- Cruz, J. C. (1982). *Efecto de la rotación de cultivos y de los sistemas de laboreo sobre algunas propiedades del suelo; distribución radicular y rendimiento*. Tesis de Doctorado. Universidad Purdue
- Daily, G.C., Alexander, S., Ehrlich, P., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P. A., Mooney, H., Postel, S., Scheneider, S.T., Tilman, D. and Woodwell, G.M. (1997) Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. *Issues in Ecology*. 2, 16.
- Doran J.W. y Parkin B.T. (1994). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA. Soil Science Society of America
- Dourojeanni, A. (1997) *Procedimientos de Gestión para un Desarrollo Sustentable (Aplicables a municipios, microregiones y cuencas)*. Santiago de Chile. CEPAL

- Ellsworth, J. y Madrigal, A. Salvemos al río Laja A.C. Reporte Final: Investigación de las Eficiencias Comparativas entre Dos Estructuras Potenciales para un Sistema de Pagos por Servicios Hidrológicos Municipales en San Miguel de Allende, Guanajuato (convenio NMCA3-08-01). Recuperado el 10 abril del 2018, de https://fmcn.org/wp-content/uploads/2012/02/Estudio_PSA_SanMiguelAllende.pdf
- [Esteva, J. y Reyes, J. \(1999\). Educación ambiental: utopía y realidad en la cuenca de Pátzcuaro. *Trópicos en Educación Ambiental*. 1\(3\): 56-66.](#)
- ERP (2017, 30 de marzo). San Miguel de Allende tendrá su propio aeropuerto. El Economista. [en línea] Recuperado el 28 de octubre del 2018, de <https://www.economista.com.mx/estados/San-Miguel-de-Allende-tendra-su-propio-aeropuerto-20170330-0055.html>
- Falk D. A. (1990). Discovering the past, creating the future. *Restoration and Management Notes* 8 (2): 71-72.
- Gleick, P. H. (2003). Global freshwater resources: Soft-path solutions for the 21st century. *Science*. 302:1524-1527
- FAI-UAQ, Fundación de Apoyo Infantil Guanajuato A.C.-Universidad Autónoma de Querétaro (2014) *Plan Estratégico para el Manejo y Gestión de la Subcuenca Alta del Río Laja. México*. Fundación Gonzálo Río Arronte, I.A.P.,
- FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1997). *Manual de Prácticas Integradas de Manejo y Conservación de Suelos*. Nigeria: Boletín de Tierras y Aguas. No. 8.
- FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. Roma. Informe sobre recursos mundiales de suelos.
- FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010) *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo*. Roma. Oficina de Intercambio de Conocimientos, Investigación y Extensión.
- FAO (2013) *La Resiliencia de los Medios de Vida- Reducción del Riesgo de Desastres para la Seguridad Alimentaria Nutricional*. Roma. FAO
- FAO (2014a). Desafíos para el desarrollo sostenible y la adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Trigésimo tercer período de sesiones. Santiago de Chile.

- FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2014b) *Sistematización de Prácticas de Conservación de Suelos y Aguas con Enfoque de Adaptación al Cambio Climático. Metodología Basada en WOCAT para América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile, 123
- FIDAR “Fundación para la Investigación y Desarrollo Agrícola” (2011). Recuperado el 4 de abril del 2018, de <http://www.ingresovirtual.com/index.php/component/content/article/56-lineas-detrabajo/59-mch>
- FGRA “Fundación Gonzalo Río Arronte, IAP” (2010). *Informe de Actividades 2009*. México. Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.
- Galvéz, J. (2002). *La Restauración Ecológica: Conceptos y Aplicaciones*. Documento Técnico No 8. Guatemala IARN-URL-Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
- García, F. H.J. (2010). *Aplicación de Indicadores de Sustentabilidad en la Subcuenca Támbula-Picachos*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Gómez, P. A. (2000). Variabilidad espacio-temporal de contenido de humedad del suelo en una zona mediterránea semiárida. Efectos de las condiciones antecedentes en la respuesta hidrológica. Tesis de posdoctorado. Universidad Politécnica de Madrid.
- González, H. J. C. (1998) Los Procesos de Erosión del Suelo: Hechos, Mitos y Paradojas. *Geographicalia*. 36: 47-65
- González, E. L. (2011) *La Producción Pecuaria en el Manejo Integrado de la Microcuenca La Joya*. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- González, P. J.I. (2007) El Manejo de Cuencas en Cuba. En: *El Manejo Integral de Cuencas en México. Estudios y Reflexiones para Orientar la Política Ambiental*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Instituto Nacional de Ecología. Segunda Edición.
- Gregersen, M.H., Ffolliott, F.P. y Brooks, N.K. (2007) *Integrated Watershed Management. Connecting People to their Land and Water*. CABInternational. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M. y Ellert, B.H. (1994). Towards a Minimum Data Set to Assess Soil Organic Matter Quality in Agricultural Soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 74(4):367-385.
- Gutiérrez, C. D. (2008). *Propuesta de Conectividad de Áreas Críticas para el Mantenimiento de la Estructura y Función de la Cuenca San Miguel de Allende*. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.

- Hartman, B. D., Cleveland, D. A. y Chadwick, O. A. (2016). Linking changes in knowledge and attitudes with successful land restoration in indigenous communities. *Restoration Ecology*. 24(6): 749-760.
- Heneghan, L., Miller, S. P., Baer, S., Callahan, M. A., Montgomery, J., Rhoades, C. C., y Richards, S. (2008). Integrating soil ecological knowledge into restoration management. *Restoration ecology*. 16(4): 608-617.
- Hernández, H. M. A. (2010). *Propuestas de manejo hídrico conjunto en la subcuenca Támbula-Picachos, Guanajuato*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Hernández, H. M., Amador, G. A., Sánchez, Q. S., Roitman, G. P. y Solera, S. A. (2011) Manejo Conjunto del Agua en la Subcuenca Támbula-Picachos, Guanajuato. *2^{do} Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas*.
- Herrera, D. (1998). *Cárdenas y Dialogo para la Acción. Metodología para la Elaboración de Tipología de Actores*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Decreto 2811 de República de Colombia (1974); en: Moreno Díaz A. y Renner I. (2007) *Gestión Integral de Cuencas. La Experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- INEGI- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2004). *Guía para la interpretación de cartografía*. Aguascalientes, México. INEGI
- ISDR, International Strategy for Disaster Reduction/ United Nations (2005-2015) *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters*. Japón. ISDR
- IUSS Working Group WRB. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106*. Roma. FAO
- Jackson, L. L. (1992). Capítulo 13. The role of ecological restoration in conservation biology. En: *Conservation Biology. The Theory and Practice of Nature Conservation Preservation and Management*. (pp. 433-451) Springer
- Lamprecht, H. (1990) *Silvicultura en los Trópicos. Los Ecosistemas Forestales en los Bosques Tropicales y sus Especies Arbóreas. Posibilidades y Métodos para un Aprovechamiento Sostenido*. Alemania: GTZ.

- Lavell, A. y Witowski, K. (2016). Gestión del riesgo y adaptación de la agricultura y el medio rural al cambio climático: "Riesgos ante amenazas climáticas provocadas por el cambio climático. Unión Europea. Recuperado el 5 abril del 2018, de <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2993/1/BVE17068911e.pdf>
- Lal, R. y Stewart, B. A. (1995). Soil Management, Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality. *CRC Press, Inc.* 555 p.
- Leirana, A. J.L y Bautista, Z. F. (2014). Patrones de Asociación entre la Cobertura Vegetal y la Calidad del Suelo en el Matorral Costero de la Reserva Ría Lagartos, Yucatán. *Ciencia UAT*. Vol. 8 (2):44-53.
- López, R. M. (2001, julio-diciembre). Degradación de suelos en Sonora. *Región y Sociedad*. XIII (22): 73-97.
- Lored, O. C. (Ed) (2005). *Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas*. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México. 187
- MA. (2003). Ecosystems and Human Well-being: a Framework for Assessment. *Island Press*, Washington, D.C. Recuperado el 5 abril del 2018, de http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf
- Machlis, G. (1993). Áreas Protegidas en un Mundo Cambiante: Los Aspectos Científicos. En Parques y Progreso. *UICN, BID. IV Congreso Mundial de Parques y Áreas Protegidas*. Caracas, Venezuela. 37-53Pp
- Mackinnon, J., Mackinnon, K., Child, G. y Thorsell, J. (1990). *Manejo de Áreas Protegidas en los Trópicos*. UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales)- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Gland, Suiza 314 Pp.
- Malakoff, D. (2004). The river doctor. *Science* 305:937-939
- Manufactura (2014, 28 de agosto). Presentan el parque industrial de San Miguel de Allende. *Manufactura*. Recuperado el 8 de octubre del 2018, de <http://www.manufactura.mx/industria/2014/08/28/presentan-el-parque-industrial-de-san-miguel-de-allende>
- Martínez, H.E., Fuentes, E. J. P. y Acevedo, H. E. (2008) Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Ciencia del suelo y Nutrición vegetal*. 8(1): 68-96.
- Martínez, G. F., Sosa, P. F. Y Ortiz, M. J. (2010). *Comportamiento de la Humedad del Suelo con Diferente Cobertura Vegetal en la Cuenca La Esperanza*. Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería Hidráulica en México, vol. I. Núm 4.

- Marchamalo, M. (2004) *Ordenación del Territorio para la Producción de Servicios Ambientales Hídricos. Aplicación a la Cuenca del Río Birrís (Costa Rica)*. España. Universidad Politécnica de Madrid. Pp 409
- Mass, M. (1993). México y Centro América: las peores tasas de degradación de suelos. En: *Green peace América latina*. No. 4:2.
- Mass, M. y Cotler, H. (2007) El Protocolo para el Manejo de Ecosistemas en Cuencas Hidrográficas, en: Helena Cotler. *El Manejo Integral de Cuencas en México. Estudios y Reflexiones para Orientar la Política Ambiental*. México Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Instituto Nacional de Ecología. Segunda Edición.
- Mass, M. (2012). *El Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Entrevista para el Centro Virtual de Información del Agua*. Tomado el 20 de agosto del 2017 en: <https://www.youtube.com/watch?v=1cJ48nfxVC8>
- Matus, F. J. y Maire, C. R. G. (2000) Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura técnica*. 60(2)
- Mora, D., Portuquez C.F., & Brenes G. (2002). Evaluación de la contaminación fecal de la cuenca del río Tempisque 1997 - 2000. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 11(20), 5-17. Retrieved May 14, 2018, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140914292002000100003&lng=en&tlng=es
- Mora, J. J., Lora, G. A., Castillo, R. C., Muñoz, M. F., Rojo, A. M., Gómez, C. J. (2011). Técnicas de Control de Cárcavas Mediante el Uso de Vegetación Forestal y Diques de Retención en Explotaciones Agrícolas. El Caso de la Finca "La Veguilla". *6to Congreso Forestal Español*. Tomado el 11 de diciembre del 2018 en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/90223/1/Comunicaci%C3%B3n_6%C2%BACFE_La%20Veguilla.pdf
- Morandín, A. I., Contreras, H. A., Ayala, O. D.A. y Pérez, M. O. (2015) La Sustentabilidad, Evolución Cultural y Ética para la Vida. En *Argumentos. Estudios Críticos de la Sociedad* (pp. 169-188). No. 79. México. Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Xochimilco.
- Moreno, D. A. y Renner, I. (Editores) (2007) *Gestión Integral de Cuencas. La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas*. CIP-Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú.
- Montaño, C. S. E. (2012). *Propuesta de Indicadores para la Evaluación del Proyecto "Creación del Centro Regional de Capacitación en Cuencas"*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro

- Nellemann, C., y Corcoran, E. (Editores). (2010). *Dead planet, living planet - biodiversity and ecosystem restoration for sustainable development*. United Nations Environment Programme, GRID Arendal, Norway.
- Newton, A.C., del Castillo, R.F., Echeverría C., Geneletti, D., González, E. M., Malizia, L.R., Premoli, A.C., Rey Benayas J.M., Smith, R. C., y Williams, L. G. (2012). Forest Landscape Restoration in the Drylands of Latin America. *Ecology and Society* 17(1):21.
- Ohswowski, B.M., Klironomos, J.N., Dunfield, K.E. y Hart, M.M. (2012). The potential of soil amendments for restoring severely disturbed grasslands. *Restoration Ecology*. 18(4): 467-480.
- ONU-Organización de las Naciones Unidas (1994). *Informe de la Conferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo*. Pp 194 El Cairo, Egipto.
- Ortega, R. C. (2009) *Análisis de los Principios de Gobernanza en la Gestión del Agua a Nivel Microcuenca en la Subcuenca Específica "Támbula-Picachos"*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Ostrom, E. (2000) *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*. Fondo de Cultura Económica. México
- Pérez, H. C. D. (2017). *Efectos Acumulativos en la Microcuenca La Joya: Evaluación de Obras y Prácticas de Conservación*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Perrusquía G. (2003) *Sistemas Acuáticos Sustentables. Estudio para la Ciudad de Querétaro y sus Alrededores*. Tomo VI: Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro.
- Pellant, M., Shaver, P., Pyke, D.A. y Herrick, J.E. (2005). *Interpreting Indicators of Rangeland Health*. U.S. Department of Interior, Bureau of Land Management, National Science and Technology Center, Denver, C.O. Version 4. Technical Reference 1734-6.
- Pla, I. (1992). La erodabilidad de los Andisoles en Latino América. *Suelos Ecuatoriales*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 22(1): 33-43.
- Rangel, I. (2018, 22 de mayo). Proponen nuevo aeropuerto en San Miguel de Allende. A.M. Edición León. Recuperado el 8 de octubre del 2018, de <https://www.am.com.mx/2018/05/21/local/proponen-nuevo-aeropuerto-en-san-miguel-de-allende-474066>
- Pineda, R., Bustos, D., González, L., Pérez, M. y Hernández. V. (2014). *Creación del Centro Regional de Capacitación en Cuencas*. Informe Final. Fundación Gonzalo Río Arronte y Universidad Autónoma de Querétaro, México.

- Rivera, J., Sinisterra, J. y Calle, Z. (2007). *Restauración ecológica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del Cauca, Colombia*. Colombia: CIPAV. 10 pp
- Resumen Ejecutivo (2011) *Formación de una Línea Base Científica para el Manejo Integrado de la Subcuenca Específica Támbula-Picachos en San Miguel de Allende, Guanajuato*. Guanajuato. Gonzalo Río Arronte I.A.P.
- Rodríguez, S. C. (2002) *Diseño de Indicadores de Sustentabilidad por Cuencas Hidrográficas*. INE "Instituto Nacional de Ecología". Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas
- Rucks L., García F., Kaplán A., Ponce de León J. Y Hill M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Montevideo-Uruguay
- Silva R.M.M. (2004). Materia orgánica: su utilización en la evaluación de la calidad del suelo en distintos ambientes del sur de Santa Fe. *Informaciones agronómicas del Cono Sur*. 24:9-24.
- Singer, M.J. y Ewing, S. (2000) Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Capítulo 11 (Ed. Summer M.E.)271-298 CRC Press. Florida, UAQ.
- Suzán, A. H. y Mauriri, A. B. (2000) *Programa de Monitoreo*. En Pineda L. R. y Hernández S. L.. La Microcuenca Santa Catarina, Estudios para su Conservación y Manejo. Serie Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Querétaro-SEMARNAT.
- Soule, M. y Gilpin, M. (1991). The Theory of Wildlife Corridor Capability. En: *Nature Conservation: The Role of Corridors*. Eds. Saunders, Hobbs, Surrey y Sons. USA. 3-8 Pp.
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2nd Edition. US Department of Agriculture Handbook 436. Natural Resources Conservation Service
- Sotelo, C. O. (2010). *Caracterización espacio-temporal de los encinares de la subcuenca Támbula-Picachos, Guanajuato*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Stocking, M. y Murnaghan, N. (2001). *Manual para la evaluación de campo de la degradación de la Tierra*. Edición Técnica. Ed. Carolina Padilla y Juan Albaladejo. Barcelona, España. Ediciones Mundiprensa.
- Svejcar, L. N. y Kildisheva, O. A. (2017). The age of restoration: challenges presented by dryland systems. *Plant Ecology*. 218: 1-6
- Tinoco, N. C. M. (2010). *Comunicación y educación ambiental para el manejo integrado de la subcuenca Támbula-Picachos, Guanajuato*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.

- Tinoco, N. C. M. (2012) *Manual de Promotores Comunitarios en Manejo Integrado de Cuencas. Centro Regional de Capacitación en Cuencas*. Universidad Autónoma de Querétaro
- UAQ Universidad Autónoma de Querétaro-Dirección de Medio Ambiente y Ecología de San Miguel de Allende (2009). *Formación de una Línea de Base Científica para el Manejo Integrado de la Subcuenca Específica Támbula-Picachos, en San Miguel de Allende, Guanajuato*. México. Informe de actividades 2009. Universidad Autónoma de Querétaro. 277p
- UAQ-FAI- Universidad Autónoma de Querétaro- Fundación de Apoyo Infantil Guanajuato A.C. (2011) *Plan Estratégico para El Manejo y Gestión de la Subcuenca Alta del Río Laja. San Miguel de Allende, Guanajuato*.
- UICN; PNUMA; WWF (1991). *Cuidar la tierra: Estrategia para el futuro de la vida*. Gland, Suiza. 258 p.
- USDA -United States Department of Agriculture (1999) Soil Quality Test Kit Guide. Traducida por Lutens A., Salazar Lea J.C. En *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Instituto de Suelos (2000) Argentina.
- Vallejo V.R, Alloza J.A., Bautista S., Bladé C., Cortina J., Fuentes D., Llovet J.J., Serrasolses I., Valdecantos A. y Vilagrosa A. (2012). Recuperación de Suelos en el Contexto de la Restauración Forestal en Clima Seco: El Caso de la Cuenca Mediterránea. En: *La Restauración Ecológica en la Práctica*. Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica
- Vargas, R. O. (2011 julio) Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. *Acta biológica Colombiana*. 16(2):221-246
- Velázquez, A., Mass, J. F., Díaz, G. J. R., Mayorga, S. R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G. y Palacio J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*. 62: 21-37
- WOCAT- World Overview of Conservation Approaches and Technologies (Panorama Mundial de Enfoques y Tecnologías para la Conservación de Suelos y Aguas. (2008). *Marco de Trabajo para Documentación y Evaluación del Manejo Sostenible de la Tierra*. Eds. Liniger, H., Schwilch, G., Gurtner, M., Mekdaschi, S. R., Hauert, C., van Lynden, G. y Critchley, W. Bern, Suiza
- WOCAT. (2011) *Donde la Tierra es Más Verde- Estudios de Caso y Análisis de Iniciativas de Conservación de Tierras y Aguas en Todo el Mundo*. Editores Liniger H. y Critchley W. CTA, FAO, UNEP y CDE. Pp73

- Wong, M. T. F., Gibbs, P., Nortcliff, S., y Swift, R. S. (2000) Measurement of the acid neutralizing capacity of agroforestry tree prunings added to tropical soils. *Agricultural Science*. Cambridge. 134:269-276.
- World Vision. (2004). *Manual de Manejo de Cuencas*. World Vision Primera Edición. El Salvador.
- Zambrano Aguilar S.M. (2010) *Ordenamiento Espacial de Prácticas de Conservación de Suelos en la Microcuenca Alcocer-Sosnabar, San Miguel de Allende, Gto.* Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.