

2022

Modelo para la restauración de zonas prioritarias en la
Microcuenca El Potrero en San Isidro Corralillos, Victoria, Guanajuato

Juan Montoya Escutia



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

Modelo para la restauración de zonas prioritarias en la
Microcuenca El Potrero en San Isidro Corralillos, Victoria,
Guanajuato

Tesis

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

Presenta:
Juan Montoya Escutia

Dirigido por:
Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez

Querétaro, Qro. a 11 de noviembre de 2022



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de
Información



Modelo para la restauración de zonas prioritarias en la
Microcuenca El Potrero en San Isidro Corralillos,
Victoria, Guanajuato

por

Juan Montoya Escutia

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](#).

Clave RI: CNMAC-300578-0223-1122



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Modelo para la restauración de zonas prioritarias en la Microcuenca El Potrero en San
Isidro Corralillos, Victoria, Guanajuato

Tesis

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

Presenta:
Juan Montoya Escutia

Dirigido por:
Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez

Sinodales

Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez
Presidente

Firma

M. en GIC. Alejandro César Valdés Carrera
Secretario

Firma

Dra. Emma Fabiola Magallán Hernández
Vocal

Firma

M. en GIC. José Carlos Dorantes Castro
Suplente

Firma

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero
Suplente

Firma

Centro Universitario, Querétaro, Qro. a 11 de noviembre de 2022
México

Resumen

Por los daños que genera la erosión a los ecosistemas, productivos y forestales; esta investigación tuvo como objetivo elaborar un modelo de zonas prioritarias como una propuesta de restauración de la microcuenca El Potrero, en San Isidro Corralillos, Victoria, Guanajuato. Se utilizaron especies nativas de *Agave* para la propuesta de restauración. A partir de la caracterización biofísica y social se hizo el análisis de la problemática. Se aplicaron los métodos de erosión actual USLE y susceptibilidad a la erosión; se determinaron zonas funcionales y zonas prioritarias, además se llevó a cabo la caracterización ambiental de los *Agaves* y un diagnóstico participativo con los habitantes de la microcuenca. A partir de esto se elaboró una propuesta de restauración con la participación de los actores sociales, que integra los espacios territoriales de más alta prioridad en cada zona funcional y tres grupos de especies nativas de *Agave* en las prácticas de restauración. La metodología utilizada representó un modelo cartográfico (que escala), útil para la toma de decisiones en la planeación, gestión, aprovechamiento y aplicación de recursos.

Palabras clave: *Agaves* nativos, Erosión, Zonas prioritarias por zona funcional

Abstract

Due to the damage caused by erosion to productive and forest ecosystems; This research aimed to develop a model of priority areas as a restoration proposal for the El Potrero micro-basin, in San Isidro Corralillos, Victoria, Guanajuato. Agave native species were used for the restoration proposal. From the biophysical and social characterization, the analysis of the problem was made. Current USLE erosion and erosion susceptibility methods were applied; Functional zones and priority zones were determined, in addition, the environmental characterization of the Agaves and a participatory diagnosis with the inhabitants of the micro-watershed were carried out. Based on this, a restoration proposal was prepared with the participation of social actors, which integrates the highest priority territorial spaces in each functional zone and three groups of native Agave species in restoration practices. The methodology used represented a cartographic model (that scales), useful for decision-making in the planning, management, use and application of resources.

(Key words: Native *Agaves*, Erosion, Priority zones by functional zones)

Dedicatorias

A las voces, que me han hablado para acudir siempre a la vida, para encontrar lo mejor del mundo y para buscar la felicidad donde quiera que ha estado.

A mis 57 primaveras, que han cubierto mi cabeza con el polvo de los caminos para esperar paciente los nuevos inviernos.

A las almas, espíritus y voluntades, que en diferentes dimensiones me han heredado su sabiduría (siguen en mi memoria).

A mi Manantial del Cielo y a mí al Soplo Divino, que aun en mis ausencias no han dejado de llover y de cantar dándole color y alegría a mi vida.

A mi Joven Guerrero que, con cada viaje y lucha, abraza el destino que compartimos

A mi Joven que mientras renombra muestra el camino, gracias por seguir aquí.

A mi chumino por la complicidad de atravesar el destino que nos atrapó

A la Raíces más poderosas que me dieron la vida, y hoy me siguen aportando de su luz, desde las estrellas.

A mis Carnales y Carnalas de sangre, que en el laberinto del destino y del tiempo, los juegos y enseñanzas compartidas, hicieron de nuestros tallos robles y hermosas ceibas.

A mis Carnales y Carnalas de la vida, por la razón del encuentro, por los ríos que hemos atravesado juntos y cantando.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) por impulsar mi desarrollo académico y profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo a través del financiamiento para la realización de esta investigación.

A la Doctora Tamara Guadalupe Osorno Sánchez por compartir su sabiduría, por su apoyo y orientación en cada asesoría y corrección, y desde luego por su paciencia.

Al Maestro Alejandro César Valdés Carrera por guiar y acompañar con conocimientos y experiencias las correcciones y recomendaciones que fueron el GPS de este proyecto.

A la Doctora Emma Fabiola Magallán Hernández por su apoyo, aportes y observaciones en el campo de los *Agaves*.

Al Maestro José Carlos Dorantes Castro por su apoyo, orientación y aportes en el campo sociocultural y académico.

Al Doctor Juan Alfredo Hernández Guerrero por su apoyo, sus aportes y recomendaciones siempre puntuales.

A todos docentes de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, de la Facultad de Ciencias Naturales (UAQ) por contribuir con sus conocimientos y experiencias a ampliar mi conocimiento del mundo.

A mis compañeras y compañero de la maestría Jazmín, Gabriela y Miguel que aún con la pandemia pudimos compartir conocimientos, buenas charlas, y convivencias.

A todos los Ejidatarios del Ejido San Isidro Corralillos y en especial al grupo Tierra de Gigantes por creer en mí y acompañar esta investigación.

A Leonel Orduña López, Carlos López Reséndiz y Santiago Gael López Rocha por compartir las brechas y las veredas con pláticas y asombros a caballo y a pie.

Índice General

Índice General.....	7
Índice de figuras.....	9
Índice de tablas.....	10
Introducción.....	11
Planteamiento del problema.....	13
Justificación.....	16
Preguntas de investigación.....	17
Objetivo general.....	17
Objetivos particulares.....	17
1. Marco conceptual.....	18
1.1 La Cuenca hidrográfica.....	18
1.2 Degradación de Suelos.....	20
1.3 Restauración Ecológica.....	21
1.4 El <i>Agave</i>	22
2. Antecedentes.....	23
3. Área de Estudio.....	27
3.1 Caracterización biofísica.....	29
3.1.1 Geología.....	29
3.1.2 Fisiografía.....	31
3.1.3 Geomorfología.....	31
3.1.4 Edafología.....	33
3.1.5 Vegetación y usos de suelo.....	34
3.1.6 Climatología.....	36
3.1.7 Hidrografía.....	37
3.1.8 Hidrología Acuífero.....	39
3.2 Caracterización social.....	40
4. Métodos y herramientas.....	45

4.1 Erosión y zonas prioritarias en la microcuenca	47
4.1.1 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE	47
4.1.2 Modelo de susceptibilidad ante erosión hídrica.....	50
4.1.3 Modelo de Zonas Prioritarias para restauración.....	53
4.2 Propuesta de restauración en las zonas funcionales de la microcuenca El Potrero	54
4.2.1 Zonas funcionales	55
4.2.2 Zonas prioritarias por zona funcional	55
4.2.3 Caracterización ambiental y selección de los <i>Agaves</i> nativos para la restauración en la microcuenca El Potrero.	56
4.2.4 Diagnóstico participativo	57
5. Resultados	59
5.1 Erosión hídrica laminar USLE	59
5.1.1 Erosión potencial.....	62
5.1.2 Erosión Actual.....	66
5.2 Erosión hídrica vertical.....	68
5.2.1 Susceptibilidad ante erosión	68
5.2.2 Zonas prioritarias de la microcuenca	69
6. Propuesta de restauración para zonas funcionales de la microcuenca	73
6.1 Zonas funcionales de la microcuenca	73
6.2 Zonas prioritarias por zona funcional	76
6.3 Caracterización ambiental y uso de <i>Agaves</i> nativos para restauración.	79
6.4 Usos tradicionales del <i>Agave</i> nativo en la microcuenca	86
6.5 Propuesta de restauración con base en especies de <i>Agave</i> para zonas prioritarias por zonas funcionales.....	88
6.5.1 Prácticas de restauración.....	92
7. Discusión.....	95
8. Conclusiones.....	100
Referencias bibliográficas	102

Índice de figuras

Figura 1. Localización microcuenca El Potrero.	29
Figura 2. Distribución Geológica microcuenca El Potrero	30
Figura 3. Geomorfología el de la microcuenca El Potrero.....	32
Figura 4. Grados de Pendientes microcuenca El Potrero	33
Figura 5. Tipos de suelo microcuenca El Potrero.....	34
Figura 7. Climograma Estación meteorológica.....	36
Figura 8. Mapa de clima de la microcuenca El Potrero	37
Figura 9. Gráfica población femenina y masculina.....	41
Figura 10. Esquema del proceso metodológico	45
Figura 12. Regionalización nacional de erosividad de la lluvia.....	48
Figura 14. Mapa factor K.....	61
Figura 15. Mapa factor LS.....	62
Figura 16. Mapa de erosión potencial microcuenca El Potrero	63
Figura 17. Mapa Factor C.....	65
Figura 18. Mapa erosión actual.....	67
Figura 19. Mapa susceptibilidad ante erosión	69
Figura 20. Zona de alta prioridad	70
Figura 21. Área de alta, media, baja y nula prioridad	71
Figura 22. Mapa zonas prioritarias	72
Figura 23. Zona funcional alta.....	74
Figura 24. Zona funcional media.....	74
Figura 26. Zonas funcionales de la microcuenca El Potrero	76
Figura 27. Zonas funcionales Baja y media	77
Figura 28. Mapa zonas prioritarias por zona funcional microcuenca El Potrero....	78
Figura 29. <i>Agaves</i> nativos en la Microcuenca.....	80
Figura 30. Mapa de identificación de <i>Agaves</i> nativos	83
Figura 31. Hilando ixtle.....	86
Figura 32. Recorridos de campo	88
Figura 33. Taller participativo elaborando el mapa de restauración.....	90
Figura 34. Taller participativo propuesta del mapa de restauración	90
Figura 35. Mapa propuesta zonas de restauración	91

Figura 36. Formato de entrevista usos tradicionales del <i>Agave</i>	107
Figura 37. Caracterización de <i>Agaves</i> nativos	108
Figura 38. Caracterización de <i>Agaves</i> nativos (continuación).....	109

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de roca.....	30
Tabla 2. Topoformas de la microcuenca El Potrero	32
Tabla 3. Balance de aguas subterráneas.....	40
Tabla 4. Población total Corralillos	41
Tabla 5. Estructura de la población	41
Tabla 6. Población con servicio de salud	42
Tabla 7. Vivienda y servicios	43
Tabla 8. Factor R.....	48
Tabla 9. Factor C.....	49
Tabla 10. Grado de erosión.....	50
Tabla 11. Matriz de comparación por pares normalizada.....	51
Tabla 12. Matriz de criterios normalizados.....	51
Tabla 13. Ponderación de pesos y rangos	52
Tabla 14. Grado de susceptibilidad ante erosión	53
Tabla 15. Reglas de decisión para zonas prioritarias.....	54
Tabla 16. Factor K.....	61
Tabla 17. Erosión Potencial USLE	63
Tabla 18. Factor C.....	66
Tabla 19. Erosión actual USLE en la microcuenca.	67
Tabla 20. Zonas prioritarias.....	73
Tabla 21. Zonas funcionales	75
Tabla 22. Zonas prioritarias por zona funcional.....	78
Tabla 23. Especies de <i>Agave</i> presentes en la microcuenca	80
Tabla 24. Grupos de <i>Agave</i> para la restauración	81
Tabla 25. Asociación vegetal con <i>Agaves</i> nativos.....	84
Tabla 26. Propuesta de zonas prioritarias para restauración	89
Tabla 27. Propuesta de Zonas prioritarias a restauración (parajes).....	92

Introducción

La restauración ecológica es el conjunto de acciones, estrategias y planes enfocados en recuperar la capacidad productiva, funcional, estructural y los equilibrios ecosistémicos en un territorio después del deterioro, y se dice que es activa cuando el grado de perturbación de una cuenca requiere de la intervención humana para que suceda, y es pasiva cuando por sí solos los ecosistemas tienen la capacidad de auto regenerar sus procesos (Vargas, 2011).

La restauración ecológica en una cuenca abarca todas las intervenciones que favorecen la recuperación de ecosistemas naturales y agrícolas que han sido degradados, con ella se busca recuperar sus atributos y servicios ambientales que prestan (Sinisterra *et al.*, 2011). La restauración en cuencas actualmente es una necesidad prioritaria, debido a la pérdida de suelos, tanto en las zonas de producción de alimentos como en las forestales; por lo tanto, es necesario que se realicen obras de conservación y recuperación de suelo, en zonas estratégicas y con especies preferentemente nativas, cuyos atributos brinden resultados positivos (Zorrilla y Hernández, 2014).

En el interior de las cuencas suceden diversas funciones y beneficios que ocurren de acuerdo al estado de su estructura biofísica y geomorfológica, en ellas el suelo es un elemento determinante, participa en el soporte y regulación de climas y ecosistemas además nutre los productos que abastecen a la estructura social y es a través del estudio de las zonas funcionales de la cuenca que se conoce su comportamiento y vocación.

En este contexto se definen las zonas funcionales como: a) zona funcional alta o cabecera, b) zona funcional media o de transición y c) zona funcional baja: Es la zona de acumulación y descarga. Este enfoque permite identificar la vocación de las diferentes áreas, y también diagnosticar las zonas con riesgo de erosión (Cotler *et al.*, 2013; Valdés y Hernández, 2019).

El suelo es un componente de las cuencas que aporta numerosos servicios ecosistémicos los cuales interactúan con otros elementos como son la biodiversidad y el agua o ciclo hidrológico. Estos servicios son: la captura, filtro y almacén de agua para suministro de los asentamientos humanos y para los cultivos; soporte y

nutrición de la cobertura vegetal y cultivos (Bautista *et al.*, 2016). Es también un importante reservorio que captura y libera carbono (regulador climático), forma abonos orgánicos en la descomposición y reciclaje de residuos de materia orgánica, es hábitat para la biodiversidad edáfica con numerosos recursos genéticos, provee de materia prima, soporta los asentamientos humanos y es el depositario de la historia de todas las culturas (Bertsch y Henríquez, 2015).

El fenómeno de la erosión cuando se presenta de manera natural ocurre lentamente, pero se acelera con la intervención del hombre cuando cambia las coberturas del suelo para la agricultura y ganadería, para hacer caminos y asentamientos humanos, esto produce una pérdida rápida del suelo. Wischmeier y Smith (1978) definen la erosión como el proceso de desprendimiento, transporte y depósito de las moléculas del suelo por agentes erosivos como el escurrimiento superficial, las gotas de lluvia o el viento. Los factores que afectan la erosión son: el clima, el suelo, la vegetación y la topografía (Corrales, 2013).

El deterioro y perturbación del suelo en las cuencas sucede por múltiples factores como la deforestación, los excesivos consumos de agua que al extraer grandes volúmenes de los acuíferos y cuerpos de agua superficial se disminuye significativamente el agua para la biodiversidad (flora y fauna nativa), con lo que se pierde aún más la capacidad de retención e infiltración a los mismos acuíferos explotados, las tasas aceleradas de cambio de uso de suelo, el cambio climático al exacerbar temperaturas lo hacen también las precipitaciones y con ello aumenta la erosión hídrica.

La erosión hídrica es el tipo de perturbación más severa del suelo debido a que con ella se pierde materia orgánica y los nutrientes que requieren los cultivos, se daña y disminuye la biodiversidad y producción agrícola. La erosión hídrica también está íntimamente ligada a la disminución acelerada de la cobertura vegetal y a la baja capacidad de infiltración hídrica a los acuíferos (Aguilar y Ortega, 2017). Entre estos y otros factores se refleja la disminución de la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos, por lo que se hace necesaria la restauración (Farber *et al.*, 2002).

Una herramienta para el análisis de los recursos naturales son los sistemas de información geográfica (SIG) que, a través de modelos cartográficos, como el de

zonas prioritarias permite identificar en la cuenca los espacios territoriales que han sufrido deterioro por la erosión, con ellos se muestran los diferentes rangos de daño a los suelos. Este modelo muestra las zonas en la cuenca con la mayor y menor vulnerabilidad, y aporta información para la toma de decisiones al momento de planear intervenciones para restauración y conservación debido a que se toman en cuenta factores como erosividad por la lluvia, erosionabilidad del suelo, longitud y grado de pendiente, roca, usos de suelo, y factor de vegetación (Cotler *et al.*, 2004; Pequeño, *et al.*, 2016).

Existen estudios que han utilizado los modelos cartográficos para identificar y analizar la erosión hídrica en cuencas con suelos degradados como el caso de Chile y España Olivares *et al.*, (2014) y Lozano y Parras (2011). De forma específica en México en los estados de Puebla, Jalisco, Estado de México (Cuenca Lerma-Chapala) y Veracruz (Cotler *et al.*, 2004; Hernández, 2014; Honoria, 2014; Flores *et al.*, 2019 y Gonzales *et al.*, 2019), se ha hecho estudios en los que se ha utilizado la Ecuación Universal de pérdida de suelos (USLE) de Wischmeier y Smith (1978), y su versión revisada por Renard *et al.*, (1997) denominada ecuación universal de la pérdida de suelo revisada (RUSLE) para determinar las tasas de pérdida de suelo actuales y potenciales (USLE). Así mismo se han utilizado modelos cartográficos de zonas prioritarias para identificar riesgos de erosión, deslaves, restauración ecológica e hidrológica, incendios forestales y deforestación.

Planteamiento del problema

En México, la SEMARNAT (2013), CONAFOR y CP (2013), e INEGI (2014) estiman degradación de suelo cercana al 55 % del territorio nacional, específicamente, a causa de erosión hídrica y eólica, donde el grado de erosión reportado por INEGI (2014) en extremo es 4,934.87 km² (0.25 % de la superficie del país); Fuerte, 60,660.29 km² (3.12 %); Moderado, 353,224.60 km² (18.17 %); y Leve, 608,791.73 km² (31.32 %), siendo las principales causas el cambio de uso del suelo hacia la agricultura, el uso pecuario con sobrepastoreo y la deforestación.

De los 198 millones de hectáreas del territorio nacional el 58 % (114.8 millones) son tierras dedicadas a agostadero y apacentamiento, y el 15 % (29.7

millones) son tierras agrícolas, y de las 5.50 millones de Unidades de Producción Rural (UPR) existentes el 50 % son de autoconsumo y representan el 38 % de la superficie y el 73 % de las UPR agropecuarias tienen menos de 5 ha, y de estas, 3.4 millones son pecuarias, mientras que el área agrícola representa solo el 37 % y, en su mayoría, de autoconsumo. Así que la producción de alimentos para el país hace que el suelo como recurso sea un elemento esencial y estratégico para cubrir la seguridad alimentaria en función del crecimiento poblacional, por lo que protegerlo, restaurarlo y hacerlo productivo es una prioridad nacional (Zorrilla y Hernández, 2014).

En los municipios de la Sierra Gorda de Guanajuato los procesos de desertificación avanzan significativamente y las unidades de producción se deterioran e incluso quedan abandonadas, por ello se hace necesario encontrar alternativas de aprovechamiento de los recursos de manera integral y sustentable, por lo mismo, desde el enfoque cuencas se puede contribuir a abordar la problemática (Velázquez, 2020).

La microcuenca de estudio es conocida como El Potrero, se encuentra en el noreste del estado de Guanajuato, forma parte del municipio de Victoria, y colinda al norte con el municipio de Xichú, al sur con Tierra Blanca, al este con Santa Catarina y al oeste con San Luis de la Paz y Doctor Mora. Su territorio forma parte del Ejido San Isidro Corralillos, se localiza en Latitud 21° 10' 02.4" N y Longitud 100° 11' 58.4" W, con una altitud máxima de 2,550 msnm y una mínima de 1,720 msnm, la precipitación promedio es de 545 mm/año. Cuenta con una superficie de 20.86 Km² y un perímetro de 27.13 km. El relieve de su territorio presenta pronunciadas pendientes, así que la superficie de tierras de cultivo es pequeña con un total de 41.58 ha para agricultura de temporal que, en su mayoría, se encuentran improductivas por la falta de agua, por los efectos climáticos y la baja viabilidad de los cultivos, de modo que el maíz, frijol, hortalizas y forrajes tienen que ser adquiridos (Orduña, 2021).

Las principales actividades agropecuarias que se realizan son el pastoreo de ganado y la colecta de productos forestales no maderables como el orégano, garambullo, el fruto de la biznaga y el chile piquín (INEGI, 2018). El 87 % del territorio de la microcuenca presenta un importante grado de erosión, el tipo de

vegetación predominante son los matorrales, una pequeña superficie de bosque de encino y pastizales inducidos, también cuentan con dos bordos de terraplén y una presa de material que utilizan como agostadero (Orduña, 2021).

Por la erosión, la baja productividad y la falta de agua, las parcelas se encuentran abandonadas, por ello los ejidatarios han preferido la ganadería extensiva que aumenta significativamente el número de cabezas con sobrepastoreo y con ello aumenta la degradación de la microcuenca reflejándose en más erosión, compactación del suelo y pérdida de cobertura (SEMARNAT y CP, 2003; Márquez, *et al.*, 2011). Por último, es importante señalar que no hay rotación de potreros, ni plan de manejo para la ganadería extensiva.

A través de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), en la microcuenca El Potrero, ya se han realizado prácticas de conservación de suelos y agua, como la construcción de terrazas y la formación de tinas ciegas sin un estudio de por medio que contemple e incorpore la recuperación de la cobertura vegetal e incremente la producción en las parcelas de acuerdo al contexto socioambiental (Orduña, 2021).

La propuesta del presente trabajo es elaborar una estrategia de restauración ambiental de la microcuenca El Potrero a partir de la identificación de zonas prioritarias y del aprovechamiento de especies nativas disponibles en el territorio del género *Agave*, debido a que es un recurso vegetal estratégico que ya se ha utilizado en la restauración de otras microcuencas en el municipio de San Luis de la Paz del estado de Guanajuato (Cotler y Caire, 2009; Velázquez, 2020), con múltiples usos y funciones socio-ecosistémicas.

Los casos antes mencionados se desarrollan en la región en donde se encuentra la presente zona de estudio, en los cuales se comparte problemática y rasgos climático ambientales. En ese sentido, cobra importancia realizar los estudios que analicen el espacio territorial para identificar cuáles son las áreas de la microcuenca que por sus condiciones presentan mayor grado de susceptibilidad a perturbaciones (zonas prioritarias para restauración), en qué zona funcional de la microcuenca se encuentran, y cuáles prácticas de conservación y especies de *Agave* pueden contribuir de manera eficiente a la restauración de la microcuenca.

Existen especies vegetales que ya han sido probadas en procesos de restauración y en la aplicación de prácticas de conservación de suelo, agua y biodiversidad que fueron seleccionadas por sus atributos, usos y funciones dentro de los ecosistemas como los magueyes, nopales, pastos y mezquites, que bien podrían ser elementos importantes para incorporar en estrategias de restauración de sistemas productivos y naturales de la microcuenca de estudio, además, se adaptan y distribuyen en diversos ecosistemas existentes en México y, en el caso de parcelas abandonadas o de aquellas que presentan deterioros por erosión hídrica o incluso en cuencas, conformando sistemas agroforestales o agrosilvopastoriles (Nobel, 1998; Goitia, 2008; Flores, 2013; García, 2015).

Las reforestaciones con estas plantas, pueden ir acompañadas de métodos y prácticas con sustento científico como: el uso de Sistemas de Información Geográfica que permiten el manejo, almacenamiento y operación de un gran volumen de información digital en tiempos relativamente cortos; estudios de variabilidad genética, selección de especies por sus usos y funciones socioecológicas, estudios socioeconómicos y algunas prácticas de conservación de suelo y agua como construcción biomecánica de barreras vivas, siembra de policultivos y establecimiento de terrazas (Goitia, 2008; Sinisterra, *et al.*, 2011; Mandujano *et al.*, 2018; González y Silva, 2019).

Justificación

Los procesos de restauración son de mediano y largo plazo e implican la incorporación de conocimientos científicos interdisciplinarios y la puesta en práctica de métodos y técnicas positivas que recuperen las experiencias locales e internacionales disponibles (Sabogal *et al.*, 2015).

Desde un enfoque de manejo integrado de cuencas, es posible desarrollar estrategias de restauración que contribuyan a contrarrestar la erosión, a reactivar la producción agrícola y pecuaria, ya que se cuenta con experiencias de estudio en sistemas agroforestales, agroecológicos, agrosilvopastoriles, tanto en México como en diferentes países de América Latina y del mundo, e incluso experiencias en restauración que incorporan modelos cartográficos, utilizando SIG y conocimientos

de las localidades para diseñar propuestas acordes a cada contexto socioecosistémico y con múltiples prácticas en manejo y conservación de recursos naturales (García 2015; Torres *et al.*, 2018; Velázquez, 2020).

Por todo lo mencionado anteriormente, la presente investigación busca identificar y dimensionar en qué espacios territoriales de las zonas funcionales de la microcuenca El Potrero se presenta erosión y pérdida de cobertura vegetal por las actividades socio-productivas y sus características biofísicas y geomorfológicas. Identificar las zonas prioritarias a intervención mediante un modelo cartográfico que simule la aplicación de prácticas de conservación de suelo, agua y biodiversidad, en donde el *Agave* participe como un elemento estratégico. A partir de esta información, conformar una propuesta de estrategia de restauración ecológica que sirva a los ejidatarios para la gestión y planificación de la microcuenca.

Preguntas de investigación

- 1) ¿Cuáles son las zonas prioritarias susceptibles para restauración en la microcuenca?
- 2) ¿Qué prácticas de conservación y manejo pueden ser utilizadas para el proceso de restauración ecológica de las zonas funcionales de la microcuenca?

Objetivo general

Elaborar un modelo de zonas prioritarias como una propuesta de restauración de la microcuenca El Potrero, en San Isidro Corralillos, Victoria, Guanajuato.

Objetivos particulares

- Identificar condiciones de erosión y definir zonas prioritarias para restauración de la microcuenca El Potrero.
- Proponer acciones de restauración ecológica en las zonas funcionales de la microcuenca El Potrero.

1. Marco conceptual

Desde el enfoque del manejo integrado de cuencas los proyectos de restauración de ecosistemas perturbados cuentan con bases de conocimiento que permiten desarrollar un análisis completo de las problemáticas, teniendo a su disposición herramientas de estudio como los sistemas de información geográfica, que permiten integrar diversas variables y la realización de modelos cartográficos para simular diferentes escenarios en perspectiva de encontrar las mejores soluciones y decisiones para la resolución de las problemáticas, tanto en sistemas agroecológicos como naturales (Frêne, 2014).

1.1 La Cuenca hidrográfica

La cuenca constituye una unidad de paisaje que se conforma con el agua, el suelo con su estructura y formas características, la biodiversidad, el clima y la humanidad como elementos inseparables y que en su interacción son también la historia y la cultura de las sociedades que en su relación se afectan mutuamente de manera directa o indirecta para provocar cambios adaptativos que suelen ocurrir por el aprovechamiento de los beneficios que las cuencas proporcionan a la humanidad. Así, la cuenca como sistema compone la base sobre la cual se puede erigir el desarrollo sustentable de una región (Gaspari *et al.*, 2019). Y por el hecho de que sus límites espaciales están definidos por los escurrimientos de las aguas superficiales que descienden iniciando en las cumbres de montañas y cerros para culminar en una misma desembocadura (Frêne y Oyarzún, 2010).

La conformación de la cuenca permite realizar un ordenamiento a escalas más pequeñas, como subcuencas y microcuencas que facilitan el análisis y el manejo ambiental, permite canalizar recursos e intervenciones a zonas de interés prioritario (Cotler y Caire, 2009). Las escalas son definidas a nivel espacial utilizando cartografía topográfica, modelos digitales de elevación y fotografía aérea y satelital igualmente la cuenca puede subdividirse con relación a su comportamiento, para ello se definen las tres zonas funcionales: 1) Zona alta o zona de captación donde inician las escorrentías y la conformación de los cauces de primer orden; 2) Zona media o de transición aquí ocurre el transporte de los sedimentos y los cauces ya

contienen mayor volumen y velocidad de agua durante las precipitaciones; y 3) Zona funcional Baja o zona de acumulación, donde los sedimentos se acumulan y el agua encuentra salidas bien para desembocar en ríos de mayor orden, lagos, lagunas o al mar (Valdés y Hernández, 2019).

El análisis a escala funcional permite conocer las vocaciones de cada área, conocer y evaluar el estado de cada uno de los componentes y funciones que suceden, su caracterización desde las zonas funcionales facilita la planeación ecológica y la toma de decisiones de manera integrada, con fundamento en los vínculos de información de cada recurso y problema presente en la cuenca al conocer dimensiones y ubicación de las áreas de mayor perturbación, la alteración de servicios que aportan, los recursos naturales económicos y sociales que están comprometidos y los beneficios que se podrían recuperar (Cotler *et al.*, 2013; Valdés y Hernández., 2019).

El Manejo Integrado de Cuencas (MIC) representa el proceso de aprovechamiento ordenado de los beneficios que se obtienen de las cuencas por sus recursos funciones e interacciones a los que llamamos servicios ecosistémicos con el fin de obtener el mayor bienestar social, pero sin comprometer la funcionalidad y composición estructural de los ecosistemas (Frêne y Oyarzún, 2010). El manejo integrado de cuencas, además de la gestión de los recursos, también integra a los actores sociales involucrados, promueve la gestión participativa, reconoce las actividades y sistemas sociales como parte de la cuenca para abordar una problemática de manera integral y mantener la aptitud y funcionalidad ambiental, para no tener múltiples problemáticas de manera aislada sacrificando la vocación e integridad de los recursos contenidos en la cuenca (Caire, 2008).

El MIC ha sido reconocido también porque facilita el manejo de los recursos naturales para mantener la calidad y cantidad de agua adaptando las intervenciones humanas a la conservación del ciclo hidrológico y de los ecosistemas y se dirigen principalmente para favorecer el aprovechamiento de los recursos con fines productivos, por lo que las decisiones se deben basar en el análisis de la interacción humana y sus impactos ambientales y con la mayor cantidad de conocimientos y recursos científicos y tradicionales (Caire,2008).

Reconocer la cuenca como unidad estructural y funcional de los ecosistemas permite formar un conocimiento y análisis de las interacciones que ocurren entre los elementos que conforman el paisaje, como lo son el agua, el suelo, la vegetación y el clima con los diferentes factores que intervienen en él y el conocimiento puede llevarse desde las diferentes escalas de cuenca, subcuenca y microcuenca (Frêne y Oyarzún, 2014).

1.2 Degradación de Suelos

En las cuencas la degradación acelerada de la tierra comúnmente es resultado de la intervención humana. La degradación del suelo se define como la pérdida de utilidad actual o potencial, disminución de propiedades y funciones del suelo o como el descenso temporal o permanente de la capacidad productiva del suelo. Cuando la degradación es provocada por fenómenos naturales su proceso de restauración suele suceder a mayor velocidad que cuando se produce por intervenciones antrópicas ya que el suelo se forma por fenómenos fisicoquímicos y biológicos naturales en espacios temporales muy alargados (Zavala *et al.*, 2011).

Los procesos de degradación pueden ser agrupados en físicos y químicos, la erosión forma parte de los primeros y puede ser hídrica y eólica (Sentís, 2012). La degradación física representa la destrucción de la estructura del suelo y tiene que ver con el tamaño de partícula y textura afectando propiedades como la densidad aparente, la porosidad y la permeabilidad y puede ser provocada por la compactación que genera la maquinaria o el ganado, mientras la degradación química puede tener su origen en la acumulación de sustancias tóxicas que alteran las reacciones químicas, y así se altera la fertilidad y productividad de la cobertura vegetal ya sea silvestre o de sistemas productivos (Ortiz *et al.*, 1994).

La erosión hídrica es un fenómeno físico natural que ocurre con la precipitación, al golpear las gotas de lluvia a las partículas del suelo y removerlas para que luego los escurrimientos las transporten a áreas más bajas donde serán depositadas como sedimentos, las cantidades y tamaños de partículas dependen de la intensidad, tamaño y velocidad de las gotas de lluvia, de la pendiente, así como también de la cobertura vegetal que crece gracias a las propiedades de los suelos (Gutiérrez, 2006). En la medida que la degradación de los suelos avanza las

condiciones ambientales y productivas impactan generando importantes pérdidas y haciendo necesario intervenciones para conservar o restaurar las condiciones socioambientales y productivas (Corrales, 2013).

Cuando hablamos de un modelo regularmente nos referimos a algo que es ejemplar y, por tanto, debe imitarse o también a una forma de representar o explicar cierta realidad, fenómeno o hecho y al explicarlo se teoriza, y esta explicación o descripción no pueden ser exacta, pero sí perfectible, provisoria e idealizada y puede considerarse como algo análogo a la realidad que se representa (Chirinos y González, 2011). Los modelos se hacen con la finalidad de describir, explicar y predecir; los modelos son herramientas de investigación para conocer, comunicar y en su momento transformar el objeto de estudio (Chirinos y González, 2011).

Estas representaciones en los modelos pueden ser muy específicas al hacerlas con palabras, objetos o imágenes, o pueden ser abstractas y representadas con números o símbolos; entonces la modelación cartográfica, materia de esta investigación, consiste en una representación de la realidad ecológica de la microcuenca de estudio que incorpora bases de datos que contienen la información en datos de las características biofísicas geomorfológicas de la microcuenca para poder vincular la información de variables como: límite espacial, precipitación, usos de suelo y vegetación, relieve, forma, drenaje, Longitud y Grado de pendiente, Erosividad de la lluvia, Erosionabilidad del suelo y datos socioeconómicos de población y poder tomar nuevas medidas, predecir y comparar simulando diferentes escenarios posibles para favorecer los procesos de toma de decisiones e intervención (Mujica y Rincón, 2011).

Conocer los espacios geográficos con mayor pérdida de suelo y poder predecir aquellos que por sus condiciones actuales son más vulnerables a la erosión nos brinda la posibilidad de actuar con acciones para evitar que continúen los procesos erosivos y tratar de restaurar las condiciones estructurales y funcionales del suelo.

1.3 Restauración Ecológica

Restaurar los suelos degradados es también restaurar la cuenca, cuando la funcionalidad y estructura de las cuencas ha sido degradada la restauración se hace

necesaria para poder buscar restablecer la capacidad productiva, los equilibrios y funciones ecosistémicas (Frêne y Oyarzún, 2010). El crecimiento de la población, el cambio climático y las actividades humanas aceleran los procesos de degradación de suelos, tanto, que hoy alcanza a ser uno de los problemas básicos a nivel global y pone en riesgo la seguridad alimentaria y ambiental en diferentes partes del mundo (Lal, 2012). El proceso de restauración ecológica de la cuenca implica procedimientos participativos con los actores sociales involucrados, planeación y diseño, incluido el conocimiento y análisis de las variables biofísicas, geomorfológicas y sociales, el análisis y descripción de las zonas más dañadas (zonas prioritarias), para la toma de decisiones sobre los planes de manejo, métodos, técnicas y prácticas restaurativas, y que aseguren la perdurabilidad de las acciones y resultados; todo esto para que se puedan alcanzar las metas y objetivos con beneficios ecológicos, sociales y económicos (Sabogal *et al.*, 2015).

En los trabajos de restauración los métodos y técnicas son tan importantes como las especies que se utilizan en las prácticas, especies nativas como los *Agaves*, los nopales y pastos suelen presentar ventajas o como aquellas que están probadas en las condiciones ambientales de las zonas de rehabilitación (Arias *et al.*, 2016), para los sistemas productivos y naturales, se requieren agregar criterios a esta selección y obligadamente deberán contar atributos que favorezcan el restablecimiento estructural y funcional de las cuencas, así como el de los servicios ecosistémicos fundamentalmente de regulación y provisión para que, al mismo tiempo, provea alimentos o materia prima, contribuya a la retención de agua y suelo, y a favorecer la conservación de la biodiversidad, entre otros (Goitia, 2008; García *et al.*, 2010).

1.4 El Agave

El *Agave* posee características físicas y biológicas que puede transferir a los procesos de restauración de cuencas, éstas son su alta capacidad de adaptación a diferentes ecosistemas, su resistencia a la sequía, es tolerante a rangos climáticos adversos, por la forma extendida de sus raíces afianza el suelo a su disposición y facilita la captura del agua durante las lluvias, al igual que la forma y estructura de sus pencas, tiene alta capacidad fotosintética y producción de biomasa, existen

abundantes especies de polinizadores (Vázquez *et al.*, 2019). Existen especies de maguey que son muy prolíferas por reproducirse de manera sexual y vegetativa, provee forraje a animales en tiempo que otras especies ya se han agotado, captura CO², produce carbono orgánico, enriquece las propiedades productivas del suelo, presenta bajos costos para su establecimiento y mantenimiento y tiene un valor económico estable además de diversos productos negociables (Arias *et al.*, 2016).

El tiempo en que los suelos y ecosistemas se han degradado es corto en comparación con el tiempo que se requiere para que puedan restaurarse las condiciones funcionales y estructurales de los sistemas agroecológicos y naturales, es por eso que la restauración tiene que ser asistida con acciones que contemplen el conocimiento integral de problemática, con su respectiva delimitación espacial, la participación de los actores sociales, con planes y proyectos que integren y canalicen los recursos disponibles y con prácticas que incorporen las especies más idóneas.

2. Antecedentes

Los modelos cartográficos desarrollados desde los sistemas de información geográfica contribuyen, en los proyectos de restauración de sistemas agroecológicos y naturales, facilitando la detección de problemáticas y aportando información clave para la toma de decisiones y mejor aplicación de los recursos disponibles. En diferentes partes del mundo, y a nivel nacional, existen experiencias importantes donde se ha utilizado la metodología para detectar zonas prioritarias para la restauración ecológica y determinar erosión potencial y actual (USLE) en territorios con ecosistemas degradados.

Tane (2006) en la cuenca de Bylong Creek, en Tarwin Lower Victoria, Australia, desde un enfoque de cuencas realiza prácticas de restauración para abordar la degradación de recursos por erosión, inundaciones, barrancos, alta salinidad de las tierras, niveles freáticos reducidos a través un sistema integrado de diseño ambiental sostenible llamado Terracuacultura, de donde procede la Agricultura de Secuencia Natural que consiste en estancar, almacenar y filtrar agua;

además, de incrementar la acumulación orgánica de los suelos para abastecer los sistemas productivos y mantener el equilibrio de los recursos en la cuenca.

Wakatsuki y Masunaga (2004), en África occidental (incluidos Senegal, Guinea, Sierra Leona, Liberia, Costa de Marfil, Malí, Burkina Faso, Ghana, Togo, Benin, Níger, Nigeria, Camerún y República Democrática del Congo) propusieron la restauración de 20 millones de hectáreas con estrategias de Ecotecnologías adaptadas a sistemas de agricultura indígena llamada Sawah, que son campos de arroz de regadío a pequeña escala, sostenible y de bajo costo, para revertir la erosión y la pérdida de fertilidad de las cuencas

Mekuria y colaboradores (2018) en Etiopía Noroccidental (en la cuenca hidrográfica Aba-Gerima) investigaron los cambios en la composición de la cobertura, el área de biomasa y las propiedades del suelo, después del establecimiento de una exclusión de las tierras de pastoreo degradadas (no se permite ningún aprovechamiento) para implementarlo como estrategia de restauración de los servicios ecosistémicos. Como resultado, se tuvo que la vegetación registró mayor cantidad de especies y familias con importancia económica en las áreas de exclusión, a diferencia de la zona adyacente de pastizal. En las propiedades del suelo mayor intercambio catiónico en profundidad de 0 a 15 cm, Mayor Carbono orgánico y Nitrógeno en profundidad de 15 a 30 cm, en comparación con las tierras de pastoreo adyacentes.

Lal (2012) describe procesos, causas y factores de la degradación del suelo por erosión y desertificación a nivel global. Estudió el flujo terrestre, los efectos sobre el agua inducidos por el clima, el aumento global de las temperaturas superficiales, la conversión de usos de la tierra, la pérdida de la cobertura vegetal, el agotamiento de los nutrientes de las plantas y del carbono orgánico del suelo; mediante un análisis de cuencas, previó la erosión del suelo a nivel global para 2090, a través de Sistemas de Información Geográfica SIG y propuso estrategias de restauración con el manejo integrado de cuencas, requiriendo de la disponibilidad de datos científicos para el manejo sustentable de los recursos, el análisis y la toma de decisiones, prácticas de reforestación para capturar e infiltrar mayores cantidades de agua, captura de carbono y gestión de nutrientes N, P, K, S y Zn, labranza cero, rotaciones de cultivos, uso de abonos orgánicos, impulso de sistemas

agroforestales sustentables que mejoren la productividad y la biodiversidad.

Shivhare y colaboradores (2017) en la cuenca del río Ganges (que abarca India, China, Nepal y Bangladesh) que se encuentra actualmente en peligro ambiental, realizó un análisis Morfométrico para identificar las áreas propensas a la erosión y así poder plantear proyectos de restauración y aprovechamiento sustentable. Se utilizan modelos cartográficos y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) mediante manejo de software ArcGIS y ArcSWAT. Las subcuencas se priorizan según la erosionabilidad. Los resultados indicaron microcuencas con mayor y menor erosión.

Bhan Suraj, (2013) en India, desde un análisis de gestión integrado de cuencas, describió las condiciones de degradación, abordó de manera detallada cada problemática en las diferentes cuencas tales como: degradación de suelos, la agricultura, el manejo del agua y de la cobertura vegetal, así como de los diversos fenómenos que afectan la integralidad de las cuencas con la participación y experiencia de los actores sociales, el uso de tecnología, con técnicas y prácticas de restauración y producción, y con la movilización de recursos para el desarrollo de la cuencas.

Goitia (2008) en Bolivia incorpora *Agave* en la formación de barreras vivas en un proceso de evaluación de especies para determinar sus aptitudes frente a la erosión, aplicando prácticas con terrazas, zanjas de infiltración, surcos en contorno, barreras vivas utilizando especies forestales o combinado con obras mecánicas. Se utilizó un diseño experimental con 4 tratamientos *Agave*, nopal, retama y testigo midiendo retención de sedimentos por medio de varillas graduadas y estableciendo barreras vivas a las mismas distancias. Y se cuantificó la cobertura vegetal emergente.

Castro (2013) en la Microcuenca de presa Madin en el Estado de México estima la erosión hídrica apoyándose de La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), para identificar cómo afecta el funcionamiento hidrológico de la microcuenca. Se calculó la tasa de erosión potencial y la actual considerando el efecto de la cobertura vegetal y las prácticas mecánicas.

Mandujano y colaboradores (2018), en un estudio de diversidad genética, identificaron 9 especies de *Agave*, en el norte de Guanajuato, tanto introducidas como nativas con intenciones de restauración y producción de tequila y mezcal.

Martínez *et al.* (2010) utilizaron *Agave* en la recuperación de terrenos degradados en 10 comunidades campesinas de la subcuenca El Calabozo-Potrerrillos, Cuenca de Cointzio, Michoacán. Sus resultados fueron un plan de manejo la organización y establecimiento de viveros y reforestación en todas las comunidades.

En México se cuenta con especies vegetales que se han utilizado para técnicas de restauración, que poseen importantes valores de uso y cambio, algunas de ellas no maderables, herbáceas, arbustos, pastos, *Opuntias*, *Agaves*, entre otros (Flores *et al.*, 2013., García *et al.*, 2010., García, 2015). Algunas especies del género *Agave* cuentan con características que favorecen los procesos de restauración y que también ya han sido utilizadas en México y algunos países de América Latina como elementos importantes en estrategia y prácticas de restauración (CONAFOR, 2012). Entre los usos agroecológicos de los *Agaves* sobresale por ser utilizado para contener los procesos erosivos como formador de terrazas en contra de la pendiente y a la vez como delimitador de las parcelas agrícolas como cercas vivas (Torres *et al.*, 2019).

Velázquez (2020) en la microcuenca Zamarripa, San Luis de la Paz, Guanajuato, con un enfoque agrosilvopastoril desde el análisis integral de la cuenca, atiende la problemática de la degradación del suelo, el desequilibrio hidrológico y de la vegetación para recuperar los servicios ecosistémicos, utilizando *Agave*, mezquite y nopal, por medio del establecimiento de módulos agrosilvopastoriles, para facilitar la restauración de servicios ecosistémicos y mejoras económicas para los hogares de tres comunidades.

En México, el maguey es reconocido como una planta forestal no maderable y forma parte de casi todos los ecosistemas que existen en el territorio nacional, se viene utilizando desde las culturas prehispánicas hasta nuestros días con la intención de evitar la pérdida de suelo en terrenos y parcelas de cultivo con pendientes pronunciadas y por sus múltiples usos ha adquirido importancia

socioeconómica y agroecológica (García *et al.*, 2010., Goitia, 2008; López *et al.*, 2010).

Flores (2018) en La Hacienda de Zamarripa en el municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato, desde un enfoque agroforestal, con especies de *A. salmiana* y *A. americana*, pastos y mezquites reforestó buscando poder alimentar ganado ovino y caprino y a la vez restaurar los suelos erosionados. Hoy cuentan con 72 ha en restauración y producen alrededor de 165 toneladas de penca de maguey por hectárea, con la que elaboran silo para alimentar su ganado. A sólo unos kilómetros de distancia Cotler y Caire (2009) en Mesa de Escalante, desde 1995 y con enfoque de cuencas, reforestan 200 ha con 70,000 plantas de maguey en dos corredores de obras de conservación de suelo y agua, buscando la restauración de los servicios ecosistémicos de soporte y regulación a mediano y largo plazo, y la producción de forraje para el ganado ovino. Hoy son 5 comunidades ejidales con más de 5,000 ha incluidas en el plan de manejo.

Las experiencias conocidas en los párrafos anteriores mostraron cómo ha sido posible resolver problemáticas similares a las de esta investigación, desde la metodología para analizar la erosión hasta el uso de especies como el *Agave*, en las prácticas de restauración aplicadas en zonas prioritarias de restauración e incluso contribuyendo a la restauración de servicios ecosistémicos y sistemas agroforestales y agrosilvopastoriles, aportando además a los actores sociales beneficios y perspectivas de manejo sustentable en el aprovechamiento agropecuario de su territorio.

3. Área de Estudio

La microcuenca El Potrero se encuentra en el centro de la República Mexicana en el Noreste del Estado de Guanajuato y pertenece al municipio de Victoria, sus coordenadas extremas Son Norte 21°10' 22.4", Sur 21 °07'39.5", Este 100°09'53.1" y Oeste 100 °15'11.2". Esta microcuenca está registrada como 26DcBGA "Zona alta de Corralillos", (FIRCO,1999) es conocida como El Potrero y el territorio pertenece al Ejido San Isidro Corralillos, forma parte de la región hidrológica 26 Río Pánuco pertenece a la cuenca del Río Moctezuma y subcuenca del Río Estorax, cubre una

superficie de 20.86 Km² (figura 1). Su topografía la ubica entre los 2,550 y 1,720 msnm.

Es una cuenca exorreica de origen volcánico y sedimentario predominan las rocas ácidas, pertenece a la Provincia fisiográfica de La sierra Madre Oriental y a la Subprovincia de la Sierra Gorda, con presencia de Laderas Escarpadas y muy Escarpadas, Domos, Piedemonte, Valles de Piedemonte y Mesas, por lo que predominan las pendientes pronunciadas, prevalecen suelos inmaduros y poco profundos y las vegetaciones y usos de suelo que soportan esta estructura son bosque de encino y encino perturbado, predomina el matorral crasicaule y crasicaule perturbado, pastizal inducido, vegetación de galería, agricultura de temporal y tres cuerpos de agua. Su clima es Semiseco y precipitación de 513 mm Servicio Meteorológico Nacional, (2016); INEGI, (2014, 2016) Es una microcuenca pequeña rectangular oblonga con una pendiente S de 28.11 % que le permite drenar con facilidad en 332 corrientes hasta la desembocadura.

La localidad que interactúa en la microcuenca es Corralillos que se encuentra asentada en tierras que pertenecen a otro ejido colindante a la zona de estudio. Las vías de comunicación son las brechas, veredas y una carretera que comunica con la cabecera municipal de Victoria y Tierra Blanca, Guanajuato.

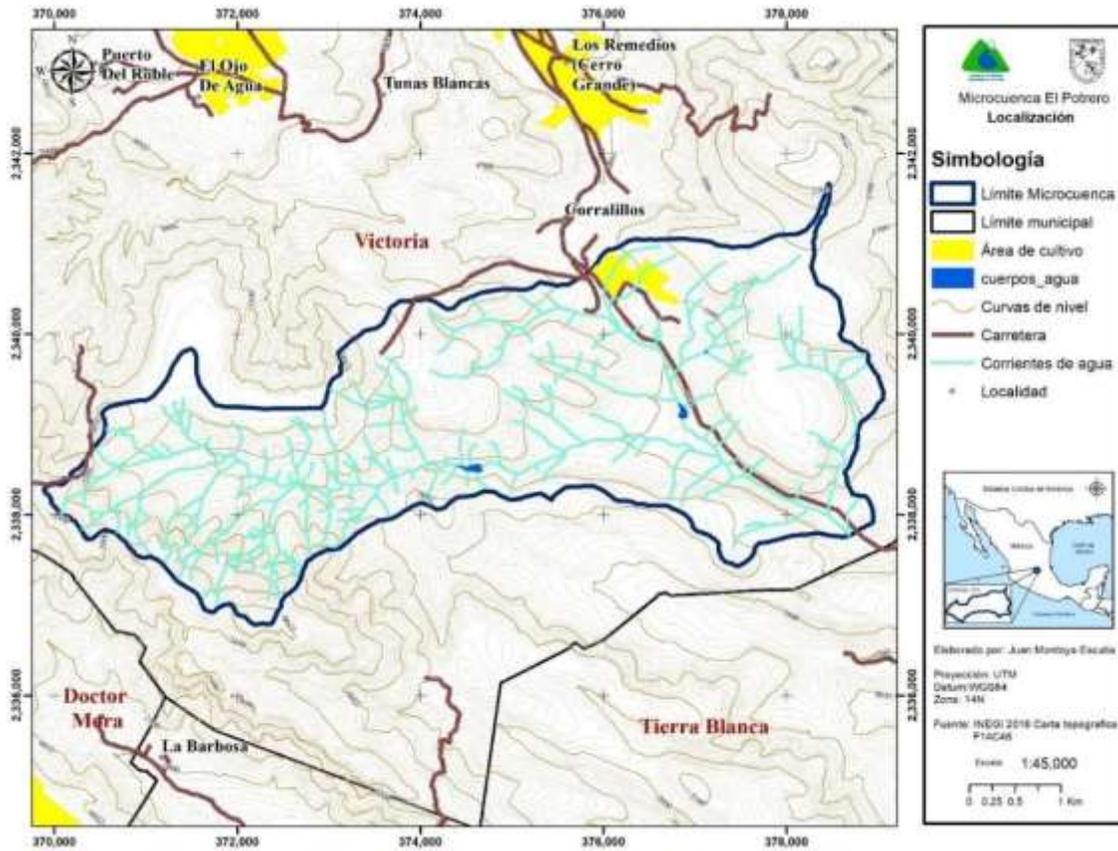


Figura 1. Localización microcuena El Potrero. **Fuente:** Elaborado con base en INEGI (2016)

La microcuena de estudio pertenece al Ejido San Isidro Corralillos conformado por 82 ejidatarios, el 4 de diciembre de 2004, después de una lucha de varias generaciones poseen una extensión de 4,213.34 ha, justo en los límites municipales de colindancia con los municipios de Doctor Mora al oeste y Tierra Blanca al sur (RAN, 2017).

3.1 Caracterización biofísica.

3.1.1 Geología

El componente geológico se encuentra conformado por 5 diferentes tipos de rocas (figura 2, tabla 1), en donde sobresale por su abundancia la roca Ígnea extrusiva ácida con 1,012 ha, que abarca todo el Centro, parte del Sureste y una porción del Noreste, Basalto con 775 ha de en dos grandes segmentos ubicados al Noreste y

Noroeste, Caliza-Lutita 14 ha en una pequeña porción al Noroeste, Lutita–Arenisca 216.7 ha al Suroeste y Toba con 68.46 ha al Sureste.

Tabla 1. Tipos de roca

Roca	Área (ha)	Porcentaje
Ígnea extrusiva ácida	1,012	48.5
Basalto	775	37.1
Lutita –Arenisca	216.7	10.4
Toba ácida	68.3	3.3
Caliza-Lutita	14	0.7
	2,086	100

Fuente: Elaborado con base en el INEGI (2020).

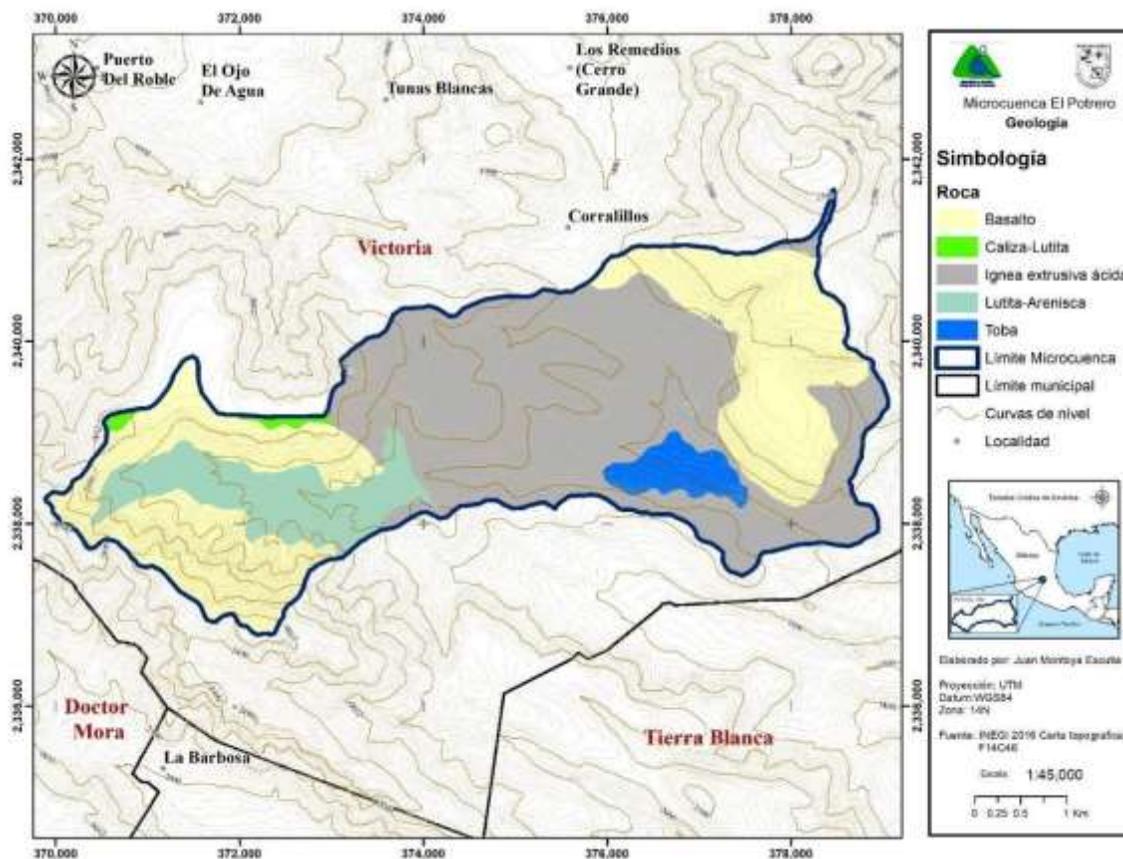


Figura 2. Distribución Geológica microcuenca El Potrero Fuente: Elaborado con base en INEGI (1973).

3.1.2 Fisiografía

La microcuenca se ubica en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental conformada por sierras menores de estratos plegados. Representada por la subprovincia de la Sierra Gorda que presenta de manera predominante dos sistemas de toposformas: a) Valles ramificados profundos alternados con sierras de la misma subprovincia; y b) Sierra alta con cumbres de laderas rectas.

3.1.3 Geomorfología

Los domos constituyen 644.7 ha (30.9 %) se localizan en la parte central desde el Norte hasta el sur del territorio, ladera escarpada 319.2 ha (15.3 %) se encuentra en la zona funcional alta en la parte oeste de la microcuenca, ladera muy escarpada con 153.3 ha (7.4 %) en la zona funcional alta abarca el territorio del bosque de encino y localiza en la zona oeste , en cuarto lugar la mesa con 546.6 ha (26.2 %) se distribuye en dos parches el de mayor superficie en el este el otro en el noroeste, en sexto lugar el valle de piedemonte con 126.5 ha (6.1 %) abarca la zonal funcional baja por completo y se localiza al centro del este y, por último, el valle escarpado con 42.4 ha (2 %) es una delgada franja que abarca parte de la vegetación de galería que se localiza entre la zona funcional media y alta al centro de la microcuenca, (figura 3 y tabla 2).

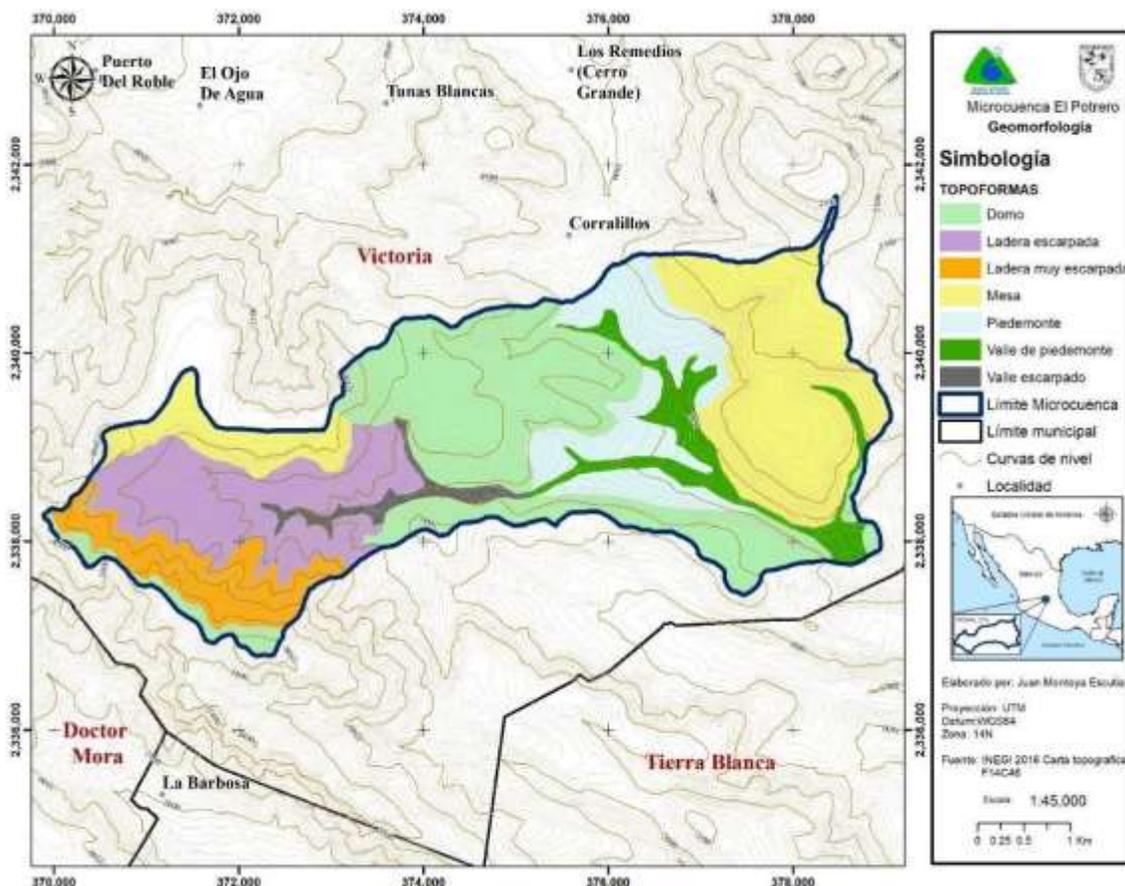


Figura 3. Geomorfología el de la microcuenca El Potrero **Fuente:** Elaborado con base en INEGI (2016).

Tabla 2. Topoformas de la microcuenca El Potrero

Topoforma	Superficie ha	% superficie
Domo	644.68	30.9
Ladera escarpada	319.14	15.3
Ladera muy escarpada	153.53	7.4
Mesa	546.59	26.2
Piedemonte	253.16	12.1
Valle de piedemonte	126.5	6.1
Valle escarpado	42.4	2

Fuente: Elaborado con base en INEGI (2020)

El territorio presenta cinco rangos de pendiente que van desde 0 a 3° de inclinación y cubre una superficie de 160.2 ha (7.7 %) ubicada en el noroeste, centro y noreste; valores de 3° a 8° con 428 ha (20.6 %) se localiza principalmente al noreste, sureste y centro; valores de 8° a 15° con 559 ha (26.8 %) distribuidas ampliamente en norte, sur, centro, este y oeste; valores de 15° a 30° abarcan la mayor superficie con 739.73 ha (35.5 %) ubicándose principalmente al noroeste y

suroeste, al centro y al sureste y valores $> 30^\circ$ con 198 ha (9.5 %) que se localiza al suroeste, centro y este (figura 4).

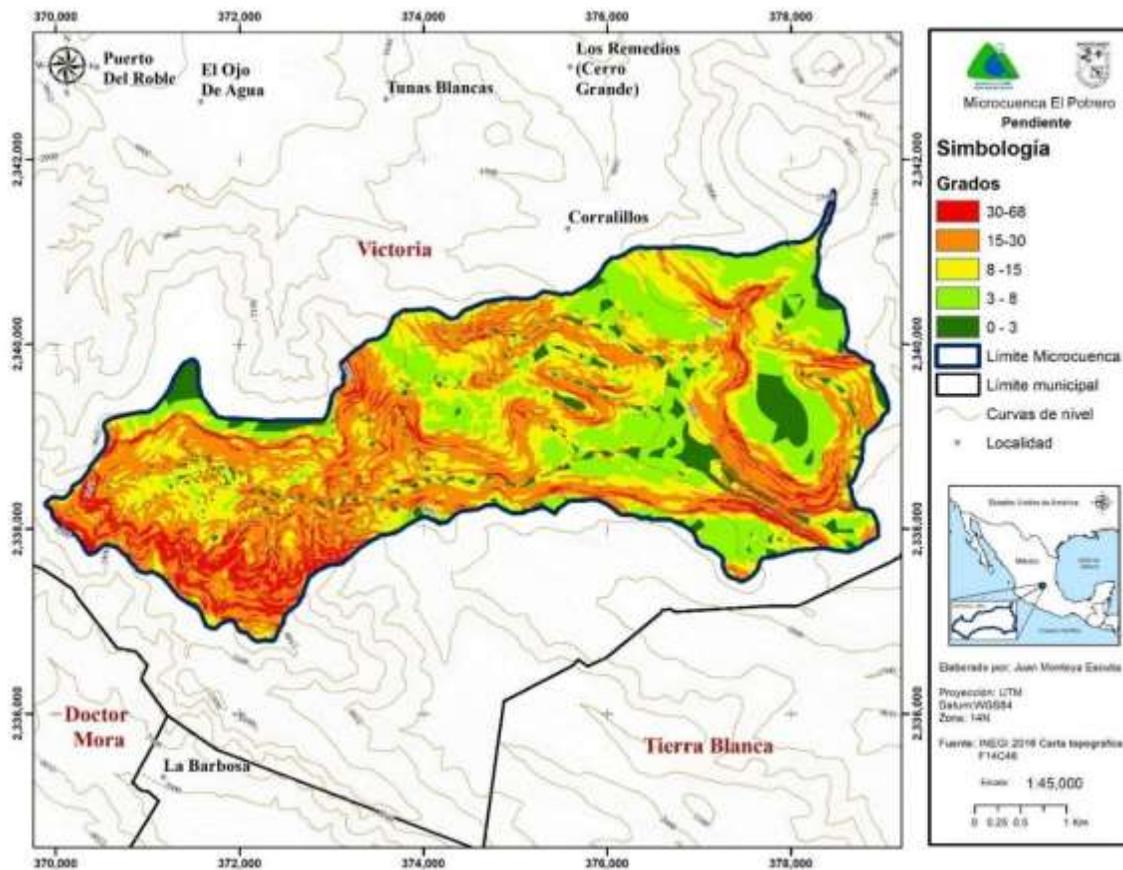


Figura 4. Grados de Pendientes microcuenca El Potrero **Fuente:** Elaborado con base en INEGI (2016).

3.1.4 Edafología

Los suelos presentes en territorio de la zona de estudio son Leptosol y Leptosol más Regosol (figura 5). El Leptosol representa el 26.22 % (547.09 ha) del territorio, este tipo de suelo se caracteriza por ser delgados e inmaduros con cantidades abundantes de piedra a bajas profundidades se localiza en zonas con pendiente pronunciada, se distribuye al Norte de la microcuenca en la zona central, al Este y al Oeste. El área con Leptosol más Regosol abarca el 73.78 % (1,539.32 ha) son suelos que presenta un perfil más profundo, aunque siguen siendo suelos jóvenes con bajas concentraciones de materia orgánica y baja capacidad para retener agua, su origen está vinculado a la sedimentación de montañas se localiza en gran parte

de la microcuenca con mayor concentración en el sur, suroeste y sureste (INEGI, 1974).

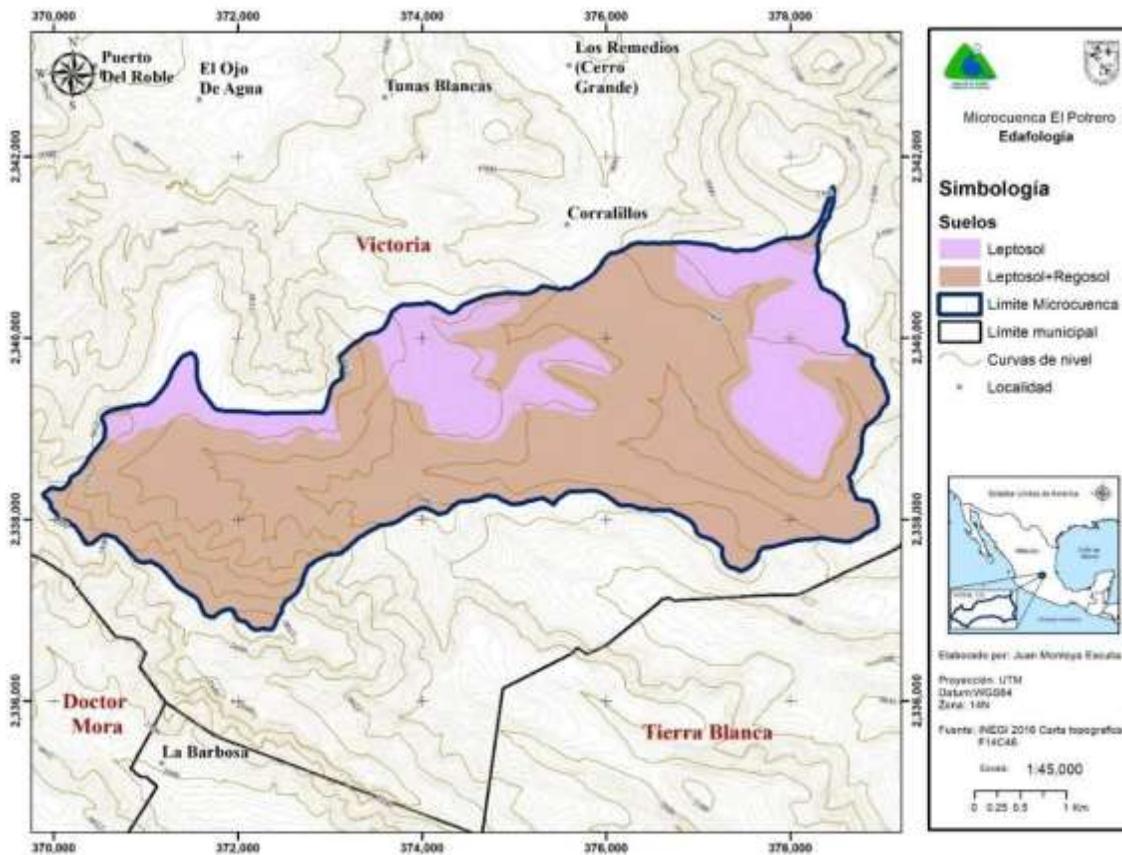


Figura 5. Tipos de suelo microcuenca El Potrero **Fuente:** Elaborado con base en INEGI (1974).

3.1.5 Vegetación y usos de suelo

Siete categorías de vegetación y uso de suelo están presentes en la microcuenca de estudio, La primer categoría es la agricultura de temporal que cuenta con un área de 41.58 has (2 %) ubicadas al noreste y al sur en los costados de la ribera del río principal de la microcuenca, en ellas se cultivó maíz, frijol y actualmente se encuentran sin labor; la segunda categoría es bosque de encino con 178.36 ha (8.5 %) localizado en la parte más alta en el oeste de la cuenca, entre las especies de encino que predominan (*Quercus jonesii*, *Quercus obtusata*) también se encuentran diversos tipos de especies arbustivas. La tercera categoría es bosque de encino perturbado con 229.21 ha (11 %) ubicada en dos manchones uno al

noroeste y otro pequeño al centro aquí disminuye las poblaciones de encinos y aumenta la de arbustivas y herbáceas (figura 6).

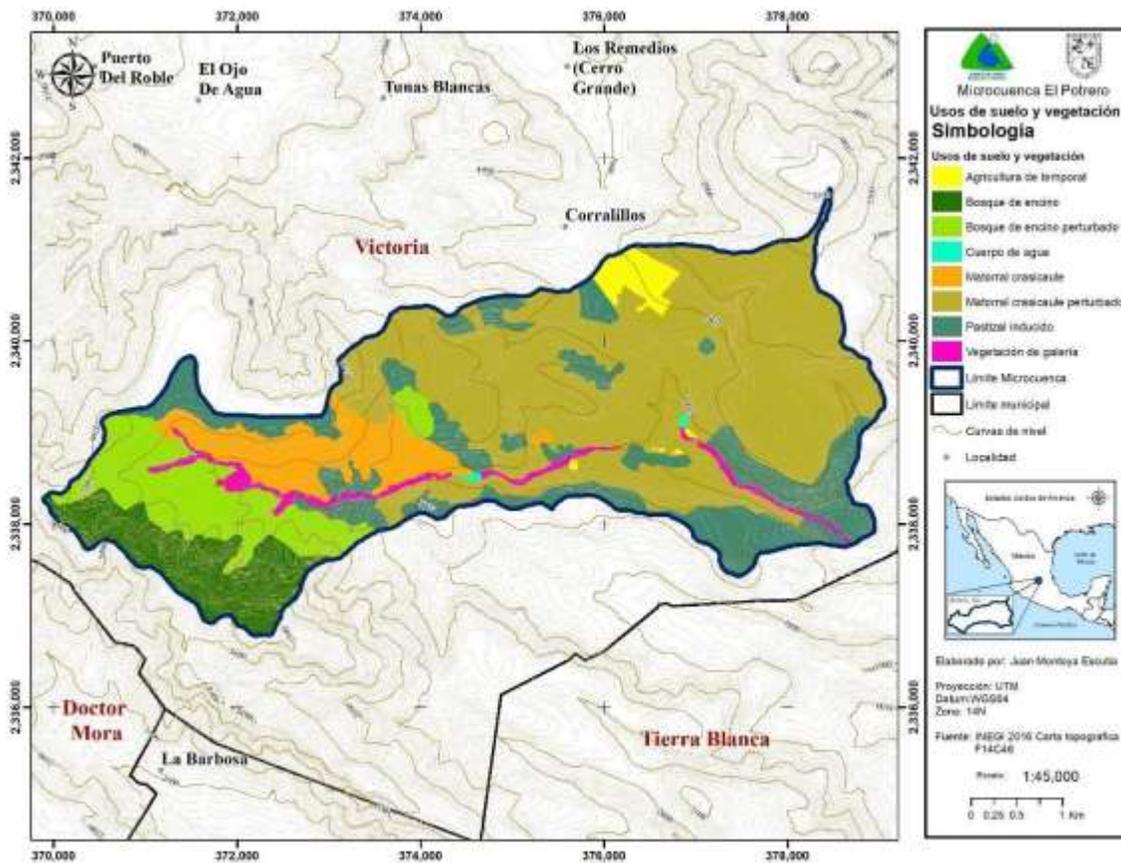


Figura 6. Tipos de vegetación y usos de suelo microcuencia El Potrero. **Fuente:** Elaborado con base en INEGI (2016).

En la cuarta categoría se encuentra el matorral crasicale con 168 has (8.1 %) y se ubica al centro de la parte noroeste de la microcuencia, las especies presentes son: garrambullos, diferentes especies de nopales, mezquites, huizaches, órganos, biznagas y arbustos como ocotillo, orégano, rama amargosa y algunas variedades de pastos, la quinta categoría es el matorral crasicale perturbado que representa la mayor extensión con 1,027.33 ha (49.2 %) abarca desde el norte centro y este del territorio las especies fueron anteriormente descritas y sus poblaciones no son densas, la sexta categoría es el pastizal inducido con 387.14 ha (18.6 %) se distribuye en varios manchones al norte, centro sur y este del territorio, predominan pastos con escasos árboles y arbustos, en la séptima y última categoría están los cuerpos de agua, que abarcan tres has (0.1 %), representada por 2 bordos de terraplén localizados uno el de menor área en el centro de la zona este y el otro al

sureste sobre el cauce principal y una presa que se localiza en el centro sur sobre el cauce del río principal; son destinados para abrevadero del ganado.

3.1.6 Climatología

El clima se manifiesta como un solo tipo (BS1Kw) conocido como semiseco para toda la microcuenca y Muestra tres variantes en temperatura en verano menos temperatura media anual de 12° a 18° C 850.15 ha (40-74 %) al oeste y en el este con temperaturas medias anuales de 12 a 22° C 1234.99 ha (59.18 %) y una fracción muy pequeña 1.35 ha (0.064 %) el más seco con temperatura media de 18° a 22°. El periodo de lluvias es de mayo a octubre con mayores precipitaciones para el verano. mientras las sequías se presentan en los meses de noviembre a abril (Figura 7 y 8).

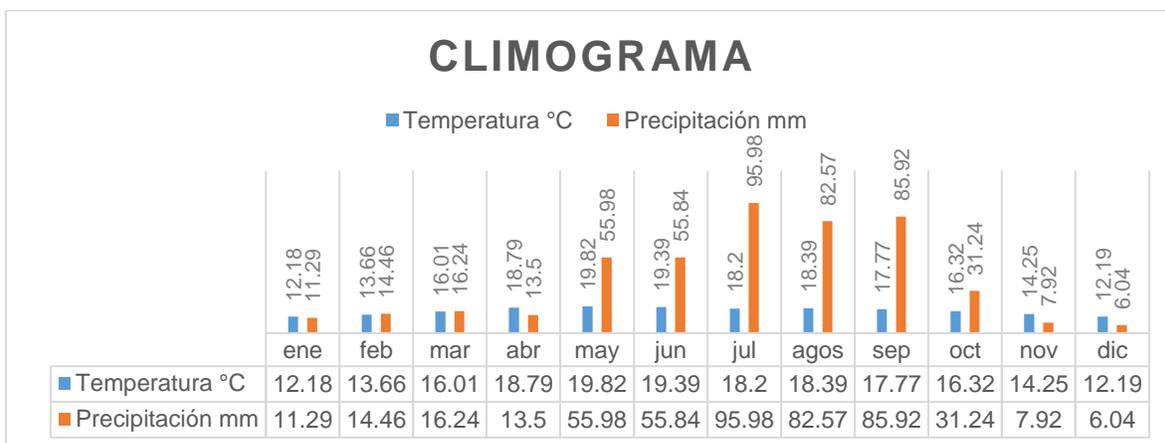


Figura 7. Climograma Estación meteorológica 11082 Villa Victoria DGE **Fuente:** Elaborado con Base en el SMN (2020).

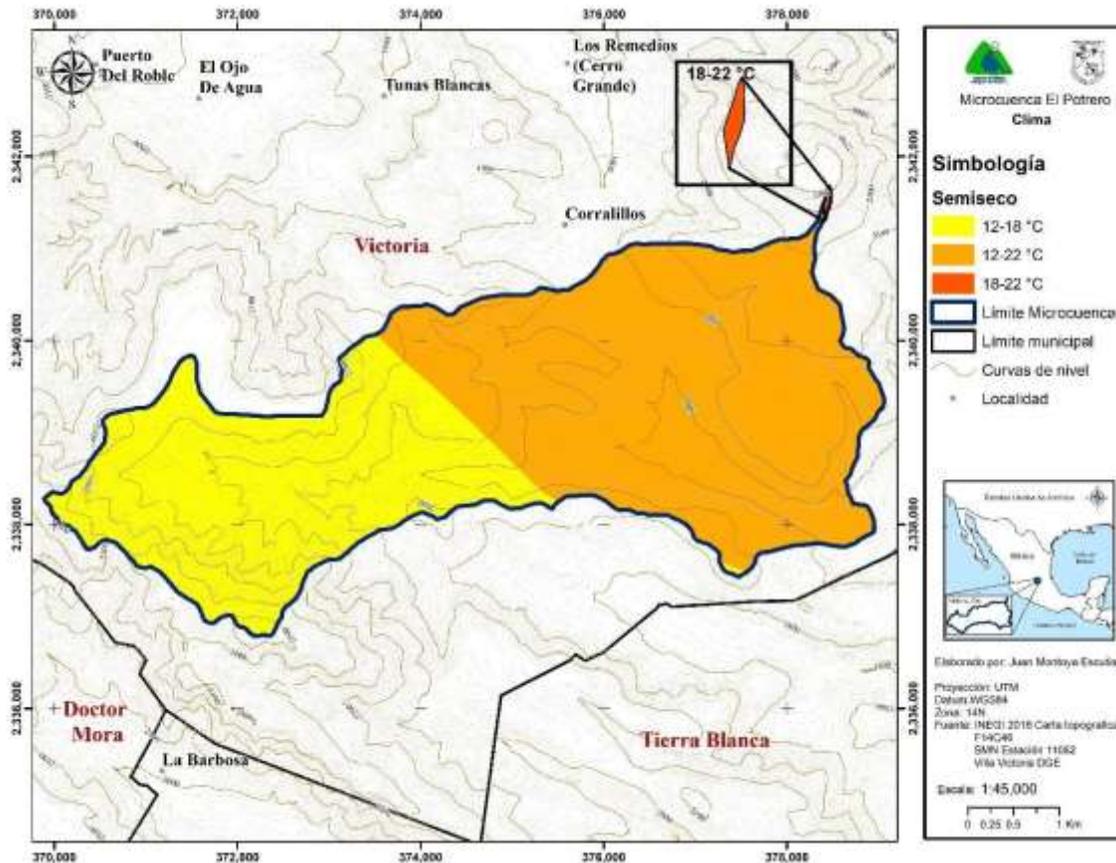


Figura 8. Mapa de clima de la microcuenca El Potrero. **Fuente:** Elaborado con base en INEGI (2016).

3.1.7 Hidrografía

Parámetros de forma. En la microcuenca los parámetros relacionados con la superficie en km^2 , el ancho promedio, la longitud perimetral y Axial y muestran una microcuenca pequeña de solo 20.86 Km^2 y 27.13 km de longitud limítrofe, con un ancho promedio de 2.42 Km y longitud axial de 8.62 km que es la relación de la desembocadura del cauce principal en su distancia mayor. Por su coeficiente de compacidad que dimensiona la relación circunferencial se trata de una cuenca que va, de oval oblonga a rectangular oblonga con un valor de 1.68 que así la relaciona y que a la vez se verifica con el factor de forma que resultó con un valor de 0.28 y por ser menor que 1 se trata de una cuenca achatada con tendencia a la ocurrencia de avenidas.

La relación de elongación vincula valores de elevación, longitud y forma resaltando los relieves y el resultado de 0.60 denota una cuenca de relieve fuerte y

pronunciado, el Índice de alargamiento con un valor de 2.55 establece que es una cuenca moderadamente alargada y este valor se interrelaciona con el Índice de homogeneidad 0.65 que lo relaciona con la forma de un cuadro o rectángulo y se define como una cuenca menos homogénea y más alargada.

Parámetros de relieve. Curva hipsométrica en zonas funcionales clasifica los intervalos de elevación y el área entre estos ubica la pendiente con respecto al porcentaje de elevación para establecer la zona alta, media y baja, permite conocer la dinámica de la cuenca en estudio en torno al relieve, marca una elevación máxima de 2,550 msnm, una media de 2,008 y una mínima 1,720 msnm; por su forma y valores esta es una cuenca madura.

La pendiente de la cuenca S está expresada en 28.11 % con el modelo digital de elevación que se genera con las curvas de nivel, este es un parámetro que permite diagnosticar y predecir la posibilidad de degradación de suelos por la erosión, al igual que los caudales, el coeficiente de rugosidad $R_u=3.21$ que es la relación entre el desnivel de la cuenca y su densidad de drenaje que calcula como insumo la diferencia de altura entre la máxima y la mínima H_a . Los coeficientes de masividad C_m (0.009537), son la relación entre la altitud media del relieve y la superficie proyectada sobre un plano horizontal tiene valores grandes para cuencas montañosas. El coeficiente orográfico C_o (0.001897) combina o multiplica la altura media y el coeficiente de masividad, es la elevación con respecto a la fuerza que presenta el agua y sus dimensiones cuantitativas para la degradación de los suelos.

Orientación de la microcuenca: En cuanto a la orientación de ladera que analiza la cantidad de luz, humedad y direcciones del viento que influyen sobre la microcuenca, aporta los valores de Norte, Este, Oeste y Sur que en el caso de la microcuenca El Potrero está orientada Norte Sur y no recibe insolación.

Parámetros de drenaje La corriente Principal de escurrimiento de la microcuenca El Potrero Mide 9.86 Km de largo, la longitud total de las corrientes es de 80.56 km, la densidad de drenaje de 3.86 km/Km² y la densidad de corrientes de 15.91 corr/Km² con un total de 332 corrientes dentro de la cuenca que llegan hasta un 5° orden, establece una relación de bifurcación de 1,396 y un tiempo de concentración de 6.41 minutos que es la fracción de tiempo que tarda en llegar el agua a la desembocadura entre la pendiente y la longitud del cauce. Con estos

datos es posible cuantificar y predecir el comportamiento de las escorrentías frente a los diferentes tipos de precipitación, conocer cuánta agua se desplaza y los efectos que podría causar en las condiciones que se encuentre, ya sea con cobertura vegetal abundante o perturbada, de igual forma prevé los datos cuantitativos como para planear la existencia de presas, bordos, posibles inundaciones, aptitudes agrícolas con la relación de las corrientes y el tipo de suelo.

3.1.8 Hidrología Acuífero

Actualmente la microcuenca de estudio no cuenta con ningún pozo profundo o manantial registrado, el pozo que abastece de agua potable a la localidad se encuentra fuera de los límites de la zona de estudio. La microcuenca se ubica en el acuífero Xichú-Atarjea (clave 1101) se localiza en el extremo noreste del estado de Guanajuato. Es un acuífero tipo semiconfinado de libre continuidad hidráulica regional se encuentra en un medio fracturado, formado por rocas ignimbríticas y basálticas. Los pozos más profundos se encuentran a 450 m, tiene una extensión superficial de 3,815 km² y abarca los municipios de Xichú, Atarjea, Santa Catarina, Tierra Blanca, Victoria y parte de San Luis de la Paz limitado al sureste con el Estado de Querétaro, al noreste con el Estado de San Luis Potosí y al oeste con el acuífero de Laguna Seca,

El área con potencial acuífero tiene un ancho de 3 a 5 km por un largo de 30 a 35 km. Con flujo subterráneo en dirección Noroeste-Sureste. En los alrededores de la zona de estudio en el municipio de Victoria los niveles se presentan en un rango de 8.32 a 195.25 m de profundidad. El nivel más profundo de esta área del acuífero se localiza al sur de Victoria en la localidad de Los Remedios a escasos 300 m de la zona donde se efectúa la investigación, con nivel estático de 195.25 m.

El censo arrojó como resultado un total de 106 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 75 corresponden a pozos profundos, 11 norias, 11 manantiales y 9 galerías filtrantes. De los 75 pozos, 57 están activos y 13 inactivos, 2 registrados como negativos y 3 en proceso de perforación. El volumen total de extracción es de 8.8 millones de m³, donde 7.83 corresponde a pozos, 0.617 millones de m³ a manantiales, 0.137 millones de m³ a norias y 0.182 millones de m³

a galerías filtrantes. La extracción por uso correspondiente a pozos para uso agrícola es de 4.83 millones de m³ al año y para uso potable de 3 millones de m³ al año (tabla 3).

Tabla 3. Balance de aguas subterráneas

Recarga total media anual	40.3 hm³/año
Descarga natural comprometida	31.5 hm ³ /año
Disponibilidad media anual	3.857421 hm ³ /año.
Volumen disponible anual	3,857,421 m ³
Volumen de extracción	4,942,579 m ³ /año

Fuente: Elaborado con base en CONAGUA (2020)

3.2 Caracterización social

Corralillos es una localidad formada a partir de la ex hacienda Corralillos conformado a mediados del siglo pasado y al cambiar de dueño los jornaleros, abandonaron el lugar y posterior a esto poco a poco se fue poblando con familias que provenían de localidades vecinas, de los municipios de Victoria, Doctor Mora, y Tierra Blanca, pues se les permitió establecerse (Ramírez, 2010).

La tenencia de la tierra es 100 % ejidal conformado por 82 ejidatarios y ejidatarias en 2006, en su mayoría población joven de 35 a 50 años y solo 8 mayores de 60 por lo que es un ejido nuevo y en procesos de conformación de reglamentos internos y con fuerte disposición a organización y participación en trabajos del ejido y la comunidad a diferencia de los ejidos regionales que por ser conformados a mitad del siglo pasado son ancianos en su mayoría y con dificultades de índole legal.

La localidad de Corralillos se encuentra asentada en tierras del ejido de Corralillos que es vecino al ejido donde se realizó la investigación, y la población suma un total de 443 personas, de las cuales 234 son mujeres y 209 son hombres y viven en 110 viviendas. De acuerdo a la información del INEGI (2010 y 2020) la población incrementó con 63 individuos y 26 viviendas, los datos pueden observarse en la (figura 9 y tabla 4).

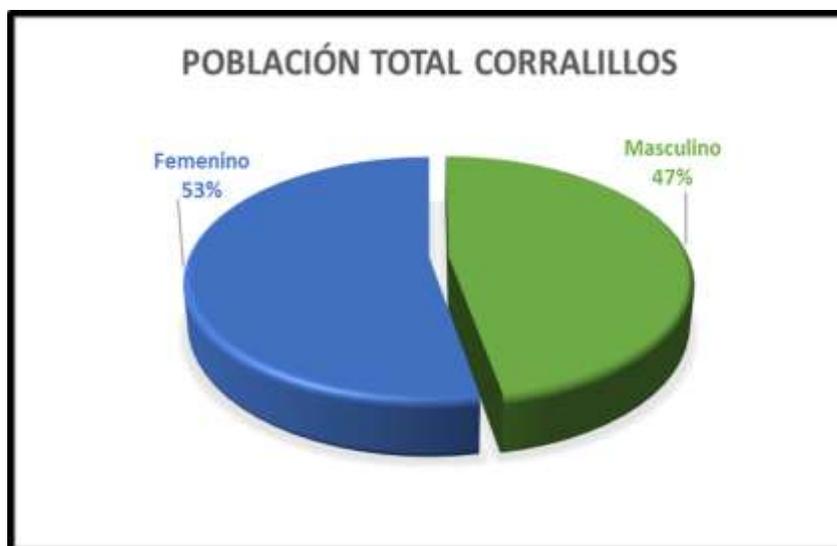


Figura 9. Gráfica población femenina y masculina **Fuente:** Elaborado con base en INEGI (2020)

Tabla 4. Población total Corralillos

	Población	Porcentaje
Población total	443	
Población femenina	234	53%
Población masculina	209	47%

Fuente: Elaborado con base en INEGI (2020).

La tabla 5 muestra que, se trata de una población joven, de 0 a 24 y de 25 a 59 años representan más del 60 % de la población total, otro rasgo es el hecho de que la población femenina supera numéricamente en los rangos que abarcan de los 15 a los 65 años también como un indicador del dinamismo femenino en las acciones que soportan las relaciones sociales y productivas de la comunidad.

Tabla 5. Estructura de la población

Rangos de edad	Hombres	Mujeres	Totales
0 a 2	17	15	32
3 a 5	14	11	25
8 a 14	32	27	59
15 a 17	7	11	18
18 a 24	24	34	58
25 a 59	87	100	187
60 y más	17	20	37

Fuente: Elaborado con base en INEGI (2020).

Con relación a la microcuenca la densidad de la población en 2010 era de 18.2 habitantes por Km² y para 2020 de 21.2 habitantes por Km² ante estos datos es importante tener en cuenta que en la localidad habitan las 80 familias que forman el Ejido San Isidro Corralillos y, las 30 restantes corresponden al ejido vecino de la zona de estudio (Ejido Corralillos) y a otros pobladores. Como se puede observar en los datos aún con el aumento poblacional la densidad sigue siendo clasificada como baja debido a que la extensión territorial es muy grande e incluso, comparativamente con el municipio la densidad de población es similar y se debe a que las localidades son pequeñas y grandes extensiones de tierra que no han sido habitadas.

De 2005 a 2020 la localidad de Corralillos según el Consejo Nacional de Población (CONAPO) paso de un grado de marginación alto a bajo y en este apartado se anotan algunos servicios que impactan en la marginación; actualmente, el INEGI reporta a una población de 46 personas dentro de la comunidad sin servicios de salud, 397 con servicio de salud, 57 inscritos al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) 17 inscritos al Instituto de seguridad social al servicio del estado (ISSSTE) y 323 personas pertenecen al Instituto de Salud para el Bienestar antes conocido como seguro popular (tabla 6).

Tabla 6. Población con servicio de salud

Servicio de salud	Corralillos
Población sin derechos a servicios de salud	46
Población con derechos a servicios de salud	397
Población derechohabiente del IMSS	57
Población derechohabiente del ISSSTE	17
Población derechohabiente del ISABI	323

Fuente: Elaborado con base en INEGI (2020)

La zona de estudio se encuentra comunicada a través de la carretera que va de la Cabecera municipal de Victoria Gto. a Tierra Blanca y ahí entronca con la carretera Santa Catarina San José Iturbide todas pavimentadas con dos carriles de tránsito; también existen dos brechas de terracería, una comunica a la carretera con el oeste, pasa por la presa y llega a los límites con la zona funcional alta; la segunda menos transitable comunica las parcelas de temporal y llega a la zona funcional alta al noreste de la microcuenca.

Las viviendas de la localidad están construidas de material, en su mayoría son viviendas tradicionales con un solo dormitorio y predominan aún los pisos de tierra y los drenajes son entre baños secos, escasas letrinas y al aire libre (tabla 7).

Tabla 7. Vivienda y servicios

Vivienda y servicios	Corralillos
Viviendas totales	126
Viviendas habitadas	110
Promedio ocupantes por vivienda	4.3
Viviendas con piso diferente de tierra	108
Viviendas con dos dormitorios	61
Viviendas sin electricidad	4
Viviendas con agua entubada pública	67
Viviendas sin agua entubada	8
Viviendas con drenaje	54
Viviendas con drenaje	56

Fuente: Elaborado con base en INEGI (2020).

Las expresiones culturales que prevalecen materialmente y sobresalen por su valor histórico son su patrimonio tangible en este aspecto el ejido San Isidro Corralillos cuenta con el casco de la hacienda y las trojes catalogadas ya por el INAH.

Dentro de su patrimonio intangible se encuentran sus costumbres y tradiciones religiosas, y su tradición comunitaria de ser danzantes concheros desde principios del siglo pasado con la primera y única palabra de General de la Danza de Concheros de la Mesa de Corralillos.

La población de Corralillos posee tradiciones y costumbres arraigadas al catolicismo, festejan como Santo Patrón a San Isidro Labrador en la capilla comunitaria entre las fechas del 15 al 30 mayo según acomode su organización (comité de las fiestas patronales), el festejo tiene que ser en fin de semana para que asista la mayor cantidad de gente posible.

A la localidad le corresponde un delegado que es la representación de la comunidad ante el municipio y es la personalidad que se encarga de gestionar los servicios y apoyos que provienen de las diferentes instancias de gobierno. Cuentan con comité de agua potable y esporádicamente asamblea comunitaria para toma de

decisiones en general

De acuerdo con los datos de INEGI (2020) la población que puede ser considerada activa o inactiva son 320 personas y corresponde a la población mayor a 12 años que representan el 72.2 % de la población total. La población económicamente activa son 177 personas (55.31 %) y la población económicamente inactiva es 143 (44.69 %).

Las ocupaciones principales de la población masculina es la de la ganadería extensiva, jornaleros, albañiles y ayudantes de albañil que se desplazan dentro de la región y hasta Querétaro en busca de empleo; otra ocupación para ambos géneros es la de obrero, que se emplean en los parques industriales de San José Iturbide y Querétaro; las actividades, la colecta de productos forestales no maderables como orégano chile, piquín y el fruto de biznagas y garambullos. Las mujeres también desarrollan actividades propias del hogar

De las 177 personas que representan la población económicamente activa 173 de ellas se encuentran ocupadas y sólo 4 están desocupadas. En estos datos es importante analizar por qué se encuentra tanta población ocupada, para ello es importante mencionar que esas fechas en que realizó el censo nos encontrábamos en cuarentena por el COVID-19, y niños y jóvenes no asistían de manera presencial a sus escuelas por lo que muchos se fueron a trabajar tanto en empleos locales como en los municipios y estados circunvecinos ya que estos resultados consultado en INEGI implican que todos los jóvenes tanto hombres como mujeres de 12 a 18 años estarían trabajando cuando en condiciones normales tendrían que estar asistiendo a sus respectivas escuelas.

Como ya mencionó anteriormente las actividades agropecuarias más destacadas son la colecta de orégano, guamisha (fruto de la biznaga) y chile piquín que se comercializan a nivel local; y en la producción pecuaria el ganado bovino se vende tanto a los compradores locales como al mercado ganadero que se encuentra en el municipio de Doctor Mora; y aunque no se planea como tal la comercialización de los equinos es completamente local.

4. Métodos y herramientas.

En este apartado se describen los métodos y herramientas que se utilizaron para el desarrollo de la investigación tanto cualitativos como cuantitativos, así como también las técnicas y variables en gabinete y en campo para consumir cada uno y cumplir con los objetivos específicos que conllevaron a la resolución del objetivo general (figura 10 y 11).

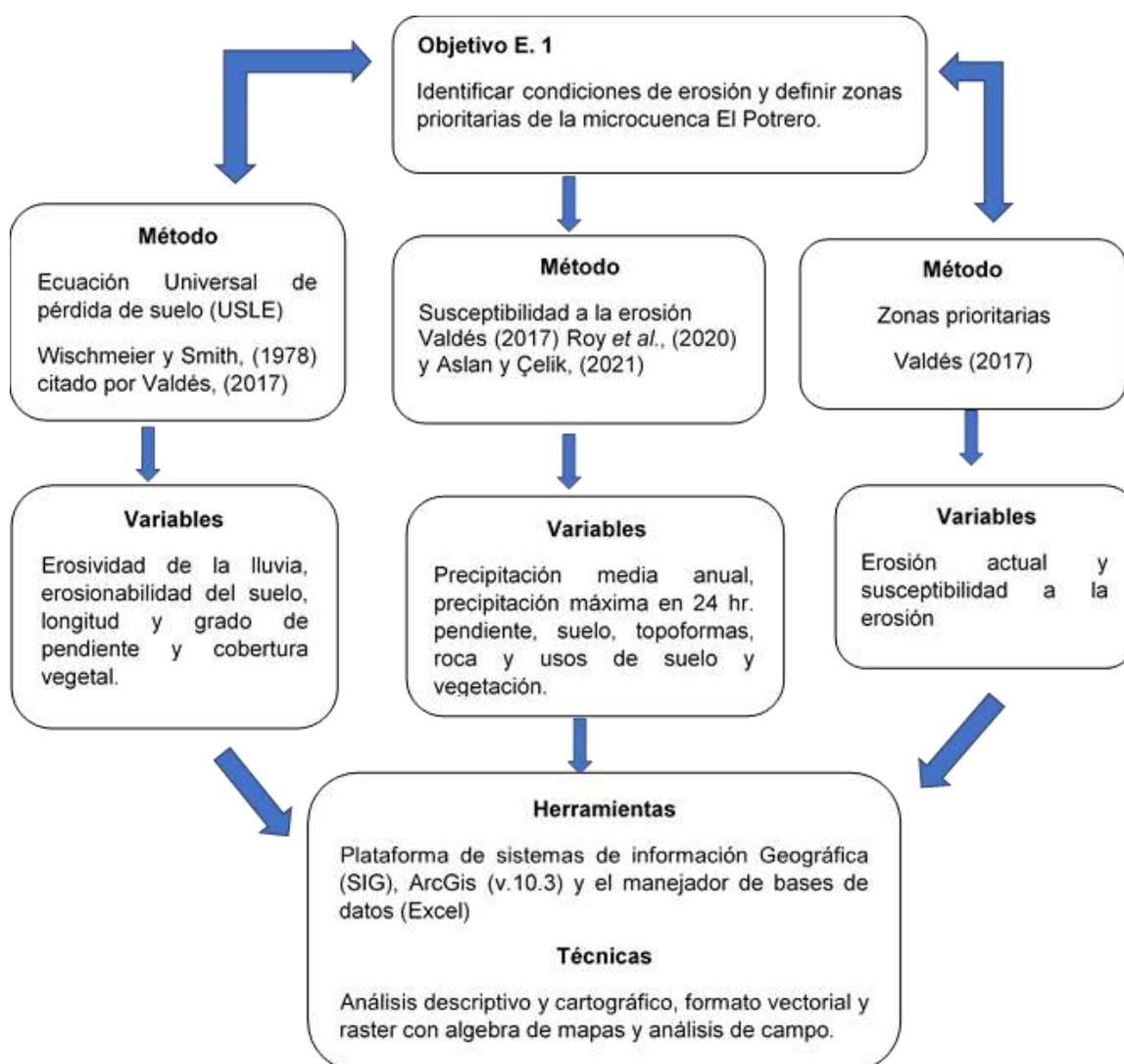


Figura 10. Esquema del proceso metodológico. **Objetivo 1.** Fuente: Elaboración propia.

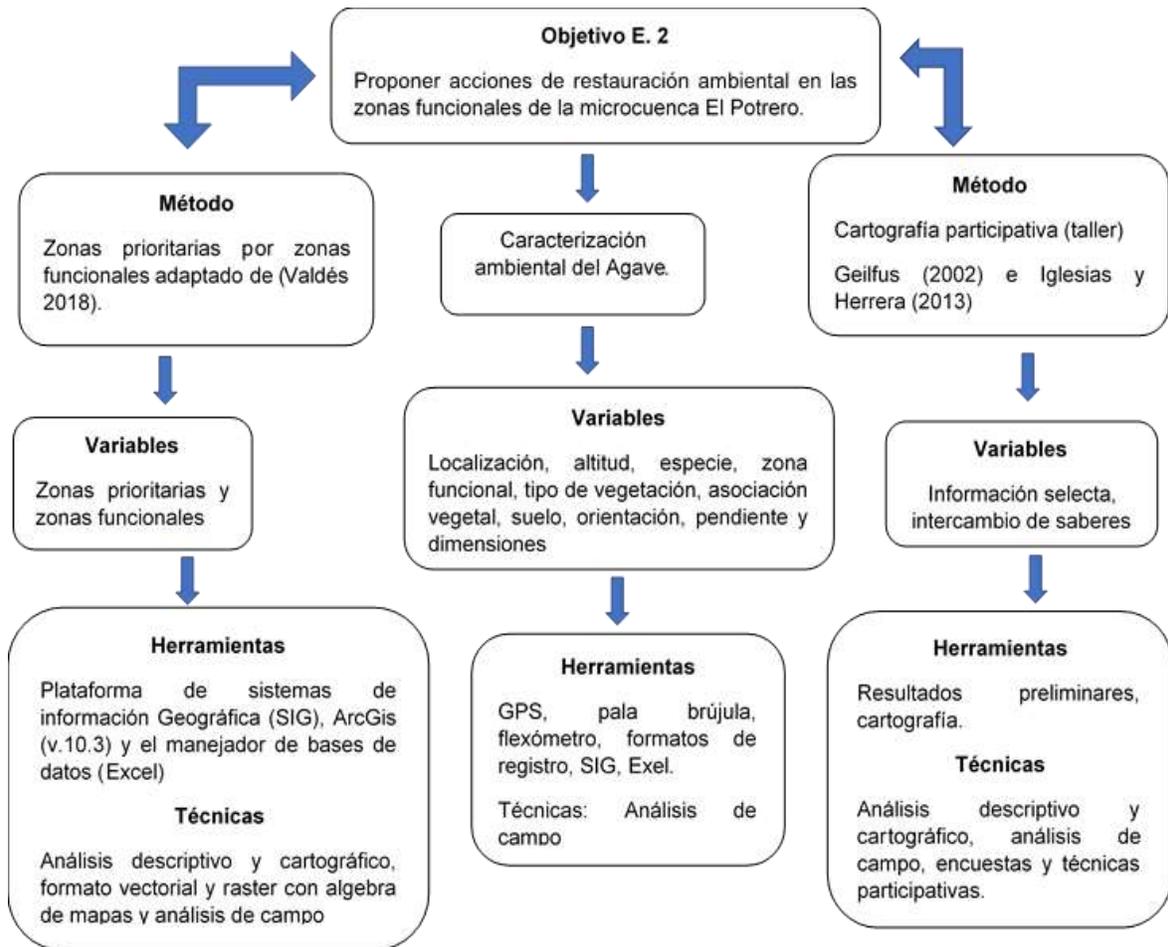


Figura 11. Continuación del proceso metodológico. Objetivo 2 **Fuente:** Elaboración propia.

4.1 Erosión y zonas prioritarias en la microcuenca

De acuerdo a las características de la microcuenca, la degradación física del suelo se evaluó mediante tres modelos: 1) Modelo de erosión laminar con base Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) de Wischmeier y Smith (1978) la cual permite estimar la erosión potencial y actual de los suelos en cuencas, expresado en tasas, toneladas por hectárea al año Ton/ha/año para la implementación de prácticas y obras de restauración y 2) Modelo de erosión vertical, susceptibilidad ante erosión y 3) delimitación de zonas prioritarias.

4.1.1 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE

Se calculó Erosión Potencial y Actual USLE aplicando la fórmula de Wischmeier y Smith (1978).

$$A=R*K*LS*C$$

Donde,

A= Pérdida del suelo

R = Erosividad de la lluvia

K = Erosionabilidad del suelo

LS = Longitud y Grado de pendiente

C = Cobertura vegetal

P = Prácticas de conservación

Este método inició por calcular el factor R erosividad de la lluvia, que estima los efectos del golpe de las gotas de lluvia sobre el suelo y para ello se consideró la fórmula descrita en la regionalización de la república mexicana de erosividad, se muestra en la (figura 12).

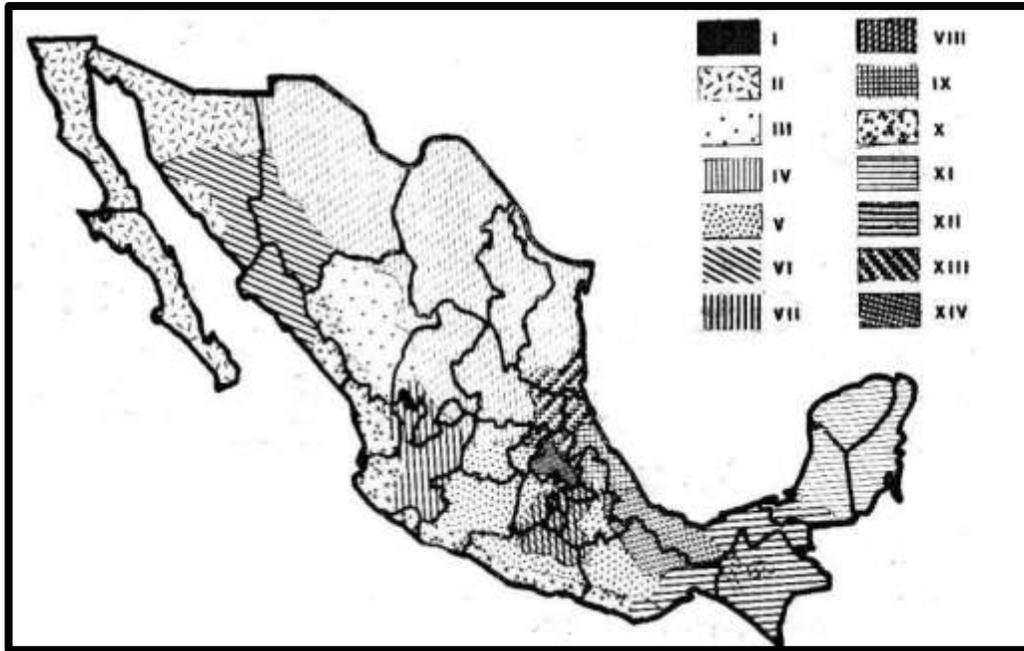


Figura 12. Regionalización nacional de erosividad de la lluvia. **Fuente:** Cortés *et al.*, (1980).

La microcuenca El Potrero con base a la regionalización nacional de erosividad corresponde a la zona IV con la siguiente ecuación $R = 2.8559 \cdot 0.002983 \cdot P^2$ donde, P= a precipitación media anual.

Los valores y datos de precipitación media anual se obtuvieron del registro del Servicio Meteorológico Nacional, (2016) de siete estaciones meteorológicas que presentaron influencia sobre la zona de estudio de las que se calculó el valor de R (tabla 8).

Tabla 8. Factor R

Clave	Nombre	PMA	Factor R
22045	V Doc. Mora	530.9	675.42
11122	Charcas	461	682.62
11148	Villa Victoria	511.3	680.38
11105	Villa Victoria DGE	478.1	683.55
22027	San José P de Arriba	436.9	678.34
20070	San José I SMN	525.8	676.94
22046	Xichú	575.5	655.60
22049	El Zamorano	616.5	626.91

Fuente: Elaborado con base en Servicio Meteorológico Nacional (2020).

Enseguida, se calcula el factor K que otorga el valor de la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados de acuerdo a sus características como su consistencia y estructura, tamaño de partículas, el contenido de materia orgánica, permeabilidad (Martínez, 2005), para su estimación se tomó como referencia la tabla donde se muestra el factor de erodabilidad (K) según la FAO ,1978 tomado de Martínez (2005) donde la referencia es el tipo y textura de los suelos presentes, obteniendo así para Leptosol textura media y 0.02 valor K y para Leptosol más Regosol, textura media y valor de 0.03.

Posteriormente el factor LS que dimensiona los efectos de la topografía sobre la erosión de los suelos se calcula con el factor de la longitud de la pendiente (L) y se define con la distancia desde el punto de origen de un escurrimiento hasta el punto en donde decrece la pendiente, o el punto donde el escurrimiento encuentra un definido canal de salida después de haber concentrado. Y (S) representa el grado de pendiente del terreno por lo que la inclinación será la influencia para que suceda la erosión en el terreno (McCool *et al.*, 1987).

Se continuó con el factor (C) que representa la protección por vegetación que valora el efecto de uso de suelo o la vegetación que lo cubre de manera que entre mayor sea la cobertura el valor se acerca a 0 disminuyendo porque disminuye las posibilidades de erosión, para su estimación se toma como referencia la tabla del factor vegetación según FAO, obtenido de Martínez (2005) siendo los siguientes valores para la Microcuenca el Potrero (tabla 9).

Tabla 9. Factor C

Tipo de Vegetación y/o usos de suelo	Factor C
Agricultura temporal	0.75
Bosque de encino	0.1
Bosque de encino perturbado	0.75
Cuerpo de agua	0.00
Matorral crasicaule	0.65
Matorral crasicaule perturbado	0.75
Pastizal inducido	0.25
Vegetación de galería	0.85

Fuente: Elaborado con base en Martínez (2005)

Una vez obtenida la cartografía de los diferentes factores se procede a multiplicar los archivos en formato *raster* de los factores R, K y LS para obtener la cartografía de erosión potencial, y posteriormente para obtener erosión actual se multiplica la erosión potencial por el factor C y arroja los resultados expresados en toneladas por hectárea al año y, finalmente, se clasifican en grados (tabla 10).

Tabla 10. Grado de erosión

Ton/ha/año	Grado
0-10	Nula o ligera
10-50	Moderada
50-200	Alta
>200	Muy alta

Fuente: Elaborado con base en Martínez (2005)

4.1.2 Modelo de susceptibilidad ante erosión hídrica

El Modelo de susceptibilidad ante la erosión hídrica permite identificar los espacios geográficos con menor y mayor riesgo de que ocurra la pérdida de suelo provocada por precipitaciones intensas sobre los componentes biofísicos de la cuenca ligados a la erosión como lo son los tipos de suelo, los usos de suelo y vegetación y la topografía.

Los componentes o factores ambientales considerados para evaluar la susceptibilidad ante erosión hídrica fueron la precipitación media anual, precipitación máxima en 24 horas, pendiente, geoformas, tipos de roca, tipos de suelo, uso de suelo y vegetación, los cuales fueron ponderados mediante conocimiento experto atendiendo los intereses y experiencias de los ejidatarios con relación a cómo influye cada factor y categoría en la erosión.

Se adaptaron los métodos de Valdés (2017), Roy *et al.*, (2020) y Aslan y Çelik, (2021), los cuales se basan en el análisis multicriterio que inicia por definir cuáles son los factores o componentes estructurales de la microcuenca que participan en la erosión hídrica. Estos factores se representaron a escala 1:50,000 (siete capas), y posteriormente, se establecieron sus pesos considerando el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés *analytic hierarchy process*) método cuantitativo desarrollado por Saaty, en 1980 para trabajar en la

toma de decisiones cuando existen múltiples criterios, se utilizó una escala de 1,3,5,7,9 (1 contribuyen igualmente, 3 moderadamente más importante, 5 es fuerte su importancia más significativo y probado y 9 la importancia mayor que tiene un factor frente a otro), así se conformó la matriz de comparaciones pareadas (tabla 11) y la matriz de criterios normalizada (tabla 12).

Tabla 11. Matriz de comparación pareada

Capas	Ppm	Ppmax	Pend	Suelo	Roca	Geof	Usyv
Ppm	1	1	1	3	3	1	3
Ppmax	1	1	3	7	7	3	3
Pend	1	1/3	1	3	5	1	1
Suelo	1/3	1/7	1/3	1	3	1/3	1/3
Roca	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1/3	1/3
Geof	1	1/3	1	3	3	1	3
Usyv	1/3	1/3	1	3	3	1/3	1

Fuente: Elaboración propia.

Ppm: precipitación media promedio anual, Ppmax: Precipitación máxima en 24 hrs, Pen: Pendiente, Suelo, Roca, Geof: Geoformas y UsyV: Usos de suelo y vegetación.

Tabla 12. Matriz de criterios normalizados.

Factores	Ppmax	Pend	Geof	Suelo	Roca	Usyv	Ppm	Suma	Peso	%
Ppmax	0.2000	0.3043	0.1327	0.1475	0.1200	0.1429	0.2571	1.3046	0.1864	18.64
Pend	0.2000	0.3043	0.3982	0.3443	0.2800	0.4286	0.2571	2.2126	0.3161	31.61
Geof	0.2000	0.1014	0.1327	0.1475	0.2000	0.1429	0.0857	1.0103	0.1443	14.43
Suelo	0.0667	0.0435	0.0442	0.0492	0.1200	0.0476	0.0286	0.3998	0.0571	5.71
Roca	0.0667	0.0435	0.0265	0.0164	0.0400	0.0476	0.0286	0.2693	0.0385	3.85
Usyv	0.2000	0.1014	0.1327	0.1475	0.1200	0.1429	0.2571	1.1017	0.1574	15.74
Ppm	0.0667	0.1014	0.1327	0.1475	0.1200	0.0476	0.0857	0.7017	0.1002	10.02

Fuente: Elaboración propia.

$\lambda_{max}=7.40$, $CI=0.07$, $RCI=1.35$, $CR= 0.05 < 0.1$: Aceptable.

Posteriormente se asignaron los valores a cada categoría adaptando el método de Roy *et al.*, (2020) se asignó un rango uniforme a cada clase donde 1

representa la nula susceptibilidad y el 5 la más alta susceptibilidad a la erosión, este proceso se realizó para cada factor contemplando la revisión bibliográfica, el conocimiento de expertos y la consulta a los ejidatarios (tabla 13), teniendo esto se generaron las capas raster, y se realizó la suma ponderada (utilizando la caja de herramientas de “spatial analysis” y la herramienta weighted overlay de ArcGis (v.10.3). A la cartografía resultante se le aplicó el principio área mínima cartografiable y, finalmente, se reclasificó en cuatro rangos de susceptibilidad, los cuales fueron alta, media, baja y nula (tabla 14).

Tabla 13. Ponderación de pesos y rangos

Componente	Justificación	Peso	%	Clase	Rango
Precipitación media anual	La precipitación indica las zonas donde la humedad que puede retenerse en el suelo es mayor o menor.	0.1002	24.96	526-520	4
				520-515	3
				515-510	2
				510-506	1
Precipitación máxima en 24 horas	El volumen de precipitación en un periodo corto de tiempo repercute en la intensidad del movimiento en masa de suelo.	0.1864	34.42	115-110	4
				110-105	3
				105-100	2
				100-98	1
Pendiente (°)	El grado de inclinación influye en la estabilidad del terreno y al aumentar también lo hace la fuerza de remoción y transporte de partículas de suelo.	0.3161	15.45	0-3	1
				3-8	2
				8-15	3
				15-30	5
				>30	5
Suelo	La textura, pedregosidad, porosidad, densidad y profundidad del suelo condicionan la capacidad erosiva del agua.	0.0571	6.92	Leptosol+Regosol	3
				Leptosol	2
Roca	El tipo de roca está relacionado con la resistencia a ser degradada y transportada por el agua.	0.0220	2.20	Basalto	1
				Caliza-Lutita	3
				Toba	5
				Ígnea extrusiva ácida	2
				Lutita arenisca	4
Geoforma	Los cambios topográficos y de relieve que generan ambientes donde el transporte de materiales puede desarrollarse con	0.1233	12.33	Domo	2
				Piedemonte	2
				Valle de piedemonte	2
				Valle escarpado	3
				Ladera escarpada	4
				Mesa	1

	mayor o menor fuerza están definidos por la topofomas.			Ladera muy escarpada	5
Uso de suelo y vegetación	La cobertura natural o artificial representa la protección directa frente a los efectos de la erosión hídrica	0.0373	3.73	Agricultura Temporal	5
				Bosque de encino	1
				Bosque de encino perturbado	3
				Cuerpos de agua	1
				Matorral crasicaule	2
				Matorral crasicaule perturbado	4
				Vegetación de galería	1
				Pastizal inducido	5
				Precipitación media anual	La precipitación indica las zonas donde la humedad que puede retenerse en el suelo es mayor o menor.
520-515	3				
515-510	2				
510-506	1				
		1	100 %		

Fuente: Elaborado, con base en Valdés (2017) y Roy *et al.*, (2020)

Tabla 14. Grado de susceptibilidad ante erosión

Rango	Grado
1.1 – 1.5	Nula
1.5 - 2.7	Baja
2.7 – 3.4	Media
3.4 – 4.0	Alta

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Modelo de Zonas Prioritarias para restauración

Los factores biofísicos y geomorfológicos que influyen en la erosión se perfilan cartográficamente para su análisis como erosión laminar y vertical que, al relacionarlos, la información que aportan identifica las áreas con sus diferentes grados de deterioro en los suelos y en los recursos.

Se adecuo el método de Cotler (2004) e inició una vez obtenida la cartografía de degradación física de la microcuenca, que son los mapas de erosión actual USLE y el mapa de susceptibilidad ante erosión hídrica, posteriormente se sobrepusieron ambos mapas, y las combinaciones resultantes se clasificaron siguiendo las reglas

de decisión con base en la tabla 15, obteniendo cuatro categorías de priorización (nula, baja, media y alta). En donde las prioridades, nula y baja representan los espacios territoriales con menores perturbaciones y no requieren restauración, mientras que las prioridades media y alta, coinciden, tanto en erosión laminar como en erosión vertical la perturbación alcanza los grados más altos por lo que son áreas a las cuales se les tendría que poner especial atención para la estrategia de restauración.

Tabla 15. Reglas de decisión para zonas prioritarias

U S L E	Muy alta	Media	Media	Media	Alta	Alta	Alta
	Alta	Media	Media	Media	Media	Alta	Alta
	Moderada	Baja	Baja	Baja	Media	Media	Alta
	Nula	Nula	Nula	Baja	Baja	Media	Media
		Nula	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Susceptibilidad ante erosión							

Fuente: Elaboración propia

4.2 Propuesta de restauración en las zonas funcionales de la microcuenca El Potrero

Este apartado consistió en tres procesos: 1) La elaboración de la cartografía final que es la de zonas funcionales y zonas prioritarias por zona funcional, son los mapas que determinan los espacios territoriales que por sus características y estado en el que se encuentran estructural y funcionalmente los recursos son zonas prioritarias a restauración 2) Caracterización ambiental de las especies de *Agave* presentes en la microcuenca para incluirlas en las propuestas de prácticas de acuerdo a las zonas prioritarias por zona funcional; y 3) El diagnóstico participativo que consistió en la implementación de reuniones, recorridos, encuesta y talleres a través de los cuales se canalizó la participación, información experta, conocimiento del territorio y de los usos tradicionales de las diferentes especies de *Agave* por parte de los ejidatarios como actores principales para la construcción de la propuesta de restauración.

4.2.1 Zonas funcionales

Para delimitar las zonas funcionales se retomó el método aplicado por Valdés y Hernández (2018) adaptado a la zona de estudio. Con base en las curvas de nivel de la carta topográfica F14C46, de INEGI, 1:50,000 (2014) se elaboró el Modelo Digital de Elevación (MDE) y se infiere la red hidrográfica, enseguida se recorta el MDE para la microcuenca y se realizó la curva hipsométrica para a partir de esta se obtengan los primero tres rangos altimétricos de aproximación a las zonas funcionales, posteriormente de manera digital se ajusta o corrige los límites de cada zona funcional contemplando los rangos altitudinales, las curvas de nivel, la red hidrográfica, los indicadores morfométricos y las geoformas de la cuenca, para así afinar los límites de cada zona en concordancia con los comportamientos de los diferentes componentes de la microcuenca.

4.2.2 Zonas prioritarias por zona funcional

Para este proceso se adaptó la propuesta de Valdés (2019) una vez obtenido el mapa de zonas funcionales y el de zonas prioritarias finalmente se sobrepusieron ambos y se recortaron para así identificar las zonas prioritarias para cada zona funcional con este se obtuvo la delimitación cartográfica de cada zona funcional alta, media y baja y cada una con sus respectivas zonas prioritarias para restauración con sus cuatro categorías alta, media, baja y nula.

Este producto cartográfico representa los factores que intervienen en los procesos erosivos erosión laminar y erosión vertical, pero ahora vinculados a composición funcional y estructural de la microcuenca y cada zona funcional muestra los espacios territoriales con los diferentes grados de perturbación física de los suelos. Este mapa es el insumo que contiene la información detallada para la construcción de la propuesta de restauración y por ende para la toma de decisiones para canalizar las intervenciones, las gestiones de recursos y prácticas de restauración.

Para los diferentes modelos cartográficos se utilizaron como herramientas la plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ArcGIS (v.10.3) y el manejador de bases de datos (Excel), las técnicas utilizadas fueron análisis

descriptivo y cartográfico multicriterio en gabinete, las variables fueron manejadas en formato *raster* y formato vectorial con álgebra de mapas mediante la suma ponderada de los criterios de cada variable, análisis de campo en recorridos de verificación y consulta de actores sociales.

4.2.3 Caracterización ambiental y selección de los *Agaves* nativos para la restauración en la microcuenca El Potrero.

Se trata de seleccionar de las diferentes especies de *Agave* nativas que existen en la microcuenca, aquellas que puedan adaptarse en mejores condiciones a las diferentes zonas funcionales y así puedan desempeñar sus funciones ecológicas en el proceso de restauración en donde sean introducidas.

La selección de especies de *Agave* para utilizar en la restauración de la microcuenca, se realizó siguiendo el método de tipos funcionales de plantas propuesto por Bermeo (2010), adaptado al ambiente biofísico del género *Agave* presente en la microcuenca El potrero. Los rasgos funcionales considerados para agrupar los tipos de *Agave* fueron: 1) El tamaño; 2) Grado de la pendiente en que se adaptan; y 3) Usos socioambientales (tradicionales).

El interés de los rasgos funcionales del *Agave* antes mencionados, es para que puedan contribuir a conformar una propuesta de restauración ecológica de la microcuenca considerando los modelos definidos de zonas prioritarias por zonas funcionales (alta, media y baja) y estos rasgos funcionales del *Agave* puedan expresar respuestas similares a las condiciones ambientales y efectos similares de restauración a la microcuenca y para ello se caracterizaron los *Agaves* presentes en la microcuenca.

A través de tres recorridos de campo y guiado por los ejidatarios, se recopilaron los datos de las especies de *Agave*, en los recorridos se abarcaron las tres zonas funcionales y los diferentes tipos de vegetación (matorral crasicaule, matorral crasicaule perturbado, bosque de encino, bosque de encino perturbado y pastizal inducido). Recorrido: 1) 5 km norte de la microcuenca; 2) 3 km centro sur y oeste; y 3) 4 km noreste-sureste y centro.

La información recabada en los recorridos permite caracterizar a las especies de *Agave*, clasificarlas y asignar los tipos funcionales como propone (Fonseca y Ganade, 2001) para esto se tomaron en cuenta los siguientes parámetros ambientales y morfológicos del *Agave*: 1) Localización (coordenadas); 2) Altitud (msnm); 3) Pendiente (grados); 4) Zona funcional (alta, media y baja); 5) Tipo de vegetación; 6) Asociación con otras especies vegetales (nombres científicos); 7) Profundidad de suelo (cm); 8) Orientación y 9) Tamaño (radio y altura de individuo).

Las herramientas utilizadas fueron GPS, flexómetro, pala, brújula, cámara fotográfica digital, tipo réflex, formatos de registro, Sistemas de Información Geográfica (SIG), ArcGIS (v.10.3) y el manejador de bases de datos (Excel), además se acompañó de análisis de campo y análisis descriptivo y cartográfico.

4.2.4 Diagnóstico participativo

Para esta fase de la participación social, en el proceso de investigación se persigue como objetivo la construcción de una propuesta de restauración de la microcuenca que pasa por identificar de manera conjunta las problemáticas, los beneficios ambientales del territorio en función de sus intereses socioeconómicos, recursos disponibles y la acciones o prácticas de restauración.

El método de diagnóstico participativo que orientó esta etapa se adaptó de Geilfus (2002) e Iglesias y Herrera (2013) para trabajar en recorridos de campo, entrevista semiestructurada (usos tradicionales del *Agave*), y un taller con la participación de actores clave o focales que son alrededor de 15 a 20 ejidatarios quienes han mostrado interés por la utilidad que puedan tener los resultados de la investigación y son quienes hoy conforman un grupo que impulsa ecoturismo en territorio ejidal.

Este proceso inició con la presentación a una asamblea ejidal para gestionar su aceptación y participación en el desarrollo de la investigación, posteriormente se realizan dos recorridos en campo para verificación cartográfica temática, verificación del modelo de degradación física y dos recorridos para levantar el inventario de especies alternativas de *Agave* para la restauración.

Una vez obtenidos los resultados de zonas prioritarias por zona funcional y

la caracterización ambiental de los *Agaves* presentes en la microcuenca, por medio de un recorrido domiciliario en la localidad se aplica la entrevista semiestructurada a actores clave (Geilfus, 2002) para identificar los usos tradicionales del *Agave* (*anexo 1*) como un insumo para la construcción de la estrategia de restauración de los ecosistemas productivos y naturales, permitirá identificar la apropiación social de las actividades ligadas al uso y aprovechamiento que tienen los ejidatarios de los *Agaves* ya sea para beneficio socioeconómico o ambiental aportó información que permitió conocer la ubicación de los parajes que poseen la mayor densidad de magueyes de diferentes especies la información fue aportada por ejidatarios que han mostrado interés por la investigación que se realiza en su territorio y algunos de ellos tienen cargos representativos en su organización. Los ejidatarios entrevistados fueron (consentimiento acordado): Leonel Orduña López, Carlos Alberto López Reséndiz, Jaime Estrada, Pedro López Reséndiz, José Martín Amador Orduña y J Gustavo López Estrada, las entrevistas se realizaron en la localidad con visitas domiciliarias, el contenido temático después de su identidad se centró en saber cómo reconocen a los diferentes tipos de *Agaves*, cuáles de estos se han utilizado más, que usos se les han dado, en qué lugares se concentran, si han realizado plantaciones y cuáles de los *Agaves* consideran son mejores para forraje y para conservación de suelo y agua y por último las técnicas en las que se han plantado sea para el traspatio o para las parcelas. La información recabada fue capturada y analizada.

Posteriormente se efectúa un taller participativo para dar a conocer los resultados obtenidos y poder concretar la construcción de la estrategia de restauración. tomando en cuenta los productos resultantes de la investigación que son insumos para el taller participativo a donde por instrucciones de la Asamblea Ejidal se convocó a través del grupo de ecoturismo (Turismo San Isidro) asistiendo a una jornada de trabajo y por medio del grupo de *WhatsApp* en donde participan 31 personas ejidatario y habitantes de la comunidad y dentro de este grupo se encuentran autoridades ejidales y comunitarias así como también ejidatarios interesados en el proyecto de investigación que incluso fueron entrevistados.

Los participantes del taller fueron: Leonel Orduña López, Carlos Alberto López Reséndiz, Jaime Estrada, Pedro López Reséndiz, José Martín Amador

Orduña y J Gustavo López Estrada, Petra Antonia Dorado Ramírez, Lourdes Alvarado Casas, Blanca López Reséndiz, Miguel Ángel Amador H., J Luciano Reyes López, Alicia Amador Orduña, y Eugenio Amador Orduña.

Con consentimiento informado el taller tuvo una duración total de cuatro horas, la primera fase consistió en el reconocimiento de las problemáticas de degradación física de la microcuenca (erosión potencial y actual USLE) y reconocer la oportunidad que representa la restauración ecológica, esto por medio de cartografía participativa utilizando mapas de su territorio, registrando participaciones y propuestas, en la segunda fase se presentan y explican los resultados obtenidos centrando la atención en áreas susceptibles a la erosión zonas prioritarias por zona funcional, en el uso y funciones de las especies de *Agave* caracterizadas y en las diversas opciones de prácticas para restauración de la microcuenca, y se procede a registrar las propuestas mediante formato que contempló prácticas de restauración, especies de *Agave* por zona funcional y zona prioritarias. Con los resultados producto del taller se integraron a la cartografía y a la redacción de los puntos correspondientes y con ello se elabora una tabla y un mapa donde muestra y enlisten las acciones a llevar a cabo en cada zona prioritaria por cada zona funcional con las correspondientes prácticas y especies de *Agave*.

Las herramientas utilizadas en los métodos participativos fueron, cartografía, encuestas, formatos de registro, lista de prácticas y especies para restauración impresas, proyector, laptop, lápices, marcadores y hojas bond.

Las variables manejadas residieron en las opiniones y propuestas de los ejidatarios participantes. Y el desarrollo fue por medio de técnicas participativas SIG participativo, encuestas, entrevistas informales y trabajo con actores clave o focales.

5. Resultados

5.1 Erosión hídrica laminar USLE

Factor R

El mapa de la (figura 13) muestra los valores del Factor R (Mj/ha mm/hr) para la microcuenca, donde los valores más altos que van de 678 a 679 Mj/ha mm/hr se concentran en la parte norte descendiendo hacia el oeste de la misma con valores

de 675.9 a 676.6 Mj/ha mm/hr siendo la zona donde se presenta con mayor fuerza la precipitación y es la de mayor altitud, en ese sentido los resultados que es la zona oeste de la microcuenca región más susceptible a erosión por los golpes de la lluvia y la estructura de los suelos.

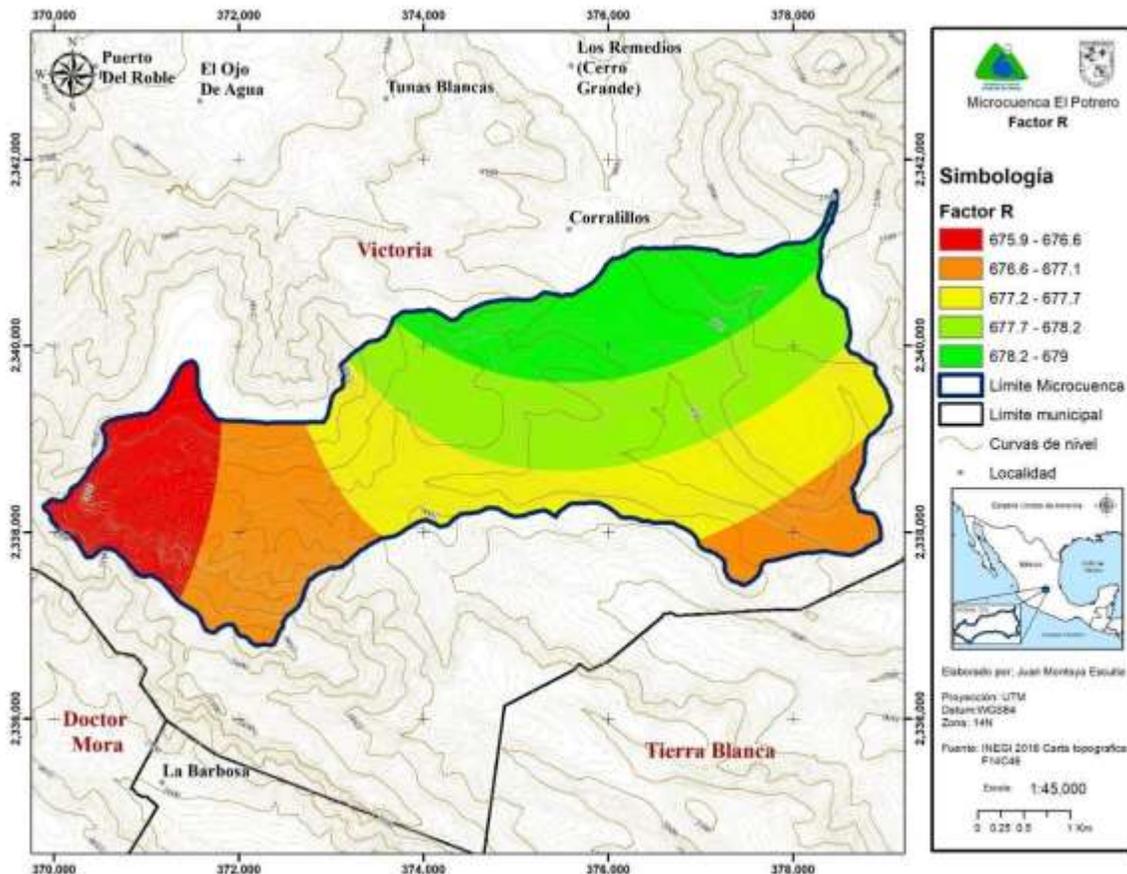


Figura 13. Mapa Factor R. **Fuente:** Elaborado con base en el SMN (2020)

Factor K

Como lo muestra la figura 14 y tabla 16, en la microcuenca el Leptosol se encuentra en tres parches ubicados al norte, uno al centro otro al este y el tercero al oeste mientras el Leptosol+Regosol se concentra al sur en toda la microcuenca. Y es el Leptosol el suelo más erodable por ser un suelo inmaduro y somero, poco profundo y no apto para agricultura y sobre la superficie que abarca se encuentra la mayor población de *Agaves* presentes en la microcuenca, y el Litosol+Regosol es solo un poco más grueso su perfil, con vocación forestal y donde se encuentra la vegetación en mejor estado de conservación bosque de encino y matorral crasicuale.

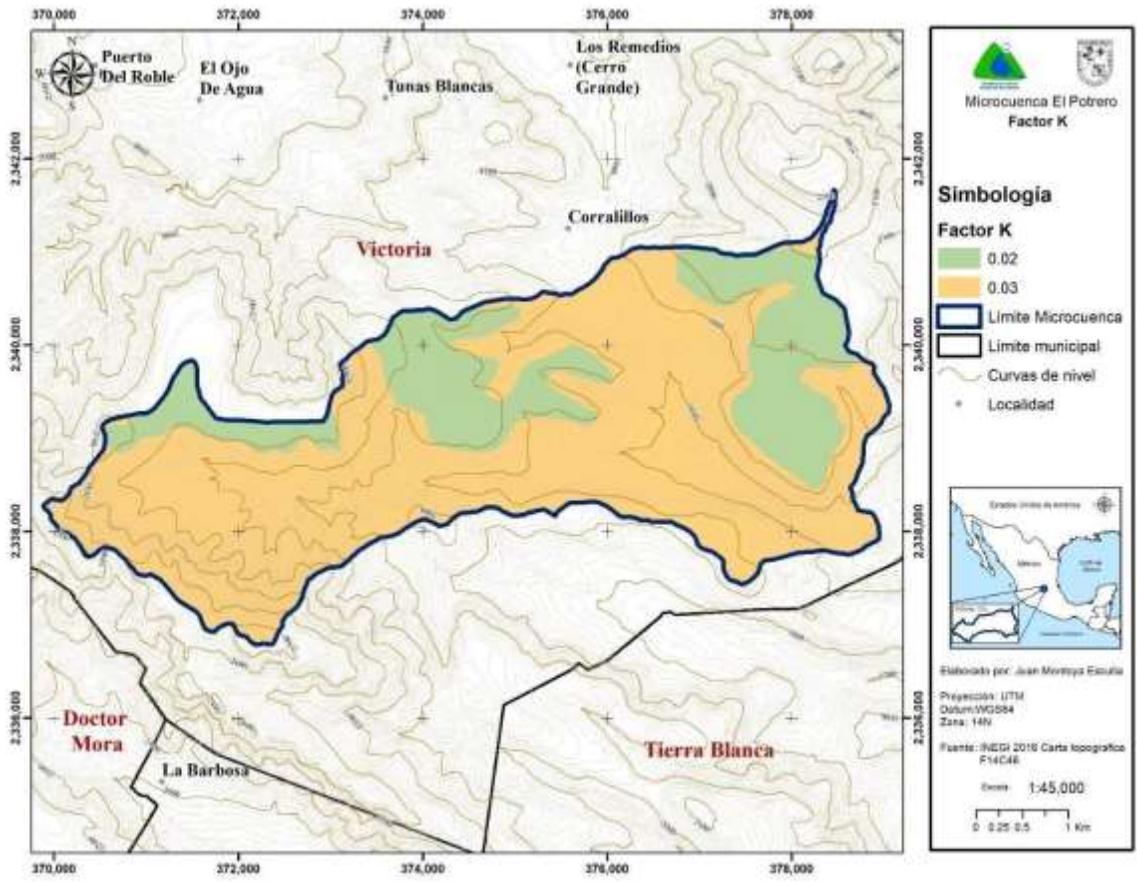


Figura 14. Mapa factor K. Fuente: Elaborado con base en factor K.

Tabla 16. Factor K

Tipo de suelo	% superficie	Superficie
Leptosol	26.22	547.09 ha
Leptosol + Regosol	73.78	1,539.32 ha

Fuente: Elaborado con base en el INEGI (2016).

Factor LS

Refleja la influencia de la pendiente en los procesos de erosión laminar donde (L) longitud de la pendiente representa la distancia desde el origen de un escurrimiento hasta el punto en donde decrece la pendiente y (S) el grado de pendiente del terreno de esta manera la inclinación contribuye para que suceda la erosión en el terreno y se presenta mayores pendientes en la zona oeste y en las topofomas como laderas escarpadas de la zona funcionales alta y media (figura 15).

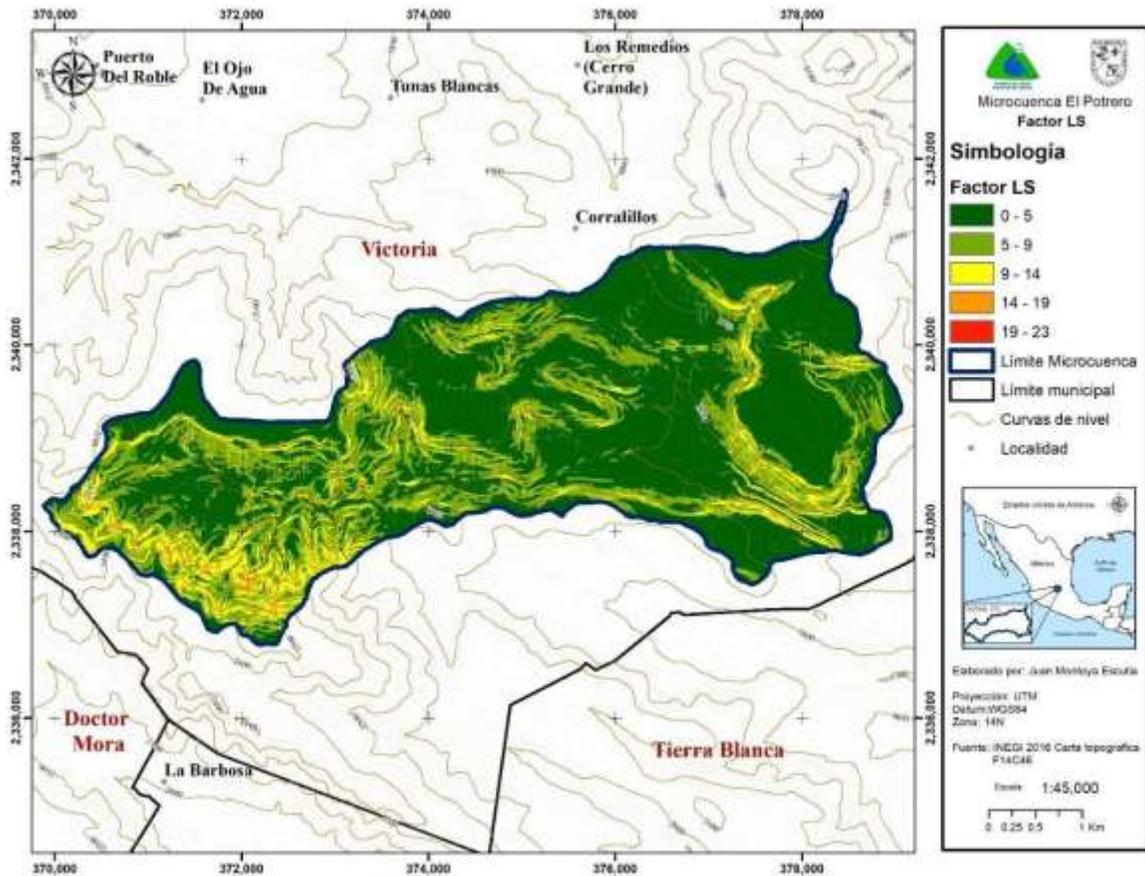


Figura 15. Mapa factor LS. **Fuente:** Elaborado con base en Factor LS.

5.1.1 Erosión potencial

La figura 16 muestra el escenario que resultaría de perderse por completo la vegetación; por otro lado, que entre la erosión alta y moderada (84.3 %) los suelos estarían sin capacidad productiva y el agua precipitada sería fugaz con alteraciones graves en los ecosistemas y ciclos biogeoquímicos.

Con base en la figura 16, se observa que la erosión potencial alta ocupa la mayor superficie 1169 has (56 %) con una tasa de pérdida de suelo entre 200 y 50 toneladas por hectárea al año y se encuentra distribuida en toda la microcuenca; aunque se concentra mayormente en la parte oeste de la misma, en segundo lugar de superficie se encuentra el grado de moderada con 589.6 ha (28.3 %) con un rango de entre 50 y 10 ton/ha/año y se distribuye por manchones uno de norte a sur al este del territorio, otro al noroeste y en el centro y norte y la erosión ligera solo ocupa 170.4 ha (8.2 %) con una tasa de 10 a 0 ton/ha/año y la menor concentración

de superficie le corresponde a erosión potencial muy alta con 157 ha (7.5 %) y más de 200 ton/ha/año y se concentra al oeste y sureste de la microcuenca (tabla 17).

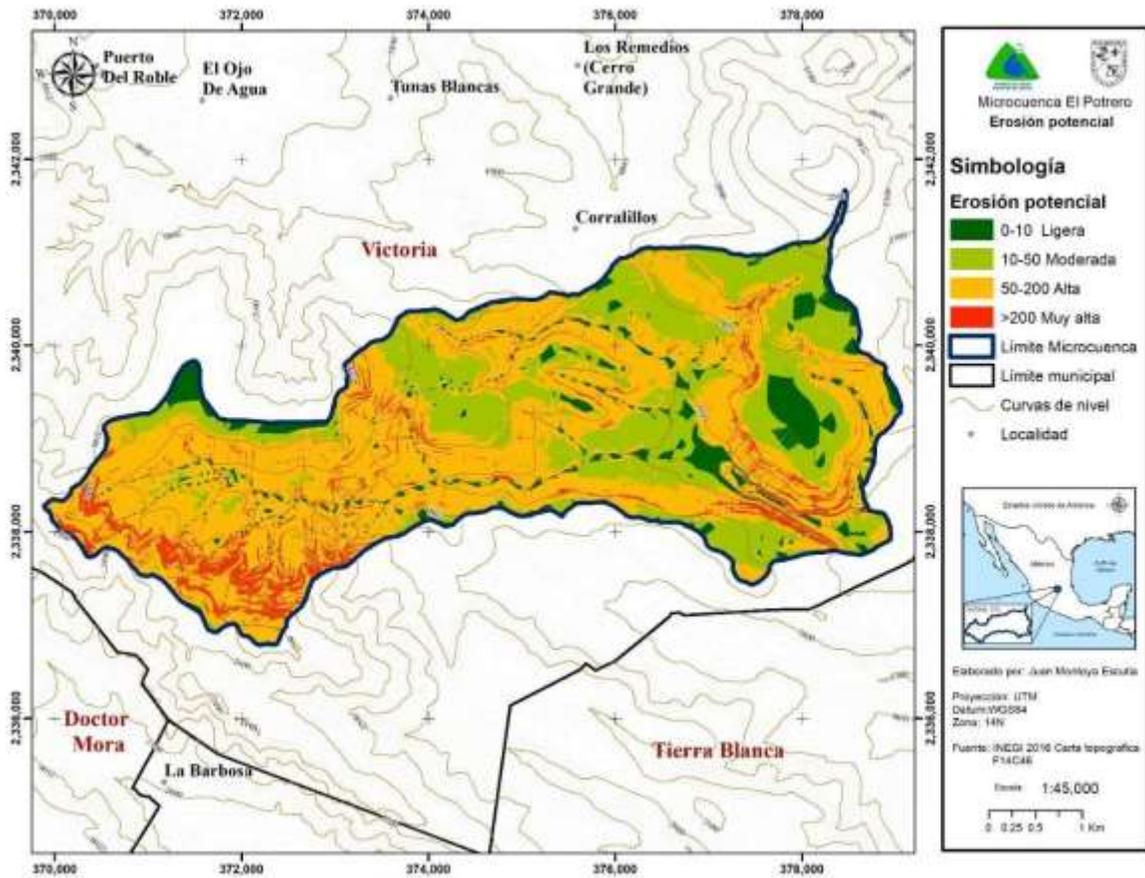


Figura 16. Mapa de erosión potencial microcuenca El Potrero **Fuente:** Elaborado con base en USLE.

Tabla 17. Erosión Potencial USLE

Rango Ton/ha/año	Grado	Superficie hectáreas	% de superficie
0 -10	Ligera	170.4	8.2 %
10 - 50	Moderada	589.6	28.3 %
50 - 200	Alta	1,169	56 %
>200	Muy alta	157.0	7.5 %

Fuente: Elaborado con base en mapa de erosión potencial

Factor C

El factor C de la USLE representa la efectividad de la vegetación como protectora del suelo frente al impacto de las gotas de lluvia y a la fuerza de las corrientes superficiales su valor está relacionado con las tasas de pérdida de suelo en

toneladas por hectárea al año en un territorio con determinado tipo de vegetación, tipos de parcela y laboreos ejercidos.

En la microcuenca los usos de suelo y vegetación que representan esta protección edáfica, son ocho; 1) Agricultura temporal; 2) Bosque de encino; 3) Bosque de encino perturbado; 4) Cuerpos de agua; 5) Matorral crasicaule; 6) Matorral crasicaule perturbado; 7) Vegetación de galería; y 8) Pastizal inducido.

La superficie de mayor amplitud es el matorral crasicaule perturbado, que abarca la zona centro y este de la microcuenca cubriendo casi la mitad de la superficie total, es también la zona en donde se encuentra la mayor concentración de ganado bovino y equino en libre pastoreo, aunque aquí también existe la mayor diversidad de especies de *Agave* nativas (figura 17 y tabla 18).

De los ocho tipos de vegetación y uso de suelo cuatro abarcan el 61.8 % de la superficie de la microcuenca y expresan valores elevados de factor C de la USLE, agricultura temporal, matorral crasicaule, matorral crasicaule perturbado y vegetación de galería, que por su densidad de población y especies presentes su capacidad de cobertura es limitado e indica que de continuar las actividades de aprovechamiento acostumbradas disminuirá la cobertura y aumentará la erosión.

Los tipos de vegetación en mejor estado de conservación son el bosque de encino y el matorral crasicaule que juntos suman el 16.6 % de la superficie y se localizan en la zona funcional alta al oeste y una porción de matorral crasicaule en la zona media, resulta estratégico preservar y restaurar esta área para mantener equilibrios ecosistémicos.

El pastizal inducido en el noroeste y sur con algunos parches distribuidos en el centro y norte, luego el bosque de encino aún con abundante densidad vegetal, se localiza en el suroeste, el matorral crasicaule ubicado al centro de la zona noroeste es también otra de las vegetaciones abundantes y densas que mantiene buen estado de conservación. Continúa la vegetación de galería con poca superficie 51.7 ha (2.5 %) bajando de noroeste sobre el cauce principal y atravesando la microcuenca hasta el sureste en la zona baja, y es un indicador de la presencia de humedad durante todo el año. Y la cobertura de la agricultura de temporal que abarca solo 41.6 ha, localizada la mayor porción al noreste en los límites de la zona funcional media, se encuentra justo en donde la red hidrológica inicia con las

corrientes de primer orden y no existe cuerpos de agua que puedan utilizarse para cubrir la demanda de producción agrícola mientras que los cinco pequeños polígonos al costado del cauce principal tienen al alcance agua abundante durante el temporal, ya por último, los cuerpos de agua que, aunque no generan erosión y su valor es 0, protegen cubriendo tres hectáreas repartidas en dos bordos de terraplén que se localizan cargados al sureste sobre el cauce del río principal, y la presa también sobre el cauce principal localizada al sur en la región central del territorio.

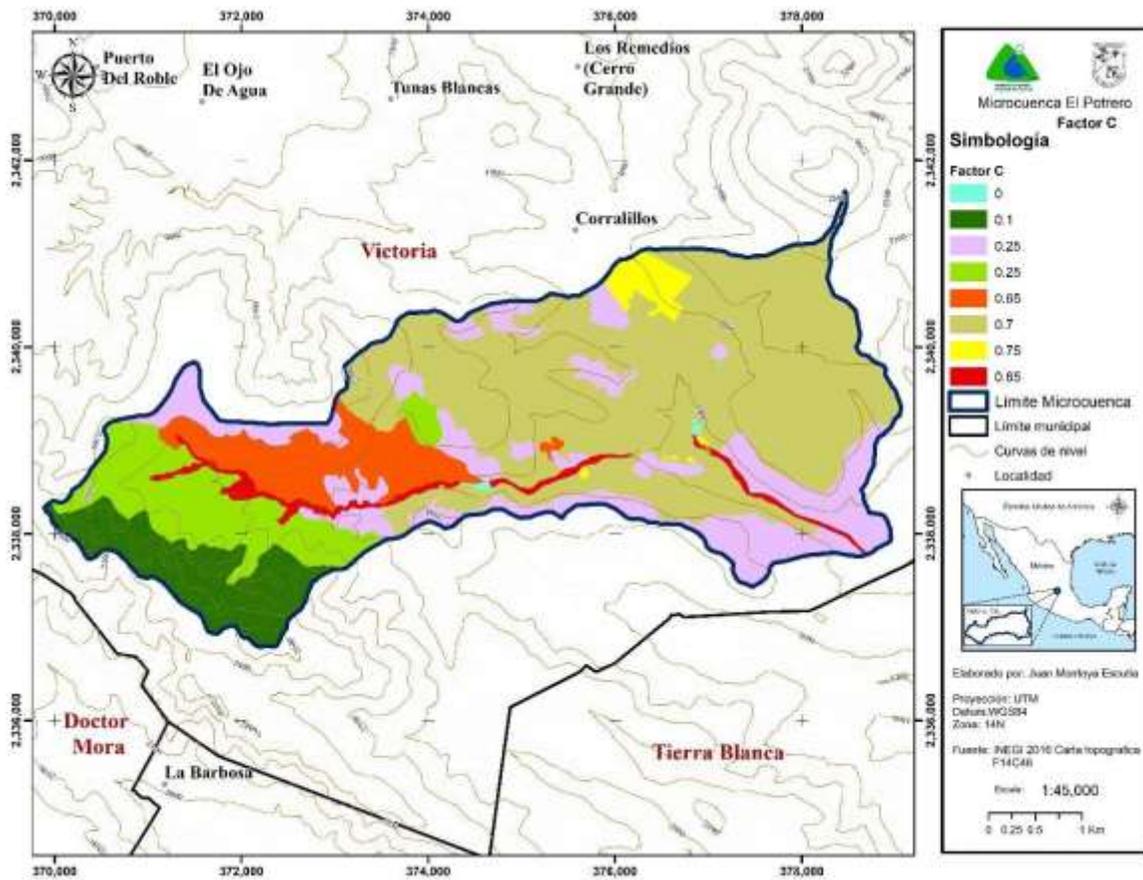


Figura 17. Mapa Factor C. **Fuente:** Elaborado con base en factor C

Tabla 18. Factor C

Tipo de Vegetación y/o usos de suelo	Factor C	Superficie ha	% superficie
Agricultura temporal	0.75	41.6	2.0
Bosque de encino	0.1	178.4	8.5
Bosque de encino perturbado	0.25	229.2	11.0
Cuerpo de agua	0.00	3.0	0.1
Matorral crasicaule	0.65	168.1	8.1
Matorral crasicaule perturbado	0.7	1,027.3	49.2
Pastizal inducido	0.25	387.1	18.6
Vegetación de galería	0.85	51.7	2.5

Fuente: Elaborado con base en mapa factor C.

5.1.2 Erosión Actual

Al incorporar el factor C (Cobertura) que representa la vegetación que protege al suelo disminuye la erosión, en comparación del mapa de erosión potencial USLE que es el escenario en donde el suelo no tendría ninguna protección o cobertura vegetal (tabla 18) en donde la mayor superficie con erosión actual es la moderada con 1,155.9 ha (55.4 %) rango de pérdida de suelo de 10 a 50 Ton/ha/año y se distribuye en todo el territorio de la microcuenca; en segundo se encuentra la categoría alta con 537.4 ha (25.5 %), erosión de 50 a 200 Ton/ha/año y se concentra en la zona alta al noroeste de la microcuenca y en la zona media de norte a sur desde el centro hasta el este y abarca las vegetaciones más conservadas que son el bosque de encino y el matorral crasicaule con erosión que puede aumentar y ser favorecida por las pronunciadas pendientes y el manejo (figura 17, tabla 19).

Otra característica que destaca es el hecho de que coincida la manifestación de la erosión actual con las geoformas de laderas muy escarpadas y escarpadas y la presencia de erosión moderada en los domos y en las mesas donde la pendiente no es tan pronunciada. De igual manera para la tercera categoría de erosión ligera que abarca 392.3 ha (18.8 %) erosión de 0 a 10 Ton/ha/año y se encuentra en las mesas y domos que presentan pendientes bajas o nulas y la categoría muy alta en cuarto lugar con 392.3 ha (0.3 %) erosión de más de 200 Ton/ha/año localizada al oeste y afectando la cobertura de encino y matorral crasicaule.

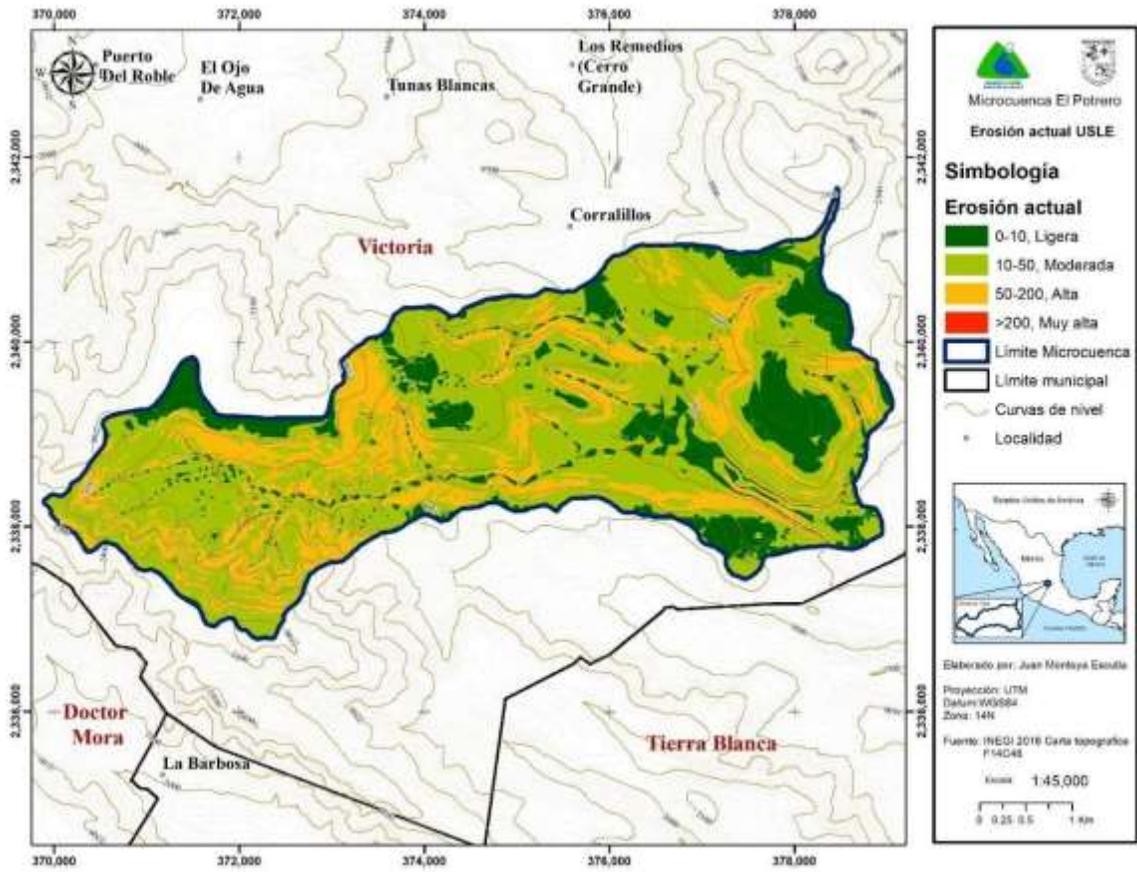


Figura 18. Mapa erosión actual. **Fuente:** Elaborado con base en USLE

En la microcuenca el 81.2 % de la superficie presenta algún tipo de degradación por erosión hídrica laminar y solo las zonas con menor grado de pendiente (mesetas y valles) se encuentran con erosión ligera o nula (tabla 17).

Tabla 19. Erosión actual USLE en la microcuenca.

Ton/ha/año	Rango	Superficie has	% superficie
0-10	Ligera	392.2	18.8
10-50	Moderada	1,155.64	55.4
50-200	Alta	531.93	25.5
>200	Muy alta	6.26	0.3

Fuente: Elaborado con base en mapa de erosión actual.

5.2 Erosión hídrica vertical

5.2.1 Susceptibilidad ante erosión

La categoría predominante en superficie fue baja susceptibilidad con 1,057.8 ha (50.7 %) y, aunque se distribuye en todo el territorio, existe mayor concentración en el centro y al este de norte a sur, la categoría media en segundo lugar con 665.6 ha (31.9 %) con mayor superficie en el oeste y algunos manchones al centro y este de la microcuenca, en tercer lugar la categoría de alta susceptibilidad cuenta con 325.2 ha (15.6 %) se concentra en la zona alta al suroeste y en el este por último la categoría de nula susceptibilidad con 37.9 ha (1.8 %) se localiza en pequeños y escasos manchones al este de la microcuenca y corresponden a las mesetas.

En el modelo de erosión vertical se proyecta el escenario en donde los componentes ecosistémicos y ambientales se interrelacionan para mostrar la superficie de la microcuenca más sensible a procesos erosivos verticales como la formación de cárcavas, surcos y roca desnuda y es justo lo que muestra la figura 19 en los grados baja media y alta y de nueva cuenta presenta coincidencias no solo con las geoformas sino también con la erosión laminar y los tipos de vegetación afectadas, muestra, de que, los puntos señalados son áreas que ya presentan algún tipo de perturbación o que, se presentará en estos espacios.

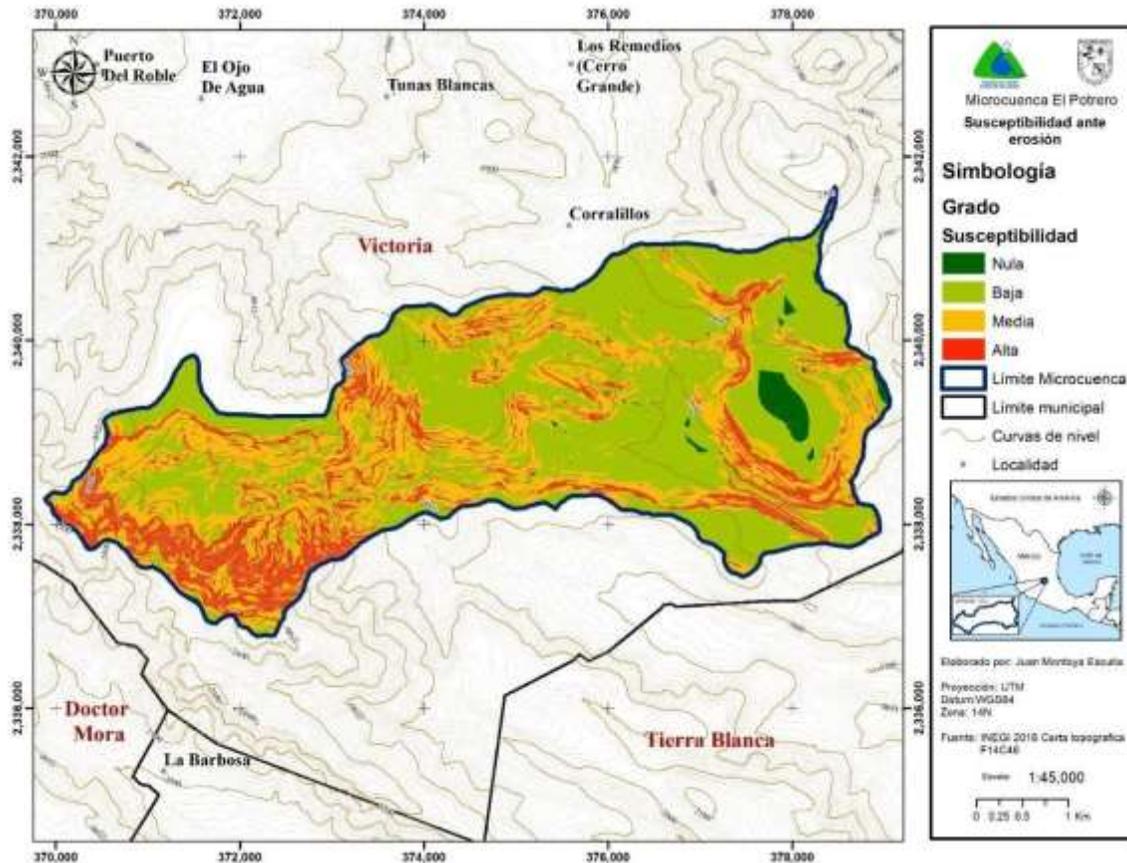


Figura 19. Mapa susceptibilidad ante erosión **Fuente:** Elaborado, con base en Valdés (2017).

5.2.2 Zonas prioritarias de la microcuenca

Las zonas prioritarias están definidas como los espacios territoriales que son susceptibles o que presentan las condiciones de deterioro y perturbación del suelo (erosión laminar y/o erosión vertical) influidos por la interacción de los factores precipitación, pendiente, tipo de suelo, tipo de roca y tipos de vegetación y uso de suelo en donde los grados de perturbación determinaron si son prioridad alta, media, baja o nula y estos se establecieron por la relación que tiene el territorio entre la erosión laminar y la erosión vertical, cartográficamente representados por los modelos de erosión actual USLE y susceptibilidad a la erosión. Así, la combinación cartográfica de erosión actual USLE y susceptibilidad ante erosión contienen los valores de los elementos de la microcuenca que participan de los procesos erosivos y en el mapa resultante marcan en la cartografía los espacios territoriales en donde coincidieron los más altos niveles de erosión y susceptibilidad de erosión y

representa la zona prioritaria alta que ocupa una superficie 252.52 ha (12.1 %) se concentra en la zona funcional alta en la parte oeste de la microcuenca en las laderas escarpadas y muy escarpadas y coincide con las orillas de los domos, con las mesas y en la zona funcional media la prioridad alta se manifiesta al sureste en la periferia de mesas y domos; mientras que en la zona funcional baja la alta prioridad apenas es perceptible.



Figura 20. Zona de alta prioridad **Fuente:** Trabajo de campo

Las naturalezas de los resultados indican que esta zona es la que ya presenta mayor erosión y riesgo de erosión tanto laminar como vertical (figura 20) siendo entonces las zonas más comprometidas por el deterioro que presentan los recursos es el territorio de mayor prioridad.

La prioridad media resulta de la combinación cartográfica de los rangos de erosión actual USLE Moderada, alta y muy alta con los rangos de susceptibilidad ante erosión baja media y alta (figura 19), representado en el mapa por el color amarillo que abarca la superficie de mayor porcentaje en la microcuenca con 755.13 ha (36.2 %) y se localiza distribuida en toda la microcuenca con mayor concentración en la zona oeste en la zona funcional alta en la periferia de la laderas escarpadas y muy escarpadas y al este de la microcuenca y al norte en la zona central sobre domos y mesas y en la ladera escarpada que se encuentra al sureste. Las presencias de los espacios con prioridad media están asociados a la alta prioridad como un estado transitorio de perturbación mostrando cómo tanto la erosión como el riesgo a la misma evoluciona en aumento y se pronuncia al oeste y en las superficies con mayores pendientes y sin cobertura vegetal (figura 21).



Figura 21. Área de alta, media, baja y nula prioridad **Fuente:** Trabajo de campo

Nula prioridad  Baja prioridad  Media prioridad  Alta prioridad 

La prioridad baja es producto de la combinación de los rangos bajos del mapa de erosión actual USLE con los rangos medios y bajos del mapa de susceptibilidad a la erosión abarca 690.39 ha (33.1 %) se distribuye por toda la microcuenca con mayor expresión en la zona funcional media en la parte central de norte a sur y en el noreste, se manifiesta en las geoformas de menor pendiente como domos, mesas, piedemonte, en la zona funcional baja piedemonte y valle de piedemonte; si bien esta prioridad indica que su estado de conservación no es grave se encuentra en las zonas de menor pendiente pero con espacios de transición con las prioridades alta y media y en donde la cobertura vegetal está disminuida situación que implicaría realizar algunas acciones de protección (tabla 20).

La prioridad nula resultado de los rangos más bajos de los modelos de erosión vertical (USLE) y horizontal (susceptibilidad a la erosión) con una extensión de 388.44 ha (18.6 %) se distribuye en parches en toda la microcuenca y los más grandes se localizan en la parte este y noroeste, sobre la parte alta de las mesas y en piedemonte, es pequeña esta área y representa el menor deterioro de suelos influyendo de manera importante las bajas o nulas pendientes, son espacios que por su estado de conservación el reto es la conservación,

Las prioridades alta y media juntas suman un total de 1,007.68 ha (48.3 %) en esta superficie los suelos perturbados han sido afectados por el impacto de los fenómenos naturales y el manejo histórico de los recursos que repercute en la disminución de las funciones y servicios ecosistémicos por lo que es necesario

trabajar en su restauración y corresponde a los ejidatarios decidir cuáles serán los espacios territoriales en los que canalizarán la acciones y las gestiones de recursos.

Los tipos de vegetación más impactados en donde se expresan las zonas de mayor prioridad (figura 22 y tabla 20) son el bosque de encino, el bosque de encino perturbado el matorral crasicaule y el matorral crasicaule perturbado.

En el espacio de la zona funcional alta al oeste de la microcuenca se encuentra el bosque de encino y encino perturbado donde es notoria el área en la que se presenta mayor superficie con prioridad alta y media para restauración al igual que el matorral crasicaule y crasicaule perturbado que se encuentra al norte de la zona funcional alta y el matorral crasicaule perturbado al norte de la zona central en la zona funcional media; y aunque el bosque de encino y matorral crasicaule son tipos de vegetación diezmados por el manejo y los fenómenos naturales históricos son también las vegetaciones con mayor densidad y en mejor estado de conservación.

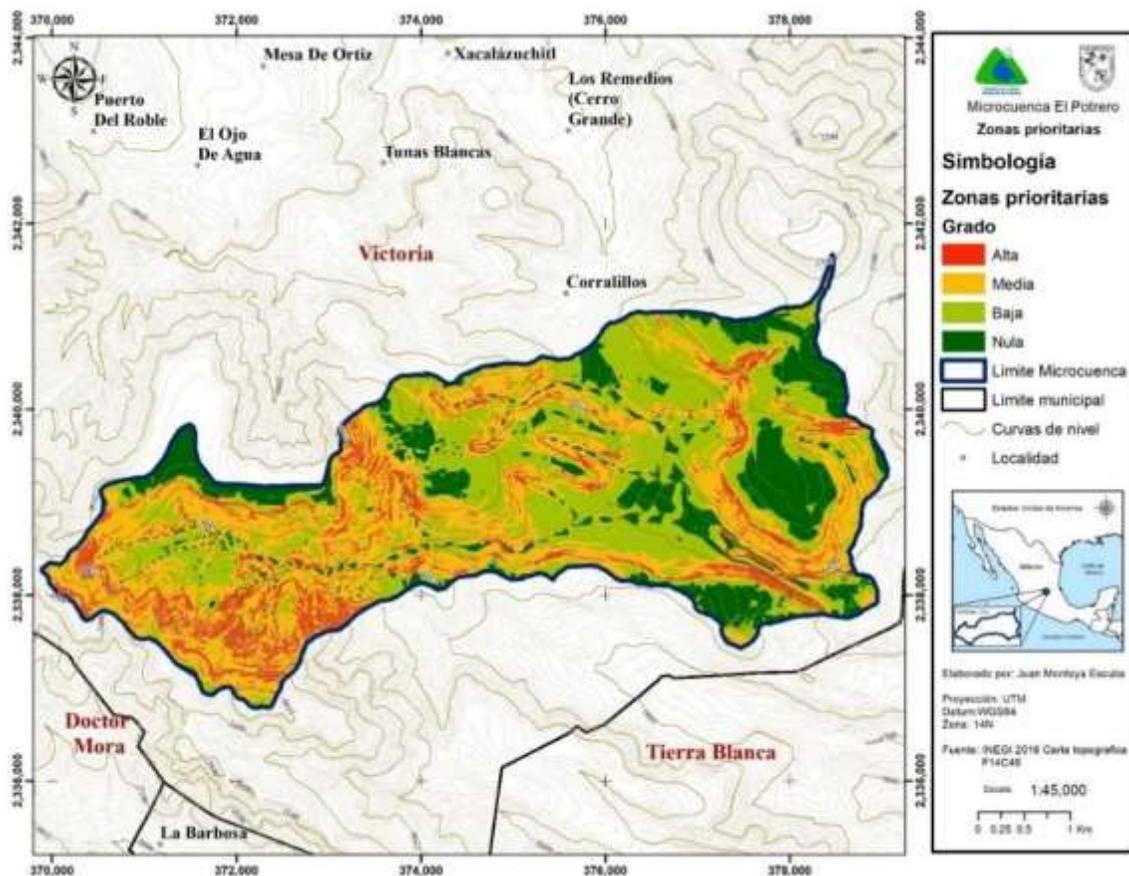


Figura 22. Mapa zonas prioritarias Fuente: Elaborado con base en INEGI (2016).

Tabla 20. Zonas prioritarias

Prioridad	Superficie ha	% superficie
Alta	252.52	12.1
Media	755.13	36.2
Baja	690.39	33.1
Nula	388.44	18.6

Fuente: Elaborado con base en mapa zonas prioritarias.

6. Propuesta de restauración para zonas funcionales de la microcuenca

En este apartado se integran los resultados y análisis de las zonas funcionales y zonas prioritarias por zona funcional, la caracterización ambiental de los *Agaves* nativos para la restauración. El diagnóstico participativo que integra los usos tradicionales de los *Agaves* nativos y el taller participativo en este último se integran todos los insumos y las opiniones e intereses de los actores sociales y se perfila la propuesta de restauración.

6.1 Zonas funcionales de la microcuenca

Las zonas funcionales de la microcuenca se distinguen por sus rangos altitudinales y morfométricos. Zona alta o zona de captación hídrica (figura 23), aquí inician las corrientes de 1° 2° y 3° orden y también el arrastre erosivo, esta zona se encuentra conformada en dos parches el mayor se localiza al oeste y el menor en el noreste con una superficie total de 994.3 ha (47 %), abarca toda la superficie de bosque de encino y encino perturbado, así como fragmentos de matorral crasicaule y pastizal inducido.



Figura 23. Zona funcional alta **Fuente:** Trabajo de campo

La zona media o de transporte hídrico y sedimentario, abarca 765.16 ha (36.7) y se localiza en la parte central y al este de la microcuenca (tabla 21 y figura 24), dentro de ésta zona se encuentran los cuerpos de agua, las parcelas de agricultura temporal y gran porción de matorral crasicale, en cuanto a geformas está conformada por los domos y mesa del sureste y el piedemonte.



Figura 24. Zona funcional media **Fuente:** Trabajo de campo

La zona baja o de emisión hídrica y deposición de sedimentos es pequeña, cuenta con solo 326 ha (15.7 %) se encuentra envuelta por la zona media y se

localiza en la parte central y hacia el sureste del territorio. El tipo de vegetación, que la cubre es matorral crasicaule y crasicaule perturbado, con segmentos de vegetación de galería el fragmento de mayor dimensión de pastizal inducido y matorral crasicaule una pequeña franja de vegetación de galería y parches de pastizal inducido.

Tabla 21. Zonas funcionales

Altitud (msnm)	Grado	Área ha	% Área
1980-2550	Alta	994.31	47.7
1850-1980	Media	765.16	36.7
1720-1850	Baja	326.93	15.6

Fuente: Elaborado con base en mapa zonas funcionales

La delimitación de las zonas funcionales define como madura a la microcuenca “El Potrero” y por su pendiente accidentada arrastra considerablemente sedimentos hacia las zonas media y baja (figura 26). El orden de los cauces coincide particularmente con la delimitación de las zonas funcionales, las corrientes de primer, segundo y algunos de tercer orden coinciden con la zona alta, mientras en la zona media se presentan las corrientes de tercer y cuarto orden, para que en la zona baja o de acumulación, se encuentren los cauces de 4° y 5° orden.



Figura 25. Zona funcional baja **Fuente:** Trabajo de campo

La zona alta y media son considerablemente mayores a la zona baja en superficie, de modo que las actividades y usos estarán condicionados a las pronunciadas pendientes y las acciones que se realicen para contener los procesos erosivos.

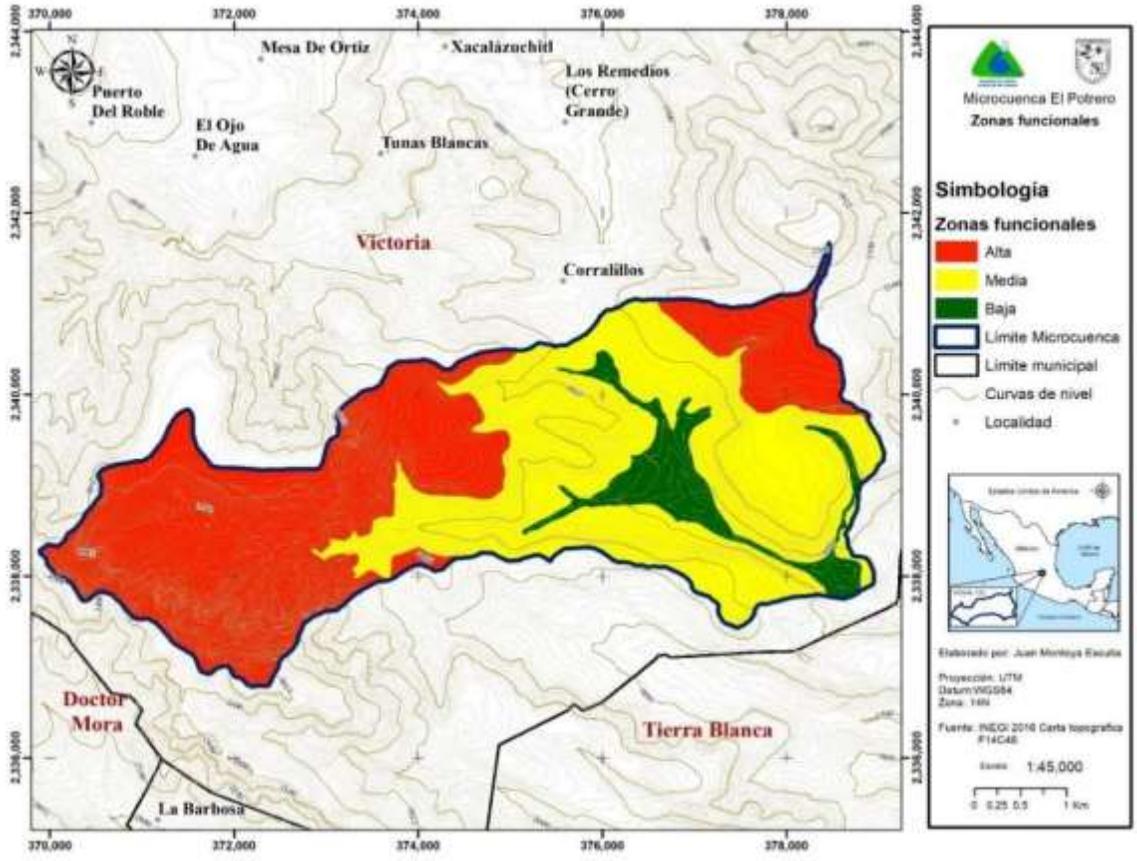


Figura 26. Zonas funcionales de la microcuenca El Potrero **Fuente:** Elaborado con base en INEGI (2016).

6.2 Zonas prioritarias por zona funcional

La combinación, tanto de información como de mapas entre zonas prioritarias y zonas funcionales, detalla la localización de comportamiento de los factores que afectan para que se evidencie la erosión en el territorio y permiten pormenorizar la ubicación de las zonas más afectadas y más susceptibles de daño por erosión, tanto laminar como vertical, por cada zona funcional (alta, media y baja).

En la zona funcional alta que prevalecen las laderas escarpadas y muy escarpadas, una mesa y espacios amplios con las pendientes elevadas, la prioridad alta y media ocupan más del 50 % (tabla 20) de la superficie ubicadas en la zona oeste y suroeste (figura 28) con manchones visibles sin cobertura vegetal en el bosque de encino. Aquí las prioridades baja y nula se presentan en la mesa, que es una superficie con escasa pendiente y cobertura vegetal diezmada.

En la zona funcional media las prioridades alta y media para restauración son el 46 %, se localizan en la zona central en el domo cubierto por matorral crasicaule perturbado, al norte se encuentran las parcelas de agricultura de temporal y en la zona sureste sobre los cortes de la mesa y el piedemonte con el mismo tipo de vegetación esta es la zona donde incrementa la velocidad del proceso erosivo

En la zona funcional baja la prioridad es de baja a nula (figura 27 y 28), y solo con una muy pequeña superficie de prioridad alta 2.26 ha (0.1 %) ubicada en el centro de la zona este, esta zona funcional es muy pequeña solo abarca el 15.6 % de la microcuenca cubierta por matorral crasicaule y pastizal inducido, bajas pendientes (tabla 22).



Figura 27. Zonas funcionales Baja y media (prioridades media y baja). **Fuente:** Trabajo de campo

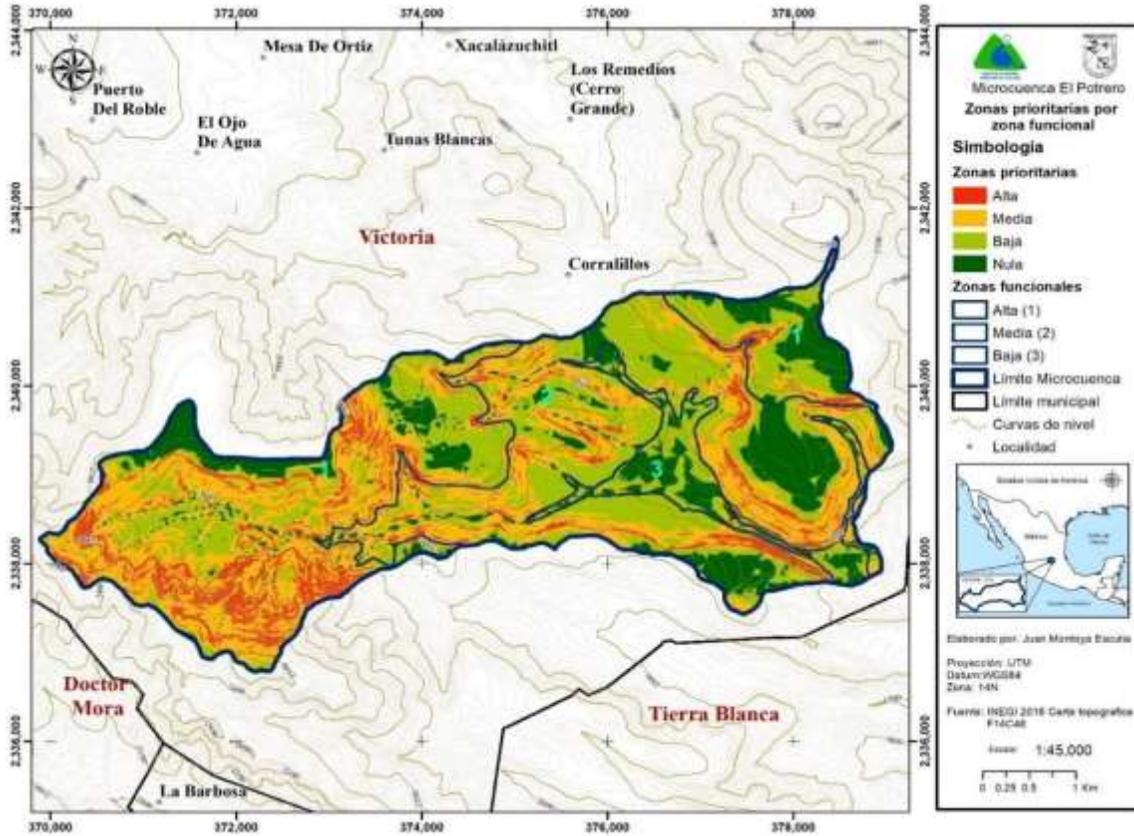


Figura 28. Mapa zonas prioritarias por zona funcional microcuenca El Potrero. **Fuente:** Elaborado con base en el (INEGI, 2016).

Tabla 22. Zonas prioritarias por zona funcional

P	Zona funcional alta			P	Zona funcional media			P	Zona funcional baja		
	Grado	Área ha	%		Grado	Área ha	%		Grado	Área ha	%
r	Alta	163.8	7.9	r	Alta	86.43	4.1	r	Alta	2.26	0.1
i	Media	389.78	18.7	i	Media	346.94	16.6	i	Media	18.25	0.9
o	Baja	277.2	13.3	o	Baja	347.68	16.7	o	Baja	65.34	3.1
r	Nula	163.09	7.8	r	Nula	157.03	7.5	r	Nula	67.88	3.3

Fuente: Elaboración propia.

Como lo muestran los resultados las zonas prioritarias alta y media para restauración abarcan la mayor parte del territorio por lo que el comportamiento hidrológico fluye con facilidad influidos por la pendiente y es la zona en la cual se presentan mayores precipitaciones de modo que en la medida que incrementa la

erosión la velocidad de flujo lo hará agravando e incrementando las zonas prioritarias en las superficies más sensibles que se concentran al oeste de la microcuenca donde los rangos de pendiente son los más altos ahí se observan daños en las coberturas vegetales con mayor densidad y conservación en la microcuenca que son el bosque de encino y el matorral crasicaule que contribuyen a mantener importantes equilibrios ecológicos como los manantiales que aún prevalecen todo el año en la zona funcional alta y media. En la zona funcional media se encuentran las parcelas de agricultura de temporal que en su mayoría están abandonadas y gran parte de matorral crasicaule perturbado, y es importante señalar que en ambas zonas funcionales el pastoreo de ganado bovino es libre y su manejo consiste en una distribución de los grupos de ejidatarios quienes a la vez reparten el ganado en cuatro grandes zonas de pastoreo.

Las prioridades alta y media en las diferentes zonas funcionales serán contempladas en la propuesta de restauración porque presentan mayor erosión laminar, vertical y riesgo de erosión al igual que aquellos espacios que puedan influir en la restauración aun cuando sean de nula o baja prioridad.

6.3 Caracterización ambiental y uso de *Agaves* nativos para restauración.

Como parte del diagnóstico participativo y guiado por ejidatarios que conocen los espacios en donde abundan las especies de magueyes, se caracterizaron y agruparon los *Agaves* existentes en la microcuenca de estudio para su uso en la propuesta de restauración (figura 29), y se hizo estableciendo dos criterios socioambientales para Los *Agaves* nativos: 1) contribuir a la restauración ecológica formando parte de las prácticas de conservación de suelo, agua y biodiversidad; y 2) contribuir a incrementar la productividad agropecuaria de manera sustentable.

Las especies posibles encontradas en la microcuenca son: *A. Salmiana*, con tres diferentes variedades *A. salmiana* variedad *salmiana*, *A. salmiana* var. *angustifolia*, *A. salmiana* var. *ferox* y *A. salmiana* ssp. *crassispina*, *A americana*, *A. applanata*, *A. asperrima*, *A. lechuguilla* y se muestran algunas de sus características en la tabla 23.



Figura 29. *Agaves* nativos en la Microcuenca **Fuente:** Elaborado con base en trabajo de campo

Tabla 23. Especies de *Agave* presentes en la microcuenca

Nombre científico	Nombre común	Características
<i>A. applanata</i>	Maguey	Verde claro a gris y 0.40 m de altura
<i>A. salmiana var. ferox</i>	Maguey Manso	Verde claro
<i>A. salmiana ssp. crassispina</i>	Maguey Verde	Verde olivo, verde amarillo
<i>A. americana</i>	Maguey Blanco	Verde claro y de 1.8 a 2.2 m de altura
<i>A. lechuguilla</i>	Lechuguilla	Hoja delgada y alargada
<i>A. asperima</i>	Cenizo	Verde claro de hoja áspera

Fuente: Elaborado con base en Mata (2016).

Para realizar la caracterización y agrupar a los *Agaves* nativos para su uso en la restauración, se tomó en cuenta: 1) posible especie, 2) altura de los individuos; 3) zona funcional 4) localización (altitud), 5) grado de la pendiente, 6) profundidad del suelo y 7) asociación vegetal (anexo 2).

Con estos criterios se decidió la conformación de los tres grupos de *Agaves* (tabla 23) pretendiendo favorecer su capacidad para establecerse en los hábitats de las diferentes zonas funcionales para restauración.

Se encontró que los *Agaves* de menor altura crecen en espacios con pendientes pronunciadas 32 a 38 grados (tabla Anexo 2) *A. lechuguilla* mientras los *Agaves* de mayor altura lo hacen zonas con escasas pendientes (0 a 8 grados) *A. salmiana* y *A. americana* (escasa abundancia) y los de talla mediana lo hacen en pendientes entre los 8 y 17 grados *A. asperima* y *A. applanata* (escasa abundancia), de esa manera se conformaron tres grupos, para los cuales se consideraron los criterios antes mencionados; pero, el criterio de mayor peso, fue la altura debido a que esta

se encuentra vinculada a su peso y volumen mayor razón por la cual su establecimiento quedaría influenciado por las pendientes presentes en las zonas funcionales.

El grupo uno lo conforman los *Agaves* más robustos y de mayor tamaño, con alturas entre 1.8-2.2 m, mayor volumen, sus raíces abarcan suelos más profundos y estos *Agaves* pueden incluir las especies de: *A. salmiana*, *A. salmiana var. angustifolia*, *A. salmiana var. ferox* y *A. salmiana ssp. crassispina* y *A. americana* que se desarrollan en áreas con poca pendiente (tabla 24). Por sus características se recomienda que pueda ser utilizado en la restauración de valles de piedemonte, mesas y en las parcelas productivas en áreas con escasas pendientes.

Tabla 24. Grupos de *Agave* para la restauración

G	Especies	Altura	Usos	Profundidad	Pendiente	Parajes	Zona
r	posibles	m		del suelo	%		funcional
u	<i>A. salmiana</i> <i>A. americana</i>	1.8 -2.2	Pulque	0.39 m	0 a 8	Las Lomas	Media y alta
			Forraje			Palos Blancos	
			Quiote	0.4 m		El Tepozán	
			Restauración			Mesa Segura	
p	<i>A. asperrima</i> , <i>A. applanata</i>	1.2 -1.75	Mezcal		8 a 30	Las Lomas	Media y alta
			Quiote	0.34 m		Palos Blancos	
			Forraje	0.37 m		El Tepozán	
						El Durazno	
						Mesa Segura	
o	<i>A. lechuguilla</i>	0.4 -0.7	Ixtle	0.25 m	> 30	Las Lomas	Media y alta
			Artesanías			Palos Blancos	
			Leña			El Tepozán	
						El Durazno	
						Mesa Segura	
3							

Fuente: Elaborado con base en trabajo de campo

El grupo dos, con volumen y altura media entre 1.2-1.75 m, su demanda de suelo es de menor profundidad y crecen en zonas con mayor pendiente, las posibles especies son: *A. asperrima* y *A. applanata* y pueden establecerse con facilidad en

laderas y parte media de las lomas.

El grupo 3, con altura de entre 0.4 a 0.7 m, son los más pequeños y poco robustos, su demanda de suelo es de baja profundidad y aunque crecen en todo tipo de pendiente, abundan en pendientes pronunciadas las posibles especies pertenecen a las *A. lechuguillas* (tabla 24). Estos *Agaves* pueden favorecer la restauración de laderas escarpadas y muy escarpadas.

Los magueyes *A. salmiana* y *A. asperrima* son los más abundantes y son los que actualmente tienen mayor uso y aprovechamiento y los diferentes parajes donde se localizaron las especies nativas de *Agave* fueron (figura 30): La mesa Segura, Las Lomas, Palos Blancos, El Durazno y el Tepozán.

La asociación vegetal del *Agave* con otras especies está ligada a la composición estructural y funcional de los ecosistemas en la microcuenca, por ello su convivencia o relaciones interespecíficas facilita sus procesos adaptativos que bien pueden contribuir a los procesos de restauración.

En la zona funcional alta y media las especies asociadas a los diferentes magueyes (tabla 25) son comunes, cambiando la densidad de acuerdo a factores climáticos. Algunas de las especies asociadas presentes que destacan son: pastos, mezquite, huizache, diversos nopales, garabatillo y rama santa, ocotillo, flor de san pedro y sangre de grado, entre otras; estas crecen alrededor o bajo el follaje de los magueyes. En la zona funcional baja los magueyes son escasos y las especies asociadas más abundantes son los pastos y los nopales

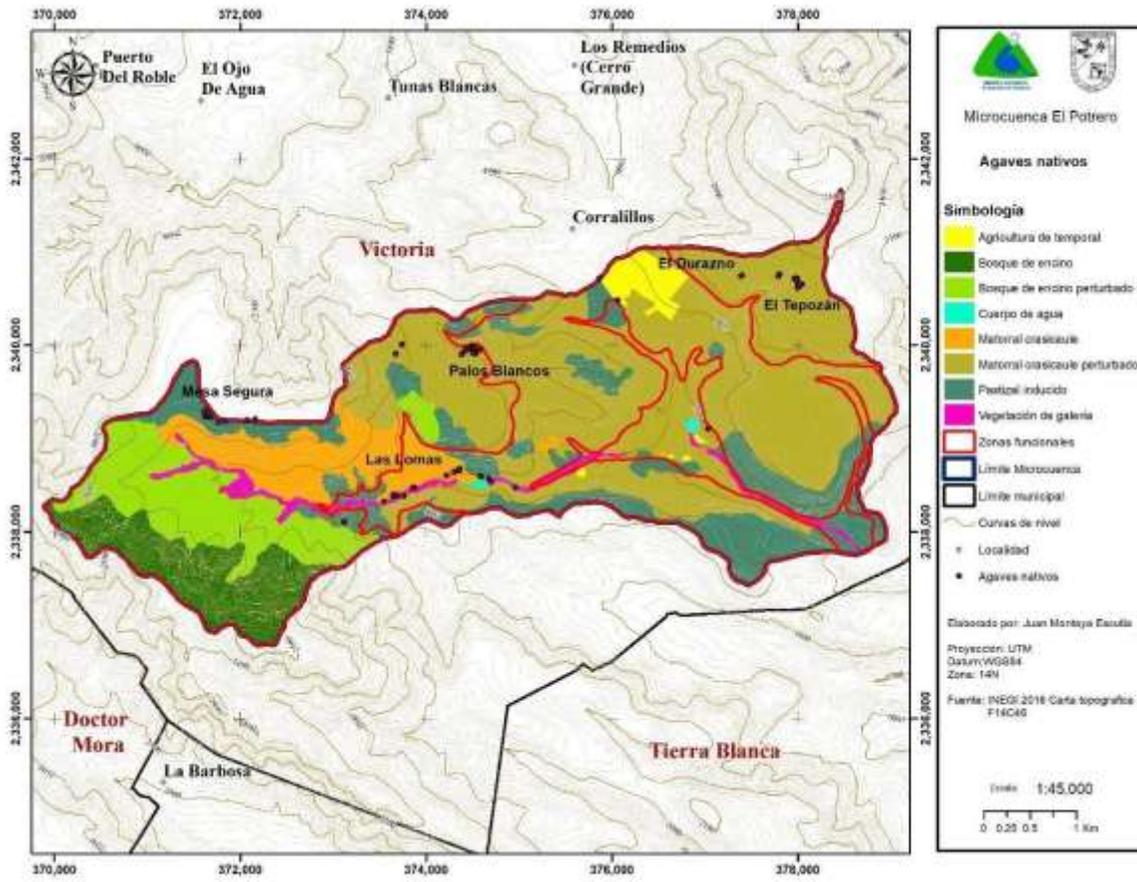


Figura 30. Mapa de identificación de Agaves nativos **Fuente:** Elaborado con base en INEGI 2016

Tabla 25. Asociación vegetal con *Agaves* nativos.

Especies de <i>Agaves</i>	Zona Funcional	Paraje	Tipo de Vegetación	Especies asociadas	
				Nombre científico	Nombre Común
<i>A. salmiana</i> ssp. <i>crassispina</i>, <i>A. asperrima</i>, <i>A. americana</i>, <i>A. lechuguilla</i>	Media	Las Lomas	Matorral Crasicaule Galería	<i>Prosopis laevigata</i> <i>Acacia farnesiana</i> <i>Mimosa aculeaticarpa</i> <i>Jatropha neopauciflora</i> <i>Dodonaea viscosa</i> <i>Bursera fagaroides</i> <i>Opuntia leucotricha</i> <i>Melinis repens</i>	Mezquite Huizache Garabatillo Sangre de grado Rama santa Palo shishote Nopal duraznillo Cola de zorra
<i>A. salmiana</i> ssp. <i>crassispina</i>, <i>A. asperrima</i>, <i>A. americana</i>, <i>A. lechuguilla</i>	Alta y Media	Palos Blancos	Matorral crasicaule perturbado	<i>Prosopis laevigata</i> <i>Acacia farnesiana</i> <i>Mimosa aculeaticarpa</i> <i>Myrtillocactus geometrizans</i> <i>Tecoma stans</i> <i>Bursera fagaroides</i> <i>Opuntia leucotricha</i> <i>Melinis repens.</i>	Mezquite Huizache Garabatillo Garambullo <i>Flor de San Pedro</i> Palo shishote Nopal duraznillo Cola de zorra
<i>A. asperrima</i>, <i>A. salmiana</i> ssp. <i>crassispina</i>	Alta	El Tepozán	Matorral crasicaule perturbado	<i>Yucca filifera</i> <i>Mimosa aculeaticarpa</i> <i>Bursera fagaroides</i> <i>Prosopis laevigata</i> <i>Acacia farnesiana</i> <i>Opuntia imbricata</i> <i>Melinis repens</i> <i>Bouteloua gracilis, scorpioides y curtipendula</i>	Palma yuca Garabatillo Palo shishote Mezquite Huizache Cardón Cola de zorra Pastos
<i>A. asperrima</i>, <i>A. salmiana</i> ssp. <i>crassispina</i>	Alta	El Durazno	Matorral crasicaule perturbado	<i>Yucca filifera</i> <i>Mimosa aculeaticarpa</i> <i>Bursera fagaroides</i> <i>Prosopis laevigata</i> <i>Acacia farnesiana</i> <i>Opuntia imbricata</i> <i>Melinis repens</i> <i>Bouteolua gracilis, scorpioides y curtipendula.</i>	Palma yuca Garabatillo Palo shishote Mezquite Huizache Cardón Cola de zorra Pastos

<i>A. salmiana</i> ssp. <i>crassispina</i>, <i>A. applanata</i>, <i>A. americana</i>	Alta	Mesa Segura	Pastizal inducido	<i>Bouteloua gracilis</i> , <i>scorpioides</i> , <i>curtipendula</i> <i>Acacia farnesiana</i> <i>Mimosa aculeaticarpa</i> <i>Jatropha neopauciflora</i> <i>Dodonaea viscosa</i> <i>Bursera fagaroides</i> <i>Opuntia leucotricha</i> <i>Melinis repens</i> <i>Prosopis laevigata</i>	Pastos Huizache Garabatillo Sangre de grado Rama santa Palo shishote Nopal duraznillo Cola de zorra Mezquite
<i>A. salmiana</i> var. <i>ferox</i>, <i>A. salmiana</i> ssp. <i>crassispina</i> y <i>A. asperrima</i>	Media y alta	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal	<i>Prosopis laevigata</i> <i>Acacia farnesiana</i> <i>Myrtillocactus geometrizans</i> <i>Mimosa aculeaticarpa</i> ,	Mezquite Huizache Garambullo Garabatillo.

Fuente: Elaborado con base en Trabajo de campo

6.4 Usos tradicionales del *Agave* nativo en la microcuenca

Como parte del diagnóstico participativo los resultados de la entrevista fueron reveladores con relación al aprovechamiento y los usos que se han mantenido, con las diferentes especies de *Agave* en la microcuenca. Los entrevistados identifican cuatro especies de maguey por su nombre común: el verde como una sola especie, el cenizo con dos especies ambas de tamaño mediano y una especie pequeña que le llaman puerco y dentro de los no nativos el maguey manso (lo llaman Blanco) y solo una persona identifica la lechuguilla como maguey de uso histórico para hacer ixtle.

Mencionaron que el maguey verde tiene más uso para forraje y para el quiote, mientras el maguey manso se utiliza para pulque, aunque esta especie no es nativa, ya tiene tiempo de estar presente en los traspatios y en parcelas, y para el caso del maguey cenizo criollo, es de tamaño medio, se utilizó para producir mezcal y también mencionaron que antes se utilizó mucho la lechuguilla para extraer ixtle y se elaboraban diversos utensilios con los que comerciaban.

Pedro López Reséndiz reconoce usos (figura 31) como bebidas y alimentos: *quiote, barbacoa, pulque, mezcal, agua miel, forraje para ganado, utensilios de ixtle como ayates, costales, mecates, hondas, catres y artesanías, actualmente se continúa utilizando como leña y se usó también para los techos de casas.*



Figura 31. Hilando ixtle **Fuente:** Elaborado con base en Trabajo de campo

Los sitios donde se concentra mayor cantidad y variedad de magueyes coincidieron en que: *es más abundante en, en la Mesa segura, el Durazno, y en el Tepozán; en las lomas por arriba de la presa hay del cenizo, en los palos blancos y en La Tapona hay de los dos, verde y cenizo, en el Cerro Prieto poco solo en las laderas y poco en las parcelas, pero es cultivado y menos abundante en el Monte de Corralillos.*

Comentan que recientemente se plantó maguey alrededor de donde se construirá una presa en el paraje El Durazno y también se hicieron terrazas de entre 0.3 y 0.4 m de alto a curva de nivel, se desahijaron los magueyes verdes y todo el maguey que se plantó se perdió porque las vacas lo sacaron y se lo tragaron. Algunos han plantado en las parcelas y en los traspatios de la comunidad tanto del maguey manso como del verde.

En cuanto al mejor maguey para forraje, se usa más el maguey verde porque es mayor en número de pencas y por su tamaño rinde mejor, pues con un maguey se alimenta una vaca en la temporada de secas y consideran opciones como el ensilaje o la cocción para aprovecharlo de diferentes formas y obtener mejores rendimientos; por otro lado, el maguey manso no es nativo, pero, se lo come muy bien el ganado, aunque se desconoce los nutrientes de las especies.

Con lo que respecta al maguey para conservación de suelo y agua, Leonel, Carlos Alberto, Martín y Gustavo consideran al maguey verde, por su tamaño y por la cantidad de hijuelos que producen a su alrededor forman barreras de mayor densidad de individuos para así retener mayores cantidades de suelo y agua, afirman que es menos delicado que el maguey cenizo. Jaime afirma que el cenizo se adapta mejor en las pendientes, aunque es más pequeño y solo produce pocos hijos, también consideran que ambos sirven, pues lo que ayuda a la retención de suelo son sus raíces.

Y por último la formas que han utilizado para la plantación:

Leonel Orduña López: "Es poco el maguey que se ha plantado, y ha sido en los traspatios y parcelas, se planta en las cercas y en surcos, y solo recientemente en las terrazas, se plantó a curva de nivel, solo que la temporada es importante y que no haya vacas en los predios de plantación, otra ventaja es que además se produce pasto y otras ramas y la planta se tiene que seleccionar para cada lugar".

6.5 Propuesta de restauración con base en especies de *Agave* para zonas prioritarias por zonas funcionales

Para la elaboración de la propuesta se consideraron los resultados de la caracterización biofísica y social, la delimitación de las zonas prioritarias por zona funcional, la caracterización ambiental de los *Agaves* nativos, el diagnóstico participativo que incluye, los usos tradicionales del *Agave* y el taller participativo para informar los resultados y esbozar la propuesta de restauración.

Se realizaron recorridos en la zona de estudio durante la investigación para verificar los resultados de los análisis y las propuestas para restauración, así como también para la caracterización ambiental de los *Agaves* nativos (figura 32).

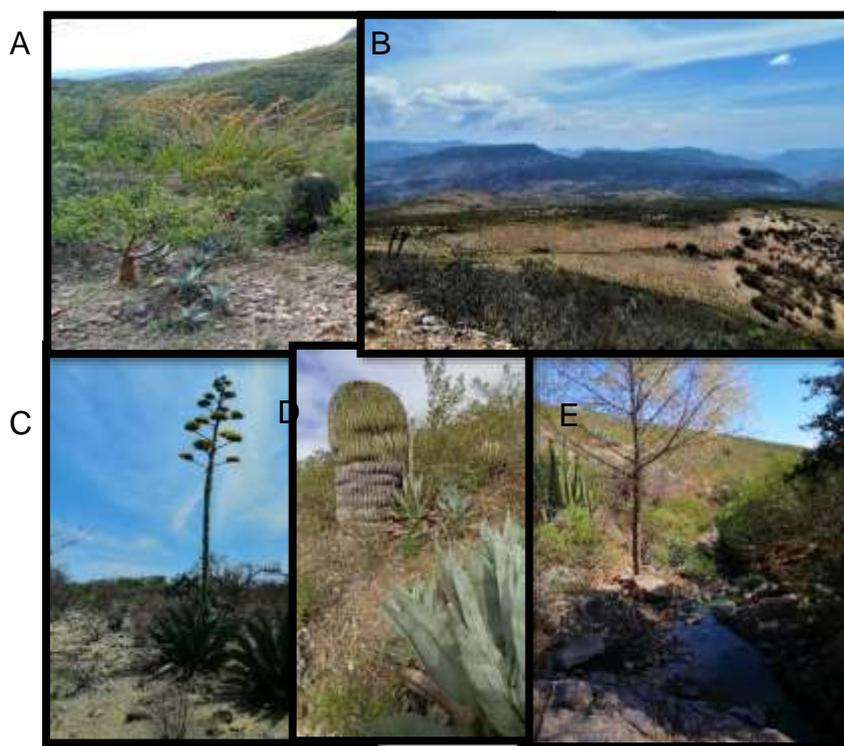


Figura 32. Recorridos de campo A) El Chiquiñal, B) El Roblar, C) Mesa de Ortega D) Las Biznagas Gigantes y E) Manantial Agua Salada. **Fuente:** Elaborado con base en trabajo de campo.

La tabla 24 es el instrumento que resumió las propuestas para restauración y contiene los espacios de las zonas prioritarias a restauración en las diferentes zonas funcionales, incluye la participación de los ejidatarios durante el Taller participativo y diversas acciones para cada espacio o paraje en cada zona funcional (tabla 26).

Tabla 26. Propuesta de zonas prioritarias para restauración

Propuestas de restauración	Zona Funcional Alta	Acciones de restauración	Zona funcional Media	Acciones de restauración	Zona funcional Baja	Acciones de restauración
Prioridades Alta y Media,	Cerro Prieto	Zona de exclusión o reserva ecológica y barreras vivas	El Chiquiñal	Terraceo y barreras vivas	Parcelas de Temporal	Barreras vivas
	Las Biznagas Gigantes	Barreras vivas y terraceo	Parcelas de Temporal	Barreras vivas	Bordo	Barreras vivas
	El roblar	Cercado perimetral terraceo y barreras vivas	El Durazno	Terraceo y barreras vivas	Río principal	Restauración de río, presas y deflectores
	Los Manantiales	Barreras vivas	Los Manantiales	Barreras vivas		
Propuesta de ejidatarios	La Carbonera	Barreras vivas	Chiquiñal	Barreras vivas y terraceo		
			Agua salada	Barreras vivas		
	Las Montoya	Barreras vivas y terraceo	Palos Blancos	Barreras vivas		
			Las Lomas	Barreras vivas		

Fuente: Elaborado con base en Trabajo de campo

Aun cuando la zona funcional baja solo tiene un 1 % de prioridades alta y media, se consideró que era importante restaurar y mantener el bordo evitando el azolve y haciendo trabajos de conservación en el río.

Otras propuestas que se vertieron en el taller (Figura 33 y 34), relacionadas con el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para la restauración son: Propagación de especies de *Agave* y otras especies nativas para la restauración y comercialización, disminuir y administrar la carga de ganado en los potreros, retomar la producción de forraje en las parcelas para disminuir la demanda de pastoreo por el exceso de carga animal en los cerros, mantener los manantiales protegidos del ganado.



Figura 33. Taller participativo elaborando el mapa de restauración **Fuente:** Trabajo de campo

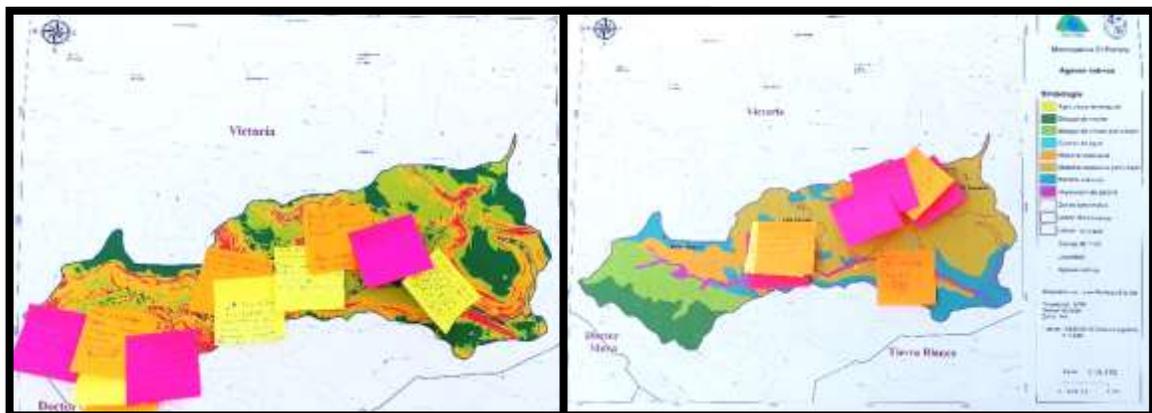


Figura 34. Taller participativo propuesta del mapa de restauración **Fuente:** Trabajo de campo

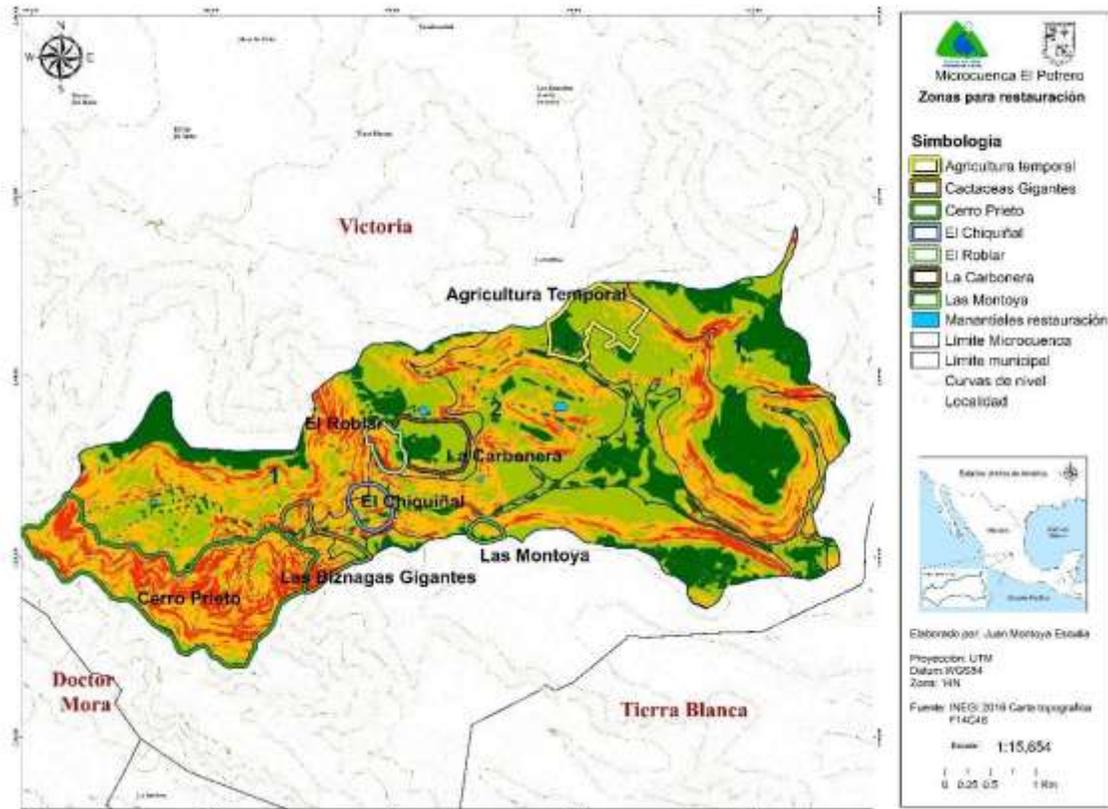


Figura 35. Mapa propuesta zonas de restauración **Fuente:** Elaborado con base en INEGI 2016

La propuesta de restauración después de considerar las opiniones de los ejidatarios en el taller participativo quedó como en el mapa (figura 35) que abarca la problemática más severa que arroja los resultados del estudio realizado y recoge las inquietudes e intereses del grupo de ejidatarios que participó durante la investigación y el taller participativo.

Las acciones de restauración están diseñadas a base de *Agaves* nativos y se hacen las siguientes recomendaciones como prácticas u obras estructurales que facilitan la restauración: 1) En los parajes de Cerro Prieto, El Chiquiñal y las Biznagas Gigantes es importante contemplar presas filtrantes para evitar que avancen las cárcavas que inician. 2) En el río y arroyos, para evitar los azolves de los cuerpos de agua, se recomienda además el terracedo y reforestación con especies nativas 3) La construcción de presas de una piedra sobre el lecho del río y deflectores para recuperar la sinuosidad. 4) Cercados para control y manejo del ganado en bordos y presas de agostadero 5) construcción de Atarjeas como bebederos.

Para poder realizar la propuesta de restauración con base de especies de *Agave* nativo técnicamente se hace necesario tener plantas a disposición, por lo que estas se pueden obtener de dos maneras: una mediante la cosecha de los

vástagos y la otra, mediante la propagación en viveros locales; para el primer caso, la cosecha tiene que ser sobre plantas maduras y no arrancar todos para evitar nuevos daños, cosechar solo aquellos que sobrepasen los 0.30 m de longitud para tratar de asegurar su sobrevivencia al trasplante y si en la cosecha la planta sufrió heridas en el tejido radicular esperar dos semanas antes de trasplantar.

Para la propagación local es importante hacer una jornada de colecta de semillas de las diferentes especies y clasificarlas por sus características o nombre común, la siembra se puede realizar en los traspacios en camas de 0.60 m de ancho x 2 m de largo a tres hileras (en el apartado 5.5 se encuentran los nombres de los parajes en donde existen las diferentes variedades de *Agave* en la microcuenca).

6.5.1 Prácticas de restauración

Respecto a las prácticas para llevar a cabo la estrategia de restauración, se contemplaron principalmente prácticas no estructurales para hacer uso de los *Agaves* de acuerdo a la propuesta de los tres grupos que se definieron y presentaron en el taller participativo y estos serán utilizados con la doble intención de restauración y aprovechamiento tanto en las tierras de uso común como en las parcelas de agricultura de temporal (tabla 27). Y también se hicieron recomendaciones de prácticas estructurales que se proponen para algunos de los parajes por su condición de prioridad.

Tabla 27. Propuesta de Zonas prioritarias a restauración (parajes)

Parajes para restauración	Prácticas de restauración
Cerro Prieto	Zona de Reserva o de exclusión y barreras vivas
Las Biznagas Gigantes	Terraceo y barreras vivas
El Roblar	Cercado Perimetral Terraceo y Barreras vivas
El Chiquiñal	Terraceo y barreras vivas
La Carbonera	Barreras vivas
Las Montoya	Terraceo y barreras vivas
Parcelas de temporal	Barreras vivas bordeadas (y como cerca)
Los manantiales (todos)	Barreras vivas

Fuente: Elaborado con base en trabajo de campo

Además de las prácticas de restauración con base en especies de *Agave* nativas es recomendable considerar las siguientes acciones para la restauración encaminados a la conformación de sistemas integrados de cultivo, ganadería, silvicultura y agroforestería.

Para los cultivos: Labranza de conservación, cobertura permanente, rotación de cultivos, control biológico de plagas y agricultura orgánica

Para la Ganadería: Administración y control de la carga animal (bovinos y equinos), rotación de potreros, producción de forraje, disminuir la explotación extensiva e implementar explotación intensiva, restauración y manejo sostenible de los agostaderos, producción de forraje en parcela y traspatios para disminuir la demanda de pastoreo.

Silvicultura y Agroforestería: Propagación de especies vegetales que por sus funciones ecológicas contribuyan a la restauración y al mismo tiempo por sus usos tengan un valor comercial como algunos cactus, el nopal, mezquite, orégano, damiana, chile piquín, pino piñonero y encino entre otras, resiembras de pasto en zonas estratégicas (pastizal inducido).

Prácticas de restauración no estructurales

Barreras vivas

El diseño de plantación sería con trazo a curva de nivel en los parajes propuestos para restauración, estableciendo plantaciones de *Agave* de acuerdo a las pendientes. De esta forma, en pendientes menores al 13 % se propone plantar los *Agaves* del grupo 1 *A americana* y *A. salmiana* con una distancia entre curvas de hasta 20 m y en pendientes superiores al 13 y hasta el 17 % se recomienda trasplantar en fajas de hasta 30 m de largo de acuerdo a las condiciones del área a proteger y la accesibilidad del terreno. El diseño de la plantación puede ser a tresbolillo y con una distancia entre plantas de 1.5 m, con una distancia entre curvas de 15 m y si existe vegetación nativa escalonar las fajas para evitar remover la vegetación nativa y preferentemente plantar *Agaves* del grupo 2 *A. asperrima* y *A. applanata*. De ser posible y con disponibilidad de suelo al momento de trasplantar hacer un pequeño bordo que fortalezca la retención y la expansión de las raíces

Para las áreas que presentan una pendiente superior a 17 % se prevé plantar

con una distancia entre curvas de 8 y 10 m y si se trata de una zona que presenta surcos en la erosión acortar a un metro entre planta y planta, manteniendo la curva de nivel y tratando de apoyarse con algo de material rocoso que se encuentre disponible.

Cerca viva

Para delimitar las parcelas o proteger los manantiales el cerco vivo con maguey se recomienda perimetral y a una distancia de 1.5 m entre plantas, de modo que en un plazo corto pueda cerrarse, para así evitar el paso de los animales.

Prácticas de restauración estructurales

Terraceo

En caso de existir material rocoso disponible en la zona de restauración es recomendable reforzar las barreras vivas con terrazas en la parte baja de la plantación y manteniendo la curva de nivel, con una altura máxima de 0.40 m x 0.4 m de ancho.

Presas filtrantes

Sobre los arroyos y en cárcavas pequeñas que inician su formación como en los parajes del Chiquiñal, Cerro Prieto y Las Biznagas Gigantes la construcción de presas filtrantes puede contener significativamente a contener la erosión con presas que inicien en 1 m de ancho y terminen en 0.4 m con 1 metro de alto a lo ancho de la cárcava o arroyo a una distancia de entre 20 y 30 m y es preferible acomodar las piedras de mayor tamaño para que opongan resistencia al golpe del agua en los escurrimientos y disminuya la velocidad de la misma facilitando el asentamiento de los sedimentos en la estructura rocosa.

Presas de una roca y deflectores para restauración del río

Para evitar el azolve de los cuerpos de agua, disminuir la velocidad de flujo de las corrientes y recuperar la sinuosidad en ríos se construyen presas de una roca a lo ancho del lecho del río preferentemente cinco filas de rocas continuas acomodando las más grandes y pesadas en la primer fila que opone resistencia a la fuerza de la corriente y los deflectores son cúmulos circulares de rocas acomodadas a una altura de aproximadamente 0.8 m de diámetro en donde inicia la curva de la corriente sobre la orilla del lecho del río.

7. Discusión

La situación actual de la microcuenca El Potrero en San Isidro Corralillos es que la erosión hídrica laminar y vertical abarca una superficie cercana al 50% del territorio, de un total de 2,086 ha. Hay 1,007.68 ha con prioridad para restauración, de estas 252.5 tienen prioridad alta y 755.13 ha prioridad media con un indicador común de escasa cobertura vegetal y suelos removidos derivados de diferentes condiciones como un relieve con pendientes promedio de 28.11 %, suelos inmaduros poco profundos no aptos para la agricultura y con vegetación perturbada. Bajo estas condiciones un factor que influye de manera predominante es la falta de programa de manejo y planeación del uso de los recursos naturales en la microcuenca. Esto se refleja en una zona altamente ganadera con libre pastoreo y sin plan de manejo, donde la degradación de suelos, ya sea por erosión laminar o vertical, afecta significativamente la composición, estructural y función de los sistemas productivos y forestales.

Las condiciones de erosión y socioambientales en general encontradas en la microcuenca El Potrero son compartidas en microcuencas vecinas al igual que su problemática en la producción agropecuaria que se agudiza con el deterioro de los ecosistemas forestales y productivos y siendo este el primer estudio que hace un análisis integral desde un enfoque de cuencas en la región de estudio para definir zonas prioritarias a restauración, con lo cual puede favorecer o apoyar las gestiones de recursos para las estrategias de restauración y al mismo tiempo ser un referente para las microcuencas vecinas.

Para dimensionar la erosión se utilizó la USLE con el objetivo de identificar erosión potencial y actual a escala de microcuencas como Shivhare *et al.* (2017) y Castro (2013) lo usaron para identificar erosión en las microcuencas en el río Ganges y en La Presa Madin. No obstante, en la presente investigación se hizo el análisis a mayor detalle 1: 50,000 y 1:10,000 (uso de suelo y vegetación) para especificar de manera pormenorizada la erosión laminar y horizontal en la definición de zonas prioritarias por zona funcional.

El conocimiento tradicional aportado por los actores sociales en la verificación del análisis biofísico, en los usos tradicionales del *Agave*, en la caracterización de las especies de *Agave* nativas y en sus opiniones sobre la influencia de factores que han participado en la erosión fueron de gran valor para confiabilidad y consistencia, además para la conformación de la estrategia de restauración en donde el conocimiento que hayan podido obtener del presente estudio será de gran influencia para sus futuras decisiones en la restauración de la microcuenca El Potrero.

Es importante mencionar que a diferencia de Shivhare *et al.*, (2017) y Castro (2013) en el modelo de zonas prioritarias no solo se trabajó con el modelo de erosión laminar, sino que además se obtuvo un producto que detalla el fenómeno erosivo a mayor detalle, por vincular la erosión laminar y vertical en un análisis multicriterio como lo aplican Valdés (2017), Roy *et al.*, (2020) y Aslan y Çelik, (2021) para obtener susceptibilidad ante erosión, y las ventajas del presente método es el que se haya obtenido información a mayor precisión en la definición cartográfica para los diferentes modelos.

El mapa de zonas prioritarias es el insumo base para la construcción de una propuesta de acciones de restauración en la microcuenca, para establecer las prácticas de restauración con un alto nivel de precisión para que sus efectos no solo contribuyan a mitigar la erosión, sino que también influyan en otros componentes ecosistémicos como los productivos que impactan directo en la economía (Sinisterra *et al.*, 2011).

Por otro lado, la caracterización ambiental de las especies de *Agaves* nativas se orientó con los sus usos tradicionales y con criterios ambientales, para enfocarse en los requerimientos ambientales de las especies nativas (Bermeo, 2010); y en la selección de las especies se favoreció el aprovechamiento de las aptitudes ecológicas con diversas opciones productivas que pertenecen al conocimiento tradicional de la población. Además, con el modelo de zonas prioritarias por zona funcional se ubicaron los diferentes usos de suelo y vegetación en la construcción

de una propuesta de restauración de ecosistemas forestales y productivos que representa para la región una nueva perspectiva de los procesos de restauración.

Con el diagnóstico participativo (Geilfus, 2002) se logró la articulación de todos los insumos generados en el estudio para la construcción de la propuesta de restauración tales como los conocimientos sobre los usos tradicionales de los *Agaves*, el conocimiento de las especies y parajes en donde existen con mayor abundancia, así como también el manejo que han hecho de ellos. Después de conocer y analizar los resultados los ejidatarios confirmaron la viabilidad social al integrarse con opiniones y sugerencias a la propuesta, que contempla los parajes de las zonas funcionales alta, media y baja en los que se concentran las prioridades alta y media incluyendo espacios que influyen en las condiciones ecológicas de los manantiales y algunos bordos, la distribución de los grupos de *Agave* en la prácticas y parajes de acuerdo a intereses productivos vinculados a los usos tradicionales.

En la presente investigación se coincide con Zorrilla y Hernández, (2014) en las aptitudes que el *Agave* tiene para contribuir a los procesos de restauración aplicado en las prácticas de conservación de suelo agua y biodiversidad, pero se propone de manera más específica su aplicación en las en las zonas prioritarias por zonas funcionales, integrando los grupos de *Agave* por criterios ambientales tipos de vegetación y usos tradicionales en los parajes, para favorecer la adaptabilidad, un mejor manejo y aprovechamiento.

Con respecto a uso de *Agaves* para las prácticas de restauración Goitia (2008) lo incorpora directamente sobre zonas erosionadas para evaluar las aptitudes del *Agave* y contener los procesos erosivos, y Velázquez (2020) lo integra en las prácticas de restauración, y como parte de un sistema agrosilvopastoril acompañado de otras especies, en un sitio cercano a la zona de estudio. A diferencia de Goitia (2008) se proponen las especies nativas del género *Agave* por su desempeño probado en procesos de restauración, como especies pioneras que resisten condiciones climáticas adversas, capaces de afianzar y retener suelo y sedimentos en su fibrosa estructura radicular con la misma que logra formar familias durante su reproducción asexual por vástagos y favorece la asociación vegetal

canalizando humedad y suelo a especies nativas que en una segunda etapa, o de manera paulatina podrían incorporarse para alcanzar la continuidad vegetativa y fortalecer la restauración.

Algunas especies nativas en asociación con los *Agaves* son el garambullo, el orégano, la salvia, el mezquite, la palma, yuca y diversas especies de pastos que podrían desempeñar usos y funciones importantes en los tipos de vegetación existentes y en las diferentes zonas funcionales.

El conocimiento de la distribución de las poblaciones de magueyes más abundantes en la microcuenca por sus condiciones ambientales, facilitó la conformación de los grupos de restauración así las especies como *A. salmiana* y *A. americana* fueron localizadas con mayor abundancia en la zona funcional alta (La Mesa Segura El Durazno y El Tepozán) y con menor abundancia en la zona funcional media (Las Lomas) en espacios con escasa pendiente y con suelos poco profundos.

Agave aspérrima es más abundante en la zona funcional media (Las Lomas) y con mayor dispersión en la zona alta y baja, con pendientes pronunciadas y suelos poco profundos. Por su parte la especie *A. applanata* es muy escasa y fue localizada en la zona funcional alta en espacios de baja y mediana pendiente y la especie *A. lechuguilla* abunda en la zona media en pendientes muy pronunciadas con escasos suelos y entre rocas, algunas poblaciones cercanas a la vegetación de galería.

Por lo anterior los *Agaves* de mayor tamaño *A. salmiana* y *A. americana* se recomiendan para los espacios con menor pendiente, como cercas vivas en delimitaciones de predios y parcelas, como barreras vivas en la restauración de zonas prioritarias con escasas pendientes o en las parcelas para la producción de pulque, mezcal o forraje, sin llegar al monocultivo; debido a que estas especies pueden favorecer la producción por su altura, volumen, número de pencas y por su mayor demanda en la profundidad de suelos.

Los *Agaves* de talla mediana *A. asperrima* y *A. applanata* se recomiendan para las prácticas restauración en pendientes medias porque que su peso y altura no los haría vencerse en las barreras vivas pudiendo ir acompañados de terraceo

en las zonas prioritarias y en las parcelas *A. asperrima* aprovecharlas para producción de mezcal y quiote (catalogado en los usos tradicionales) estos magueyes no demandan suelos profundos.

Mientras que los *Agaves* pequeños como *A. lechuguilla* se recomiendan para la restauración en espacios con pendientes más pronunciadas, porque son ligeros y bajitos y su demanda de suelo es muy baja por lo que se pueden adaptar en las laderas escarpadas y muy escarpadas

Esta investigación, al igual que Velázquez (2020), perfila la intencionalidad de múltiples aprovechamientos para los usos tradicionales que representan las diversas especies nativas de *Agave* caracterizadas por los factores que influyen en su adaptación y abonan en beneficio ecológico favoreciendo cobertura y continuidad vegetal, captura de agua y carbono, retención de suelo y sedimentos orgánicos, contribuyen en la reactivación de la producción agropecuaria al incorporar forraje y diversos productos que obtienen y comercializan de los magueyes y corresponden a usos tradicionales en la región.

Entre las ventajas de la restauración con magueyes nativos que menciona García (2015) está el hecho de que se facilite su adaptación por pertenecer a condiciones climáticas homogéneas, la semilla y vástagos se encuentran en el territorio, son un recurso a disposición próximo y asequible, es conocido su uso y aprovechamiento por los ejidatarios y existen en los diferentes tipos de vegetación dentro de la microcuenca. También la conformación de los grupos de *Agave* para restauración que incorpora criterios que pueden facilitar su proceso de adaptación ambiental, en la cual se coincide con Bermeo (2010), solo que en este caso se trata de especies del mismo género *Agave* y la función que se persigue es la restauración ecológica de sistemas forestales y productivos en zonas prioritarias por zonas funcionales donde el criterio del tamaño tuvo el mayor peso, debido a las características biofísicas de la microcuenca El Potrero, y de acuerdo a los intereses y condiciones ambientales como lo plantean Fonseca y Ganade (2001). Otros criterios fueron la pendiente, la demanda de suelo y los usos que pueden ser determinantes para su establecimiento y para el logro de los objetivos.

Siendo las actividades económicas más importantes la ganadería extensiva y la colecta de productos forestales no maderables, la propuesta de restauración de la microcuenca, representa para los ejidatarios una serie de contradicciones como la falta de planes de manejo en la colecta y ganadería, la falta de agua en la parcelas productivas, entre otros; así, por un lado podrían ver en riesgo sus intereses y por otro, generar una expectativa para resolverlos, y a través del diagnóstico participativo pueden analizarse y facilitar los acuerdos como plantea Geilfus (2002). De esta manera el diagnóstico participativo como parte del manejo integrado de cuencas enriquece los resultados a través de la participación activa y reflexiva por parte de los ejidatarios con información, que permitió que lo planeado en la investigación facilitará la participación activa de los ejidatarios y para el caso de la microcuenca en cuestión los métodos aplicados que se adaptaron de Geilfus (2002) e Iglesias y Herrera (2013) con los que se coincide en el sentido de que así la información y la participación fluyen con mayor confianza.

8. Conclusiones

Para definir las condiciones de erosión y las zonas prioritarias para restauración en la microcuenca El potrero, el modelo de zonas prioritarias conformado por la relación entre la erosión laminar (erosión potencial y actual USLE), la erosión vertical (susceptibilidad ante erosión) a través del uso de plataformas de Sistemas de Información Geográfica permitieron y facilitaron el análisis integral de la microcuenca arrojando resultados que dimensionan la erosión y detallan los espacios de prioridad para restauración que se expresan marcadamente en la zona funcional alta y media ubicada al oeste de la microcuenca afectando las vegetaciones de bosque de encino, bosque de encino perturbado, matorral crasicaule y matorral crasicaule perturbado. La erosión hídrica laminar en la microcuenca El Potrero afecta ya al 81.2 % de la superficie (1,693.83 ha) en diferentes rangos, que van desde moderada hasta muy alta, la erosión vertical afecta el 47.5 % (990.77 ha) en rangos de media y alta susceptibilidad a la erosión.

La construcción de la propuesta y acciones de restauración se conformó al

relacionar el estudio del modelo de zonas prioritarias con la delimitación de las zonas funcionales, con la caracterización ambiental de los *Agaves* nativos y con el estudio de sus usos tradicionales, así con toda esta información el estudio profundiza en la dinámica funcional y estructural de la microcuenca, en la conformación de los tres grupos de magueyes para la restauración de acuerdo a criterios ambientales que favorecen su capacidad de adaptación a las diferentes zonas funcionales y se aprovechan las aptitudes ecológicas de los *Agaves* y las opciones productivas de sus usos tradicionales para tratar de brindar mayor pertinencia en la toma de decisiones. Esta propuesta proyecta resultados muy específicos para la adaptación de los *Agaves* y para contribuir a mitigar los procesos erosivos e incrementar la productividad agropecuaria en la microcuenca.

El diagnóstico participativo fue el recurso metodológico a través del cual se logró la articulación de todos los insumos generados en el estudio para la construcción de la propuesta de restauración; en esta, los ejidatarios como actores sociales después de conocer y analizar los resultados confirman la viabilidad social al integrarse con opiniones y sugerencias a la propuesta, que contempla los parajes de las zonas funcionales alta, media y baja en los que se concentran las prioridades alta y media incluyendo espacios que influyen en las condiciones ecológicas de los cuerpos de agua (manantiales y bordos).

Referencias bibliográficas

- Aguilar, G.R y Ortega, G.M.A. (2017). Análisis de la dinámica del agua en la zona no saturada en un suelo sujeto a prácticas de conservación: implicaciones en la gestión de acuíferos y adaptación al cambio climático. Universidad Nacional Autónoma de México Querétaro, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(2), 91-104. <http://dx.doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2017.2.430>
- Alcázar, E. (2016). *Caracterización de saponinas de pérdida durangensis y salmiana, y su efecto en la pared y membrana celular de Kluyveromyces marxianus y Saccharomyces cerevisiae* (Tesis doctoral, Posgrado Interinstitucional, CONACYT; CYATEJ).
- Arias, M.L.A., Bonfil, C. y Valverde, T. (2016). *Demographic analysis of Agave angustifolia (Agavaceae) with an emphasis on ecological restoration.*, *Botanical Sciences*. 94(3), 513-530. <https://doi.org/10.17129/botsci.525>
- Arias, C. J. (2018). *Mapeo de áreas prioritarias para la restauración ecológica en la zona de influencia del Centro Agrícola Cantonal de Oreamuno, Cartago, Costa Rica*, [Tesis de licenciatura Instituto Tecnológico de Costa Rica].
- Aslan, V., y Çelik, R. (2021). Integrated gis-based multi-criteria analysis for groundwater potential mapping in the euphrates's sub-basin, harran basin, turkey. *Sustainability*, 13, 7375. <https://doi.org/10.3390/su13137375>
- Bautista, F., Barajas, A., Cortés, J. L., Olivares, L. D., Gallegos, Á., y Pérez, A. (2016). *Los costos ambientales de la pérdida de suelo en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato*. *GEOS*, 36(2), 309-315
- Bermeo, E.D.F. (2010) *Determinación y caracterización de tipos funcionales de plantas (TFPs) en bosques secundarios dentro de un gradiente altitudinal y su relación con variables bioclimáticas*. [Tesis Doctoral. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza] Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4766>
- Bertsch, F. y Henríquez, C. (2015) EL año Internacional de los Suelos; Universidad de Costa Rica *Agronomía Costarricense*, 39(3),149-155 https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242015000300151&script=sci_arttext
- Bhan, S. (2013). Land Degradation and Integrated Watershed Management in India. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(1), 49-57 "[https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30049-6](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30049-6)
- Caire, G. (2008). El manejo integrado de cuencas como instrumento para el desarrollo regional. *Abardía A, Morales F (coordinadores). Desarrollo regional-Reflexiones para la gestión de los territorios. Alternativas y Capacidades, AC Primera ed. Ciudad de México: MC editores*, 187-213.
- Castro M. I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 34(2), 3-16. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382013000200001&script=sci_arttext&tlng=pt
- Crespo, L. F. T. (2017). Barreras combinadas de piedra y *Agave angustifolia* L para la retención de suelos en afloramientos rocosos. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 5(2), 207-225. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6090128>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2009). Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores. *Unidad de Comunicación Social y Coordinación de Conservación y Restauración*. SEMARNAT.
- Corrales Freire, C. K. (2013). *Recuperación de cárcavas con Agave (penco azul) para la protección biológica ambiental del estadio Ceypsa, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi* (Bachelor's thesis, LATACUNGA/UTC/2013).
- Cortes, T.H., Figueroa, S.B., González, C.F. y Ventura, R.E. (1980). Mapa preliminar de la erosividad

- de lluvia en México. *XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Comarca Lagunera*, México
- Cotler, H. y Caire, G. (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México* Primera edición México, D. F ... Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- Cotler, H., Priego, Á., Rodríguez, C., y Enríquez, C. (2004). Determinación de zonas prioritarias para la eco-rehabilitación de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta ecológica*, (71), 79-92.
- Chirinos, N. M., y González, S. R. (2011). Consideraciones teórico-epistémicas acerca del concepto de modelo. *Telos*, 13(1), 51-64.
- Esquivel, A.R.K. (2018) *Análisis de Susceptibilidad a Deslizamientos. Caso de Estudio: Sector Centro Norte de la Ciudad de Toluca*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=%29+An%C3%A1lisis+de+Susceptibilidad+a+Deslizamientos.+Caso+de+Estudio%3A+Sector+Centro+Norte+de+la+Ciudad+de+Toluca%2C+Estado+de+M%C3%A9xico&btnG=
- Farber, S. C., Costanza, R., y Wilson, M. A. (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services, *Ecological Economics*, 41(3), 375-392. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00088-5)
- Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). (2016). *Mapa de microcuencas de México*. Información vectorial.
- Flores, G.J. G., Casillas, D. U. D., García, B. J. M., Flores, R. A. G., y Lomelí Z. M. E. (2019). *Cartografía estatal de áreas prioritarias contra incendios forestales en la República Mexicana*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Flores, L.H.E., De la Mora, O.C., Ruíz C.J.A., y Chávez D.Á.A. (2013). Efecto de la cobertura de suelo de tres cultivos sobre la erosión hídrica. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 12(1), 19-25. doi: 10.5154/r.rchsza.2012.06.015
- Flotemersch, J. E., Leibowitz, S. G., Hill, R. A., Stoddard, J. L., Thoms, M. C., & Tharme, R. E. (2016). A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *River Research and Applications*, 32(7), 1654-1671. <https://doi.org/10.1002/rra.2978>
- Fonseca, C. R., y Ganade, G. (2001). Species functional redundancy, random extinctions and the stability of ecosystems. *Journal of Ecology*, 118-125.
- Frêne, C., y Oyarzún, C. (2014). *Manejo Integrado de Cuencas Forestales. Ecología Forestal: Bases para el Manejo Sustentable y Conservación de los Bosques Nativos de Chile*. Ediciones Universidad Austral de Chile, 297-308.
- García, C.W. (2006). *El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica. Facultad de Ciencias Humanas. Medellín*. Colombia: Universidad de Colombia. Recuperado de [http://telesecundaria.gob.mx/mesa_tecnica/ files/Sistema-Cuenca_Hidrografica.pdf](http://telesecundaria.gob.mx/mesa_tecnica/files/Sistema-Cuenca_Hidrografica.pdf).
- García M.A. (2007). Los Agaves de México, Universidad Nacional Autónoma de México. *Instituto de Biología, Jardín Botánico*, Ciencias 87.
- García J.I.J. (2015) *Propuesta de reforestación con Agave salmiana de la región centro del país, en el ejido de San Mateo Chipiltepec, Acolman, Estado de México, 2015*. [Tesis de licenciatura] Universidad Nacional Autónoma de México. Repositorio de la dirección general de bibliotecas y servicios digitales de información.
- Gaspari, F.J., Rodríguez, V.A.M., Senisterra, G.E., Delgado, M.I. y Besteiro, S.I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales*. Universidad Autónoma de la Plata.
- Geilfus, F. (2002). *80 Herramientas para el desarrollo participativo*. Ciudad: IICA.
- Gil, V.K.C., Díaz, Q.C.E., Nava, C.A., García-M.A. y Simpson J. (2007). *Análisis AFLP del género*

- Agave refleja la clasificación taxonómica basada en caracteres morfológicos y otros métodos moleculares.* Departamento de Ingeniería Genética, CINVESTAV, Unidad Irapuato. A.P. 629, Irapuato, Guanajuato, México. Instituto Tecnológico Agropecuario de Aguascalientes. Jardín Botánico, Instituto de Biología, UNAM.
- Goitia, R.M.A. (2008) *Evaluación de Especies Forestales en la Formación de Barreras Vivas y Comportamiento de la Erosión Hídrica, en el Cantón Cohoni.* [Tesis de licenciatura Universidad Mayor de San Andrés Bolivia]. Repositorio institucional Universidad Mayor de San Andrés
- González, I.J.C., Silva, M.K.A. (2019). *Análisis Bioinformático en Planta de Agave con Potencial uso en la Restauración de Ecosistemas Áridos.* Universidad Politécnica de San Luis Potosí.
- González, O. M. L., Plascencia, E. F. O., y Martínez, T. T. (2016). Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlán. *Madera y bosques*, 22(2), 41-52 <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221323>.
- Gutiérrez, E. M. (2006). Erosión e influencia del cambio climático. *Rev. C & G*, 20, 45-59.
- Henao, S.J.E. (2006). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas.* Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás.
- Herrera, P. L., Valtierra, P.E., Ocampo, F.I., Tornero, C.M.A., Hernández, P.J.A. y Ramón R. M. (2017) Prácticas agroecológicas en *Agave tequilana* Weber bajo dos sistemas de cultivo en Tequila, Jalisco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE18), 3711-3724. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i18.216>
- Hernández Gómez, I. U. (2014). *Evaluación de la transformación del paisaje para la determinación de áreas prioritarias de conservación en la región de Uxpanapa, Veracruz.*
- Hernández, V. A. C., Vargas, G. F., Figueroa, A., & Restrepo, I. (2019). El enfoque de sistemas socioecológicos en las ciencias ambientales. *Investigación & Desarrollo*, 27(2), 85-109. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26864302004>
- Honoría, C. G. (2014). *Áreas prioritarias mediante escenarios de deforestación y servicios ambientales en la Sierra Norte de Puebla.* [Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados].
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). *Erosión de suelos en México* boletín de prensa Núm. 295/14, 2014 Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018) *Marco Geoestadístico. Guanajuato, México.*
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1974). *Carta Geológica F14C46 "Doctor Mora".* Escala 1:50,000. Aguascalientes, Ags. Guanajuato.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1974). *Carta edafológica F14C46 "Doctor Mora".* Escala 1:50,000. Aguascalientes, Ags. Guanajuato.
- Lal, R. (2012). Climate change and soil degradation mitigation by sustainable management of soils and other natural resources. *Agricultural Research*, 1(3), 199-212. <https://doi.org/10.1007/s40003-012-0031-9>
- Landers, J. N. (2007). Sistemas tropicales de agricultura-ganadería en la agricultura de conservación. *La experiencia en Brasil: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Manejo Integrado de Cultivos*, 5, 123. <http://www.fao.org/3/a1083s/a1083s.pdf>
- Lara, Á. J. P. (2005). *Obtención de la huella genética de Agaves mezcaleros de San Luis Potosí* (Tesis de Maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.). <http://hdl.handle.net/11627/208>
- López, L. E. M., Grabach, C. D. S., Pérez, L. M., & Cisneros, R. L. 46. El Agave como elemento para la restauración de parcelas agrícolas abandonadas, en la comunidad de la Esperanza, Puebla, México. In *Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica* y (p. 546). <https://core.ac.uk/download/pdf/48018075.pdf#page=548>

- Lozano G. B., y Parras A. L. (2011). Erosión actual y potencial en suelos ácidos del sur de España. *Terra Latinoamericana*, 29(1), 35-46.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792011000100035&script=sci_arttext
- Mandujano, B.A., Pons, H.J.L., Paredes, R.M., García, M.P. (2018). Diversidad genética de maguey (*Agave spp.*) en las sierras y llanuras del norte de Guanajuato. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(3), 511-523. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1212>
- McCool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K., & Meyer, L. D. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 30(5), 1387-1396. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=30576>
- Martínez Palacios, A., Prat, C., y Ríos, E. (2010). *Propuestas del uso del Agave para la recuperación de terrenos degradados en las comunidades campesinas de la subcuenca "El Calabozo-Potrillo", Cuenca de Coitzaco, Mich.*
- Martínez, M.M. (2005). *Estimación de la Erosión del Suelo*. SAGARPA-COLPOS-INCA RURAL. México.
- Mata, G. R. (2013). Caracterización ecológica y socioeconómica del maguey verde (*Agave salmiana ssp. crassispina*). SAGARPA, INIFAP.
- Mekuria, W., Wondie, M., Amare, T., Wubet, A., Feyisa, T., y Yitaferu, B. (2018). *Restoration of degraded landscapes for ecosystem services in North-Western Ethiopia*. *Heliyon*, 4(8), e00764. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00764>
- Moreno Calles, A. I., Casas, A., Toledo, V. M., & Vallejo Ramos, M. (2017). *Etnoagroforestería en México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nirenberg, Olga. (2006). El diagnóstico participativo local en intervenciones sociales. *Cuadernos del CEADEL* No. 44.
- Olivares, B., Lobo, D., & Verbist, K. (2014). Aplicación del modelo USLE en parcelas de erosión bajo prácticas de conservación de suelos y aguas en San Pedro de Melipilla, Chile. *Ciencia e Ingeniería*, 36(1), 3-9. <https://www.redalyc.org/pdf/5075/507550627001.pdf>
- Orduña, L. L. (2021) *Entrevista sobre situación actual del Ejido San Isidro Corralillos*. Victoria, Guanajuato.
- Ortiz, S. M. de la L., M. Anaya G. y J. W. Estrada B. W. (1994). *Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra*. Universidad Autónoma Chapingo, Comisión Nacional de las Zonas Áridas. Texcoco, Estado de México. (161).
- Registro Agrario Nacional. (RAN) (2017). Sistema de información geoespacial. Núcleos agrarios. Guanajuato.
- Ramírez, H. M. E. (2010). *Interrelaciones económicas y ambientales en la dinámica organizativa del ejido San Isidro de Corralillos, Guanajuato, México* [Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chapingo].
- Roy, S., Hazra, S., Chanda, A., & Das, S. (2020). Assessment of groundwater potential zones using multi-criteria decision-making technique: a micro-level case study from red and lateritic zone (RLZ) of West Bengal, India. *Sustainable Water Resources Management*, 6, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00373-z>
- Sabogal C., Besacier C. y McGuire D. (2015). *Restauración de bosques y paisajes: conceptos, enfoques y desafíos que plantea su ejecución.*, *Unasylva* 245, Vol. 66, 2015/3
- Sarukhán, J., & Whyte, A. (2003). *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) El Medio Ambiente en México 2013-2014 Degradación de suelos en México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/03_suelos/3_2.html
- Sentís, I. (2012). *Problemas de degradación de suelos en América Latina: Evaluación de causas y efectos*. In Quito, Ecuador. *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*.
- Shivhare, N., Rahul, A. K., Omar, P. J., Chauhan, M. S., Gaur, S., Dikshit, P. K. S., & Dwivedi, S. B. (2018). *Identification of critical soil erosion prone areas and prioritization of micro-watersheds*

- using geoinformatics techniques. *Ecological engineering*, 121, 26-34.
doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.09.004" \t "_blank" \o
- Sinisterra R.J.A., Calle D.Z., Murgueitio, R.E., Sánchez, H.M., Rodríguez, C.G. (2011). Avances en la rehabilitación ecológica de la cárcava Monte Caldera, San Luis Potosí. In *Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y* (335).
<https://core.ac.uk/download/pdf/48018075.pdf#page=337>
- Tane, H. (2006). Restoring watershed systems by converting to natural sequence farming. In *Proc. first Natural Sequence Farming Workshop, Natural Sequence Farming—Defining the Science and the Practice*.
<http://www.nsfarming.com/workshop/documents/PDF/Haikai%20Tane%20FIN%20NSF%20watersheds%206%20Dec%2006.pdf>
- Torres, G.I., Rendón, S.F.J., Blancas, J., Moreno, C.A.I. (2018). El género *Agave* en los sistemas agroforestales de México. *Botanical Sciences*, 97(3), 263-290.
"https://doi.org/10.17129/botsci.2202"
- Torres, F., & Rojas, A. (2018). El suelo agrícola en México: retrospección y prospectiva para la seguridad alimentaria. *Realidad, datos y espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9(3).
- Valdés, C.A.C. (2017). *Diagnóstico integrado y participativo del paisaje en las zonas funcionales de la Microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit*. [Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro].
- Valdés, C.A.C., y Hernández, G.J.A (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista Geográfica de América Central*, 1(60), 189-229.
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/4517/451755917008/451755917008.pdf>
- Valenzuela, Z.A.G. y Flores G. J. (18 de noviembre de 2020). *Un sistema agroforestal y pastoril con Agave "híbrido" de la Hacienda Zamarripa*. (N° 99). [Podcast]. En *Agave lessons and Agricultura* In. <https://anchor.fm/ana-g-valenzuela-zapata/episodes/Agricultura-99--Ing--Jos-Flores-Gonzlez-un-sistema-agroforestal-y-pastoril-con-agave-hbrido-de-la-Hacienda-Zamarripa-efcahj/a-a1q063>
- Vázquez, A.R.E., Blanco, M.F., Ojeda Z.M.C., Martínez, L.J.R., Valdez, C. R.D., Santos, H.A. y Háuad, M.L.A. (2011). Reforestación a base de nopal y maguey para la conservación de suelo y agua. *Revista de Salud Pública y Nutrición*, 5(18), 185-203
- Velázquez, P.A. (2021). *Establecimiento de sistemas agrosilvopastoriles con maguey, nopal y mezquite y fortalecimiento de capacidades de gestión y manejo de pobladores en la microcuenca Zamarripa*. [Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro]. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2408>
- Wakatsuki, T., & Masunaga, T. (2005). Ecological engineering for sustainable food production and the restoration of degraded watersheds in tropics of low pH soils: focus on West Africa. *Soil Science & Plant Nutrition*, 51(5), 629-636. "https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00079.x"
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Zavala-Cruz, J., Palma-López, D. J., Cabrera, C. R. F., Castañeda, A. L., & Tórres, E. S. (2011). *Degradación y conservación de suelos en la Cuenca del río Grijalva, Tabasco*. Colegio de Postgraduados, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX. Villahermosa, Tabasco, México.
- Zorrilla, R.J.M., y Hernández, G.J. (2014). *El caso México. Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1), 27-52. http://fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca_digital/casomexico.pdf

Anexos

GUIÓN DE TEMAS Y PREGUNTAS. “Usos tradicionales del Agave”
<i>Datos generales del entrevistado</i>
Nombre: _____
Categorías
Tipos de maguey presentes en el ejido y la región
Usos del maguey
Distribución geográfica
Plantación y manejo del maguey
1) ¿Qué magueyes conoces que existen en el ejido y en la región?
2) ¿Qué magueyes se han utilizado más en el ejido, en la comunidad y región?
3) ¿Qué usos se le han dado los magueyes en el ejido?
4) ¿En qué lugares del ejido existe mayor número de magueyes?
5) ¿En dónde han plantado maguey en el ejido?
6) ¿Qué magueyes considera que son los mejores para alimentar el ganado?
7) ¿Qué magueyes considera son los mejores para evitar la pérdida de suelo en tierras del ejido, parcelas y tierras de uso común?
8) ¿De qué manera han plantado los magueyes y para qué?

Figura 36. Formato de entrevista usos tradicionales del *Agave*

Altura m	Suelo m	° Pendiente	Especie	Paraje	Zona funcional
1.80	0.38	0-3	Verde	Las lomas	Media
1.65	0.35	0-3	Verde	Las lomas	Media
0.70	0.33	13-17	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Media
1.77	0.38	13-17	Verde	Las lomas	Media
0.70	0.35	13-17	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Media
0.85	0.37	8-13	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Media
0.85	0.35	8-13	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Media
1.45	0.37	8-13	Verde	Las lomas	Media
1.70	0.35	13-17	Verde	Las lomas	Media
1.80	0.35	8-13	Verde	Las lomas	Media
0.80	0.38	0-3	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Media
0.70	0.35	0-3	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Media
0.70	0.38	0-3	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Media
0.75	0.33	13-17	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Media
1.80	0.38	0-3	Verde	Las lomas	Media
0.80	0.38	0-3	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Media
2.20	0.35	0-3	sp Glauco *	Las lomas	Media
1.0	0.37	0-3	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Media
0.80	0.40	13-17	<i>A. asperrima glauco</i>	Las lomas	Alta
1.75	0.43	3-8	Verde	Mezquital	Media
2.20	0.40	8-13	<i>A. americana</i>	Palos Blancos	Alta
0.85	0.38	8-13	<i>A. asperrima glauco</i>	Palos Blancos	Alta
0.90	0.35	8-13	<i>A. asperrima glauco</i>	Palos Blancos	Alta
2.0	0.40	8-13	<i>A. americana</i>	Palos Blancos	Alta
0.90	0.40	8-13	<i>A. asperrima glauco</i>	Palos Blancos	Alta
0.93	0.38	8-13	<i>A. asperrima glauco</i>	Palos Blancos	Alta
0.95	0.35	8-13	<i>A. asperrima glauco</i>	Palos Blancos	Alta
0.97	0.37	8-13	<i>A. asperrima glauco</i>	Palos Blancos	Alta
2.10	0.40	13-17	<i>A. americana</i>	Palos Blancos	Alta
0.95	0.30	13-17	<i>A. asperrima glauco</i>	Palos Blancos	Alta
1.60	0.37	13-17	Verde	Palos Blancos	Alta
1.55	0.40	13-17	Claro verde	Palos Blancos	Alta
1.46	0.35	32-38	Claro verde	Palos Blancos	Alta
0.86	0.32	32-38	<i>A. asperrima glauco</i>	Palos Blancos	Alta
0.70	0.30	13-17	<i>A. asperrima glauco</i>	Palos Blancos	Alta
1.45	0.42	13-17	Verde	La mesa Segura	Alta

Figura 37. Caracterización de Agaves nativos Fuente: Elaboración propia

Altura m	Suelo m	° Pendiente	Especie	Paraje	Zona funcional
2.25	0.44	0-3	Verde	La mesa Segura	Alta
2.15	0.45	0-3	Verde	La mesa Segura	Alta
2.18	0.45	0-3	Verde	La mesa Segura	Alta
2.00	0.45	0-3	Verde	La mesa Segura	Alta
1.95	0.45	0-3	Verde	La mesa Segura	Alta
2.10	0.42	0-3	Verde	La mesa Segura	Alta
1.75	0.45	0-3	Verde	La mesa Segura	Alta
1.83	0.42	0-3	Verde	La mesa Segura	Alta
1.90	0.40	3-8	Verde	La mesa Segura	Alta
0.92	0.45	3-8	<i>A. asperrima glauco</i>	La mesa Segura	Alta
0.40	0.25	3-8	<i>A. applanata</i>	Palos Blancos	Alta
1.37	0.28	3-8	Verde	Palos Blancos	Alta
1.70	0.30	0-3	Verde	Comunidad	Media
1.45	0.35	0-3	Verde	Tepozán	Alta
1.70	0.30	0-3	Verde	Tepozán	Alta
1.70	0.40	13-17	Verde	Tepozán	Alta
1.20	0.25	13-17	Claro verde	Tepozán	Alta
1.70	roca	0-3	<i>A. asperrima glauco</i>	Tepozán	Alta
1.0	0.25	0-3	Claro verde	Tepozán	Alta
0.80	0.30	13-17	Verde	Tepozán	Alta
2.10	0.40	0-3	Verde	Tepozán	Alta
1.95	0.35	0-3	Verde	Tepozán	Alta
1.90	0.40	0-3	Verde	Tepozán	Alta
1.40	0.40	0-3	<i>A. asperrima glauco</i>	Tepozán	Alta
1.40	0.42	3-8	<i>A. asperrima glauco</i>	El durazno	Alta
1.60	0.45	3-8	<i>A. asperrima glauco</i>	El durazno	Alta
1.80	0.43	3-8	Verde	El durazno	Alta
2.10	0.40	3-8	sp Glauco *	El durazno	Alta
1.57	0.35	3-8	Verde	El durazno	Alta
1.75	0.35	0-3	Claro verde	El durazno	Alta
1.35	0.38	3-8	Claro verde	El durazno	Alta
1.45	0.40	3-8	Claro verde	El durazno	Alta
1.25	0.40	3-8	Claro verde	El durazno	Alta
0.56	0.15	32-38	<i>A. lechuguilla</i>	Río Rivera	Media
0.95	0.40	13-17	<i>A. asperrima glauco</i>	Bordo	Baja
1.10	0.20	13-17	<i>A. asperrima glauco</i>	Bordo	Baja

Figura 38. Caracterización de Agaves nativos (continuación). Fuente: Elaboración propia

