



IPICYT

**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**FUNCIÓN SOCIOECOHIDROLÓGICA DE LA
BIOCOSTRA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA
DE MAPIMÍ, DURANGO**

Tesis que presenta

Erandi Monterrubio Martínez

Para obtener el grado de

Maestra en Ciencias Ambientales

Director (Codirectores) de la Tesis:

Dra. Elisabeth Huber-Sannwald

Dra. Natalia Martínez Tagüeña

San Luis Potosí, S.L.P., mayo de 2020



IPICYT Constancia de aprobación de la tesis

La tesis “**Función socioecohidrológica de la biocostra en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango**” presentada para obtener el Grado de Maestra en Ciencias Ambientales fue elaborada por **Erandi Monterrubio Martínez** y aprobada el **día 26 de mayo de 2020** por los suscritos, designados por el Colegio de Profesores de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Dra. Elisabeth Huber-Sannwald
Codirectora de tesis

Dra. Natalia Martínez Tagüeña
Codirectora de tesis

Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles
Miembro del Comité Tutorial

Dr. Víctor Manuel Reyes Gómez
Miembro del Comité Tutorial

Dr. José Tuxpan Vargas
Miembro del Comité Tutorial



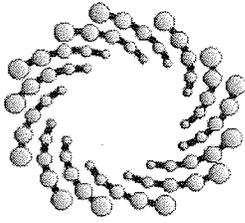
Créditos Institucionales

Esta tesis fue elaborada en la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la codirección de la Dra. Elisabeth Huber-Sannwald y la Dra. Natalia Martínez Tagüeña.

Durante la realización del trabajo la autora recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (No. de 597629) y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.

El presente trabajo fue realizado gracias al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través de los proyectos PN 2017-01-5036 y SEP-CB-2015-01-251388 coordinados por la Dra. Elisabeth Huber-Sannwald como Responsable Técnico y del Proyecto FORDECYT 296354 del Consorcio de Investigación Innovación y Desarrollo para las Zonas Áridas coordinado por la Dra. Natalia Martínez Tagüeña.

El autor de esta tesis recibió recursos financieros por parte de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. y el Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología para la divulgación de los resultados parciales de la investigación en un congreso nacional.



IPICYT

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Acta de Examen de Grado

El Secretario Académico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., certifica que en el Acta 086 del Libro Primero de Actas de Exámenes de Grado del Programa de Maestría en Ciencias Ambientales está asentado lo siguiente:

En la ciudad de San Luis Potosí a los 2 días del mes de junio del año 2020, se reunió a las 12:30 horas en las instalaciones del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., el Jurado integrado por:

Dra. Elisabeth Huber- Sannwald
Dra. Natalia Martínez Tagüeña
Dr. José Tuxpan Vargas

Presidenta
Secretaria
Sinodal

IPICYT
IPICYT
IPICYT

a fin de efectuar el examen, que para obtener el Grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

sustentó la C.

Erandi Monterrubio Martínez

sobre la Tesis intitulada:

Función socioecohidrológica de la biocostra en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango

que se desarrolló bajo la dirección de

Dra. Elisabeth Huber- Sannwald
Dra. Natalia Martínez Tagüeña

El Jurado, después de deliberar, determinó

APROBARLA

Dándose por terminado el acto a las 15:50 horas, procediendo a la firma del Acta los integrantes del Jurado. Dando fe el Secretario Académico del Instituto.

A petición de la interesada y para los fines que a la misma convengan, se extiende el presente documento en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, a los 2 días del mes de junio de 2020.



Mtra. Ivonne Lizetta Cuevas Vélez
Jefa del Departamento del Posgrado



Dr. Marcial Bonilla Marín
Secretario Académico



Dedicatorias

La presente tesis la dedico especialmente a las personas de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, a Don Ernesto Herrera de la Cerda y Doña Cleotilde Robledo Antúnez quienes fueron un apoyo fundamental en mi trabajo para alcanzar mis objetivos.

Al personal de CONANP y PRONATURA quienes me ayudaron a comprender una perspectiva diferente de la realidad y a quienes espero sea de utilidad el presente proyecto.

A la naturaleza, a mi país y a todas las instituciones de educación que puedan aprovechar la información aquí presente, esperando sea útil para futuras investigaciones y propuestas de manejo para un desarrollo sustentable.

A mi familia, amigos, compañeros, estudiantes y académicos esperando que sea una fuente de inspiración y motivación para superarse, y cuyos esfuerzos sean enfocados a acciones para mejorar el mundo en el que vivimos.

Agradecimientos

Quiero agradecer a las personas que hicieron posible esta tesis:

A mis codirectoras, la Doctora Elisabeth Huber-Sannwald por compartirme su conocimiento, su experiencia, por tenerme paciencia y dedicar su tiempo y esfuerzo para desarrollar el presente trabajo. A la Doctora Natalia Martínez Tagüeña por guiarme para poder incorporar el componente social y de investigación participativa en el presente trabajo.

A mi comité, el Doctor Carlos Alfonso Muñoz Robles por su paciencia, su dedicación y compromiso para apoyarme en lo que fuera necesario; el Doctor Víctor Manuel Reyes Gómez por sus consejos y observaciones para poder mejorar el trabajo; y el Doctor José Tuxpan Vargas por sus comentarios, observaciones, y sugerencias a lo largo del trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la obtención de este grado. A la División de Ciencias Ambientales (DCA), al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. (IPICYT); al Consorcio de Investigación, Innovación y Desarrollo para las Zonas Áridas (CIIDZA) y al Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología (COPOCYT) por los apoyos económicos brindados.

A los técnicos académicos de la División de Ciencias Ambientales: a la M.C. Alejandra Colunga Álvarez y al M.C. Juan Pablo Rodas Ortiz, por su atención y apoyo en el momento en que lo requiriera durante el trabajo en laboratorio.

A los pobladores locales de la Flor, por darme la oportunidad de colaborar con ellos para aprender y compartir los conocimientos del presente trabajo, con especial agradecimiento a Don Ernesto Herrera de la Cerda y Doña Cleotilde Robledo Antúnez por su hospitalidad, disposición y amabilidad.

Al la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) por permitirme trabajar dentro de la Reserva de la Biosfera de Mapimí y por su hospitalidad, apertura y disposición para trabajar de manera colaborativa. Y a PRONATURA por compartirme su conocimiento.

A Sandra Daniela Hernández Valdéz y Ricardo Ismael Mata Páez, Jorge Melquiades Hernández Martínez, Lourdes de la Torres Robles, Su Hyun Cho Lim y Maximino Bernardo Rivas Rivas por su apoyo en las salidas de campo para mediciones y simulaciones de lluvia. Un especial agradecimiento a Karen Elisabeth Nuñez Solano por su interés, disposición y apoyo en laboratorio y otros momentos del desarrollo de la tesis.

A todos los profesores de la división que compartieron sus conocimientos y escucharon mis necesidades. A mis amigos y compañeros del IPICYT, Casandra Valencia Ojeda, Hugo Alejandro Rivera Ortiz, Luis Eduardo Ríos Saldaña por su paciencia, tiempo y disposición para compartirme sus conocimientos y apoyarme cuando lo necesite en aspectos académicos y personales.

A mi esposo y mejor amigo Rubicel Trujillo Acatitla por ser mi compañía, apoyo, inspiración y motivación principal en todo momento. A mis padres, Gilberto Monterrubio Vasavilvazo y Ana María Martínez Martínez que siempre están ahí para motivarme, comprenderme, apoyarme y darme su amor con el que logro superar cada uno de los obstáculos y metas en mi vida.

A mi familia y amigos que siempre me apoyaron a lo largo de la maestría. Y por último a mis tres perros, Toby, Tiny y Maya por desvelarse y acompañarme en cada noche y minuto de mis desvelos y ser mi apoyo emocional en mis momentos de frustración.

Contenido

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE CUADROS	12
1. INTRODUCCIÓN	16
2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	24
3. HIPÓTESIS	25
4. OBJETIVOS	25
4.1. <i>OBJETIVO GENERAL</i>	25
4.2. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	26
5. MATERIALES Y MÉTODOS	26
5.1. <i>ÁREA DE ESTUDIO</i>	26
5.2. <i>RECUPERACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LOS ACTORES DE LA FUNCIONALIDAD DEL PAISAJE DE LOS Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS</i>	30
5.3. <i>SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS PARA LOS ESTUDIOS SOCIOECOHIDROLÓGICOS</i> . 31	
5.4. <i>ANÁLISIS DE LA FUNCIONALIDAD DE PAISAJE</i>	33
5.5. <i>ESTRUCTURA DE LA BIOCOSTRA EN LAS ZONAS DE DIFERENTES INTENSIDADES DE PASTOREO</i> 35	
5.6. <i>RESPUESTA ECOHIDROLÓGICA DE LA BIOCOSTRA</i>	37
5.6.1. Simulaciones de lluvia	37
5.6.2. Producción de sedimentos en simulación de lluvias	40
5.6.3. Densidad aparente y humedad del suelo	40
5.7. <i>ANÁLISIS ESTADÍSTICOS</i>	41
5.8. <i>FUNCIÓN SOCIOECOHIDROLÓGICA DE LA BIOCOSTRA</i>	43
6. RESULTADOS	44
6.1. <i>FUNCIONALIDAD DEL PAISAJE</i>	44
6.1.1. Condiciones de intensidad de pastoreo histórica y actual	44
6.1.2. <i>Funcionalidad de los componentes de suelo, biocostra, vegetación y ganado en el paisaje</i>	46
6.1.3. <i>Funcionalidad del paisaje de acuerdo al LFA</i>	51
6.1.4. <i>Índice de conocimiento local de la funcionalidad del paisaje (ICLFP)</i>	53
6.2. <i>ESTRUCTURA DE LA BIOCOSTRA</i>	54
6.2.1. <i>Cobertura total, de cianobacterias y de líquenes de biocostras por zonas y micrositios</i> ..	54

6.2.2 Riqueza de la biocostra a nivel de grupos morfológicos de cianobacterias y especies de líquenes	57
6.2.3 Microtopografía de la biocostra medida por su rugosidad	58
6.3. RESPUESTA ECOHIDROLÓGICA DE LA BIOCOSTRA.....	59
6.3.1. Características de la biocostra en los sitios de simulación de lluvia	59
6.3.2 Respuestas ecohidrológicas de las biocostras.....	60
6.4. FUNCIÓN SOCIOECOHIDROLÓGICA DE LA BIOCOSTRA	68
7. DISCUSIÓN	80
8. CONCLUSIÓN	84
9. REFERENCIAS	86
ANEXOS	91
ANEXO 1. ENTREVISTA DE LA FUNCIONALIDAD DEL PAISAJE	91
ANEXO 2. ENTREVISTA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA BIOCOSTRA.....	96
ANEXO 3. MAPA DEL ANÁLISIS DE TEXTURAS PARA IDENTIFICACIÓN DE VEREDAS DE GANADO Y DETERMINACIÓN DE INTENSIDADES DE PASTOREO	99
ANEXO 4. MAPA DE LA UBICACIÓN DE LOS TRANSECTOS DEL ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DE PAISAJE (LFA).....	100
ANEXO 5. ASPECTOS DEL ÍNDICE DE CONOCIMIENTO LOCAL DE LA FUNCIONALIDAD DEL PAISAJE..	101
ANEXO 6. MAPA DE ISOYETAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA	102
ANEXO 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	103
ANEXO 8. LISTADO DE GRUPOS MORFOLÓGICOS DE CIANOBACTERIAS Y ESPECIES DE LÍQUENES DE BIOCOSTRA.....	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Delimitación de los Ejidos y propiedades privadas de la Reserva de la Biosfera de Mapimí en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.....	27
Figura 2. Abrevaderos y potreros en el Ejido La Flor en la RBM.....	28
Figura 3. Distribución y puntos de origen de los arroyos en el potrero del Tanque del Ejido La Flor.	29
Figura 4. Zonificación del potrero El Tanque del Ejido La Flor en las tres intensidades de pastoreo (alta, media y baja) y el potrero de exclusión de ganado con nula intensidad de pastoreo al noreste.	33
Figura 5. Cuadrante para el registro de la cobertura y composición de la biocostra.	36
Figura 6. Diagrama de simulador de lluvias Cornell Sprinkle Infiltrometer creado por Ogden (1997). ...	38
Figura 7. Conocimiento de los entrevistados en el Ejido La Flor con respecto a la gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>) como especie alelopática.	46
Figura 8. Conocimiento de los entrevistados con respecto al mezquite (<i>Prosopis glandulosa</i>) como especie nodriza.	47
Figura 9. Conocimiento de los entrevistados con respecto a la distribución de la biocostra en dos tipos de vegetación de La Flor.	48
Figura 10. Conocimiento de los entrevistados con respecto a la funcionalidad del ganado en la distribución del pastizal.	49
Figura 11. Conocimiento de los entrevistados con respecto a la funcionalidad del ganado en la distribución del matorral.	49
Figura 12. Conocimiento de los entrevistados con respecto a la funcionalidad de la biocostra para la condición del suelo.	50
Figura 13. Conocimiento de los entrevistados con respecto a la función ecohidrológica de la biocostra.	51
Figura 14. Resultados del análisis de la funcionalidad del paisaje. (a) número de parches, (b) área de parche, (c) índice de área de parche, (d) promedio de longitud de interespacio, (e) índice de organización del paisaje en las cuatro zonas de diferentes intensidades de pastoreo ($P > 0.05$)	52
Figura 15. Cobertura total de biocostra en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.038$, Prueba de Tukey).....	55
Figura 16. Cobertura total de biocostra en los tres micrositios en el potrero El Tanque. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p < 0.001$, Prueba de Tukey).....	55
Figura 17. Cobertura de cianobacterias y líquenes en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.016$ y $p < 0.001$, Prueba de Tukey).....	56
Figura 18. Cobertura de cianobacterias y líquenes en los tres micrositios en el potrero El Tanque Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.016$ y $p < 0.001$, Prueba de Tukey)	56
Figura 19. Riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias y de especies de líquenes de biocostra en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo. Los diferentes	

colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.016$ y $p < 0.001$, Prueba de Tukey)	57
Figura 20. Riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias y de especies de líquenes de biocostra en los tres micrositios en el potrero El Tanque. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.016$ y $p < 0.001$, Prueba de Tukey)	58
Figura 21. Rugosidad de biocostra en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.007$, Prueba de Tukey).....	58
Figura 22. Rugosidad de biocostra en los tres micrositios en el potrero El Tanque. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.007$, Prueba de Tukey)..	59
Figura 23. Árbol de regresión de inicio de escorrentía continua. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD= Desviación estándar, N= número de observaciones.....	60
Figura 24. Árbol de regresión del promedio de escorrentía máxima. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD= Desviación estándar, N= número de observaciones.....	61
Figura 25. Árbol de regresión del minuto de escorrentía máxima. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD= Desviación estándar, N= número de observaciones.....	62
Figura 26. Árbol de regresión del promedio de escorrentía. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD= Desviación estándar, N= número de observaciones.....	63
Figura 27. Árbol de regresión de los sedimentos arrastrados. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD= Desviación estándar, N= número de observaciones.....	64
Figura 28. Árbol de regresión del contenido de humedad en el suelo. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD= Desviación estándar, N= número de observaciones.	65
Figura 29. Árbol de regresión de la profundidad de infiltración en el suelo. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD= Desviación estándar, N= número de observaciones.	66
Figura 30. Priorización de las actividades económicas por los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.	69
Figura 31. Beneficios percibidos por los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA de las actividades del ecoturismo. N= número de entrevistados por sector.	70
Figura 32. Beneficios percibidos por los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA de las actividades de conservación. N= número de entrevistados por sector.	70
Figura 33. Incremento de la cobertura de vegetación en el potrero de exclusión de ganado de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.	71
Figura 34. Incremento de erosión por ganado en el potrero de exclusión de ganado de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.	73
Figura 35. Reducción en cobertura de vegetación por ganado en el potrero de exclusión de ganado de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.....	73

Figura 36. Diferencias entre comportamiento hídrico de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.	75
Figura 37. Escorrentía favorecida por el ganado de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.	75
Figura 38. Beneficios en la vegetación por el incremento en el contenido de humedad del suelo de acuerdo a los pobladores locales. N= número de entrevistados por sector.	77
Figura 39. Diversidad de vegetación presente por el incremento en el contenido de humedad del suelo de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentaje total de parches en las zonas con diferentes intensidades de pastoreo. ($p > 0.05$).	51
Cuadro 2. Porcentaje de las identidades de parches e interespacios.	51
Cuadro 3. ICFLP y características que lo definen la funcionalidad del paisaje.	54
Cuadro 4. Coberturas de biocostra por tratamiento en tipos de cobertura e intensidades de pastoreo. Con promedio, \pm error estándar y las letras a los grupos de la prueba post hoc Tukey que son estadísticamente similares ($p > 0.05$).	59
Cuadro 5. Rugosidad, riqueza de especies de cianobacterias y líquenes de biocostra por tratamiento en tipos de cobertura e intensidades de pastoreo. Con promedio, \pm error estándar y las letras a los grupos de la prueba post hoc Tukey que son estadísticamente similares ($p > 0.05$).	60
Cuadro 6. Respuesta ecohidrológica de la biocostra por tratamiento en tipos de cobertura e intensidades de pastoreo. Con promedio, \pm error estándar y las letras a los grupos de la prueba post hoc Tukey que son estadísticamente similares ($p > 0.05$).	67
Cuadro 7. ANOVA de la cantidad de veredas de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Shapiro-Wilk= 0.02847).	103
Cuadro 8. ANOVA del número de parches de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Shapiro-Wilk=0.4497).	103
Cuadro 9. ANOVA del área total de parches de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Shapiro-Wilk=0.2472).	103
Cuadro 10. ANOVA del índice de área de parche de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Shapiro-Wilk=0.2733).	103
Cuadro 11. ANOVA del promedio de la longitud de área de interespacio de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Transformación= $\log(x)$, Shapiro- Wilk=0.02041).	103
Cuadro 12. ANOVA del índice de organización del paisaje de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Transformación= $\log(x)$, Shapiro- Wilk=0.2954).	103
Cuadro 13. ANOVA de la cobertura total de biocostra (Transformación= $x^{3.5}$, Shapiro-Wilk= 0.07534).	104
Cuadro 14. ANOVA de la cobertura de líquenes de biocostra (Shapiro-Wilk= 0.1435).	104
Cuadro 15. ANOVA del coeficiente de rugosidad de biocostra (Shapiro-Wilk=0.7881).	104
Cuadro 16. ANOVA de la riqueza de biocostra (Transformación= $\log(x)$, Shapiro-Wilk=0.9569).	106
Cuadro 17. ANOVA de la cobertura de biocostra total en las simulaciones (Transformación $X^{0.75}$, Shapiro-Wilk=0.01276).	106
Cuadro 18. ANOVA de la cobertura de biocostra clara en las simulaciones (Transformación $X^{0.75}$, Shapiro-Wilk=0.01276).	106
Cuadro 19. ANOVA de la cobertura de biocostra oscura en las simulaciones (Transformación $x^{0.75}$, Shapiro-Wilks=0.06044).	106
Cuadro 20. ANOVA del coeficiente de rugosidad de biocostra en las simulaciones (Transformación $x^{0.1}$, Shapiro-Wilks=0.2837).	107
Cuadro 21. ANOVA de la riqueza de biocostra en las simulaciones (Transformación $x^{0.85}$, Shapiro- Wilks=0.06562).	107
Cuadro 22. ANOVA del inicio de escorrentía por goteo (Shapiro-Wilk= 0.1066).	107

Cuadro 23. ANOVA de segundos de primer escorrentía (Shapiro-Wilk= 0.3209).	107
Cuadro 24. ANOVA intensidad de precipitación (Shapiro-Wilk= 0.1109).....	107
Cuadro 25. ANOVA de comienzo de escorrentía continua (Shapiro-Wilk= 0.1614).....	107
Cuadro 26. ANOVA de promedio escorrentía máxima (Shapiro-Wilk=0.247).....	108
Cuadro 27. ANOVA del minuto de escorrentía máxima (Shapiro-Wilk=0.3467).	108
Cuadro 28. ANOVA de promedio de concentración de sedimentos (Transformación=x0.1, Shapiro-Wilk= 0.05955).....	108
Cuadro 29. ANOVA de porcentaje de escorrentía (Shapiro-Wilk= 0.4298).	108
Cuadro 30. ANOVA de densidad aparente de suelo (Shapiro-Wilk= 0.8309).	108
Cuadro 31. ANOVA de profundidad de infiltración del suelo (Transformación=x0.02, Shapiro-Wilk= 0.06481).	108
Cuadro 32. ANOVA de humedad gravimétrica (Transformación=x0.3, Shapiro-Wilk= 0.07365).....	109

RESUMEN

Función socioecohidrológica de la biocostra en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango

El Ejido La Flor es un sistema socio-ecológico (SSE) ubicado en la Reserva de la Biosfera de Mapimí (RBM), donde el humano y la naturaleza co-evolucionan a través de una larga trayectoria de interrelaciones complejas que contribuyen a la estructura y multi-funcionalidad actual del paisaje. Las costras biológicas de suelo (biocostras) son comunidades bióticas funcionales abundantes en este Ejido, que colonizan áreas extensas con poca vegetación vascular. A lo largo del tiempo, los pobladores generaron un conocimiento local importante sobre la influencia del manejo de ganado en la estructura del suelo, y la cobertura y composición de la vegetación. La colaboración con el sector del gobierno vía la CONANP y con la PRONATURA permite a los pobladores participar en proyectos de restauración y conservación para salvaguardar la riqueza biótica de la RBM. Sin embargo, en estos esfuerzos para mantener un desarrollo sostenible en el sistema socio-ecológico La Flor, no se ha contemplado el análisis del papel funcional de la biocostra, en particular I) su influencia potencial en los procesos ecohidrológicos para modificar las características bióticas, físicas y químicas del suelo y II) sus funciones específicas en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos para el bienestar humano.

El presente trabajo se desarrolló a través de investigación participativa en el Ejido La Flor, para determinar la función socioecohidrológica de la biocostra vinculando el conocimiento local y científico que permitiera un entendimiento integral del SSE La Flor. A partir de entrevistas semiestructuradas y recorridos guiados con entrevistas informales en los potreros, se identificaron los intereses comunes de todos los actores tomando en cuenta el conocimiento local sobre diferentes aspectos del paisaje. Como resultado se hizo un co-diseño del estudio a lo largo de un gradiente de diferentes intensidades de pastoreo, para una evaluación participativa de la funcionalidad del paisaje en el potrero el Tanque y en una exclusión de ganado, mediante el método del análisis de la función del paisaje e integrando estos resultados con el índice de conocimiento local de la funcionalidad del paisaje.

Asimismo, se aplicaron simulaciones de lluvia para examinar el efecto de dos tipos de cobertura de biocostra (clara con cianobacterias y oscura con cianobacterias y líquenes) con diferencias en su rugosidad sobre respuestas ecohidrológicas considerando la infiltración, escorrentía máxima, retención de humedad, entre otros. Los resultados reflejaron una clara influencia del legado de pastoreo sobre la composición, y cobertura de la biocostra que se tradujeron directamente en diferentes patrones de respuestas socioecohidrológicas. En general, se encontró que el conocimiento local sobre el paisaje es fundamental para la interpretación del comportamiento de la biocostras en los procesos socioecohidrológicos. Además, la investigación participativa permitió a los pobladores reconocer I) el papel clave de la biocostra en la regulación hídrica del paisaje por promover la retención del agua en el suelo, influir en la profundidad de infiltración, modificar el porcentaje de escorrentía y reducir la erosión de los sedimentos y II) los beneficios directos e indirectos de la biocostra en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos para el bienestar humano.

Palabras clave: biocostra, funcionalidad del paisaje, funcionalidad socioecohidrológica

ABSTRACT

Socioecohydrological function of the biocostrust in the Mapimi Biosphere Reserve, Durango

The Ejido La Flor is a socio-ecological system (SSE) located in the Mapimi Biosphere Reserve (MBR), where humans and nature co-evolve through a long history of complex interrelationships that contribute to the structure and current multi-functionality of the landscape. Biological soil crusts (biocrusts) are abundant functional biotic communities in this *ejido*, which colonize large areas with little vascular vegetation. Over time, the inhabitants generated important local knowledge related to the influence of livestock management on soil structure, and cover and composition of vegetation. In collaboration with the public sector through CONANP and with the PRONATURA the inhabitants participate in restoration and conservation projects to safeguard the biotic wealth of the MBR. While these efforts are targeted towards the maintenance of sustainable development in the socio-ecological system La Flor, they have not considered the analysis of the functional role of the biocostra, in particular I) its potential influence on ecohydrological processes by modifying biotic, physical and chemical characteristics, and II) their specific functions in the provision of ecosystem goods and services for human well-being.

This study was developed through participatory research in the Ejido La Flor, to determine the socio-ecohydrological function of the biocrust, weaving local and scientific knowledge to acquire a comprehensive understanding of the SSE la Flor. Based on semi-structured interviews and guided tours with informal interviews in the paddocks, the common interests among actors were identified taking into account local knowledge about different aspects of the landscape. As a result, this study was co-designed considering a gradient of different grazing intensities, with a participatory method the functionality of the landscape was examined including the paddock El Tanque and the exclusion of livestock, using the method of the of landscape function analysis. These results were then integrated with the local knowledge index of the functionality of the landscape.

Rainfall simulations were applied to examine the effects of two types of biocrust cover (light with cyanobacteria and dark with cyanobacteria and lichens) with differences in surface roughness on ecohydrological processes considering infiltration, maximum runoff, moisture retention, among others. The results reflected a clear influence of the grazing legacy on the richness, composition, and cover of the biocrust communities that directly influence ecohydrological response patterns. In general, local knowledge on the landscape is fundamental for the interpretation of the behavior of biocrusts in ecohydrological processes. Furthermore, participatory research allowed the inhabitants to recognize I) the key role of the biocrust in the hydrologic regulation of the landscape by promoting the retention of water in the soil, influencing the depth of infiltration, modifying the runoff percentage and reducing the erosion of sediments and II) the direct and indirect benefits of the biocrust in the provision of ecosystem goods and services such as the conversation of soil and vegetation with various uses for both livestock and humans.

Key words: biocrust, landscape functionality, socioecohydrological funcionalidad

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el humano es el factor dominante que dirige las modificaciones y transformaciones en el ambiente, ya que no sólo responde ante los cambios, sino que también los causa (Kofinas & Stuart, 2009). Por ello, surge la necesidad de comprender las problemáticas ambientales, involucrando dimensiones tanto ecológicas, como culturales, sociales y económicas (Berkes & Folke, 1998). Así poder plantear estrategias que promuevan al desarrollo sostenible, concepto utilizado como principio rector de políticas públicas y definido originalmente como la “capacidad para cubrir necesidades del presente, sin comprometer las posibilidades de futuras generaciones” (Brundtland, 1987). Entre las estrategias internacionales para lograr un desarrollo sostenible está la creación de la Agenda 2030, que incluye 17 objetivos del desarrollo sostenible (ODS) que estipulan la necesidad de vincular diferentes sectores, disciplinas, conocimientos e intereses para lograr el desarrollo sostenible. El ODS 15 está orientado a proteger, restablecer y promover el uso sostenible de ecosistemas terrestres lo que incluye luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de biodiversidad. Para cumplir las metas de este ODS necesariamente se requiere vincular aspectos de propiedades físicas, biológicas y socioeconómicos dado que la desertificación y la degradación de la tierra tienen como causas interacciones complejas entre el humano y la naturaleza (Reynolds *et al.*, 2007). Las zonas áridas son de los ecosistemas terrestres que se requieren regenerar y proteger, cubren alrededor del 41% de la superficie terrestre y donde viven cerca de 40% de la población humana. Grandes extensiones de las zonas áridas se usan como agostaderos dando soporte a aproximadamente el 50% del ganado mundial, por lo que son claves las decisiones humanas sobre el manejo y uso de sus recursos naturales (Cherlet *et al.*, 2018).

El programa científico intergubernamental llamado “el Hombre y la Biosfera” creado en el año 1971 por la UNESCO fue una estrategia y esfuerzo internacional, en el que se establecieron Reservas de la Biosfera con el objetivo de instaurar una base científica para mejorar los medios de subsistencia de las personas, contribuir a la distribución equitativa de los beneficios y preservar los ecosistemas (UNESCO, 2000, 2010, 2015). Por ello, en el año 2000 se creó la Reserva de la Biosfera de Mapimí (RBM) en las zonas

áridas del Desierto Chihuahuense de México, como un refugio para flora y fauna, donde permanentemente se pudieran realizar investigaciones y estudios de monitoreo a largo plazo que integren objetivos de conservación, desarrollo y manejo del área. La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) elaboró el Programa de Conservación y Manejo de la Reserva de la Biosfera a fin de contar con un instrumento de planeación y regulación de actividades, acciones y lineamientos básicos para su manejo y administración (CONANP, 2006).

En la RBM, desde finales del siglo XIX, los pobladores de los Ejidos han tenido como principal actividad económica la ganadería extensiva para la producción de carne (Gómez & Dirzo, 1995). La reserva presenta una limitación del recurso hídrico, tanto por la escasez de eventos de precipitación, como por el alto potencial de evaporación (Noy-Meir, 1973). La vegetación está formada por el matorral desértico y el pastizal halófito, que cubren un área que varía de un 15 y hasta 60% en áreas de mogotes (Yeaton *et al.*, 1977). La distribución de las plantas vasculares está altamente espaciada, por lo que existen áreas extensas desprovistas de vegetación de dichas plantas denominadas interespacios (Belnap *et al.*, 2001; Evans & Lange, 2001; Faist *et al.*, 2017), donde las condiciones de aridez, incidencia de radiación solar y fluctuaciones de temperaturas son altamente extremas. Sin embargo, hasta un 70% de los interespacios pueden estar colonizadas por comunidades de diversos de organismos microscópicos como cianobacterias, microalgas, microhongos y bacterias; y macroscópicos como líquenes y musgos que se establecen en los primeros milímetros y centímetros de la superficie del suelo (Steven *et al.*, 2014), y junto con las partículas de suelo forman las costras biológicas de suelo, también llamadas biocostras (Belnap *et al.*, 2001; Weber *et al.*, 2016).

Las propiedades físicas, biológicas y socioeconómicas que integran la RBM tienen una interrelación continua lo que causa una cohesión indisociable entre el humano y la naturaleza (Ferreira *et al.*, 2018). La alta dinámica espaciotemporal de las lluvias conlleva cambios tanto graduales como abruptos en el funcionamiento de los ecosistemas, lo que a su vez influye también en la toma de decisión de las personas que habitan en estas zonas, y repercuten en el manejo de los agostaderos. Por ende,

existe una interacción directa e indirecta entre las personas y sus tierras en respuesta a factores externos e internos lo que genera una auto-organización, donde los componentes de un sistema adoptan un comportamiento adaptativo particularmente después de un evento de perturbación (Folke *et al.*, 2010; Folke & Gunderson, 2012). Cuando las relaciones entre los humanos y la naturaleza son las principales características que controlan la estructura, el funcionamiento y la integración de un sistema (Challenger *et al.*, 2014) se le conoce como sistema socioecológico (SSE) (Berkes & Folke, 1998; Liu *et al.*, 2007). La RBM es un SSE *sensu stricto*, donde los elementos centrales son los agostaderos, que dependiendo del manejo, la composición, riqueza de especies, estructura y cobertura vegetal rinden una alta o baja productividad de forraje e influyen en los procesos hidrológicos. Esto define la funcionalidad del paisaje, como elemento central de un SSE, cuya estructura y composición definen los flujos de energía y materia, basado en las características del suelo y vegetación que conjuntamente determinan la capacidad de conservar, usar y reciclar recursos limitados espacial y temporalmente para proveer bienes y servicios ecosistémicos (Tongway y Ludwig 1997; Tongway *et al.*, 2001).

La limitante principal en la zona de la RBM es el recurso hídrico, lo que hace de la precipitación un elemento clave en la integración de este SSE, ya que de esta dependen los flujos de energía y materia. La estrecha relación entre la vegetación y los procesos hidrológicos se estudia con la ecohidrología (D'Odorico *et al.*, 2010), donde la composición, distribución y cobertura de la vegetación influyen en la cantidad de agua que retorna a la atmósfera mediante evaporación o evapotranspiración, y la que se redistribuye horizontalmente sobre las capas superficiales del suelo (Noy-Meir, 1973; Shaxson & Barber, 2005) mediante infiltración y humedad dependiendo de la composición, distribución y cobertura de las especies de vegetación (Bellot *et al.*, 1999; Villagra *et al.*, 2013) pueden preferentemente absorber, redistribuir, almacenar o transpirar el agua (D'Odorico *et al.*, 2010). El ganado influye en estas características de la vegetación y además, provee nutrientes al suelo a través de sus heces y orina promoviendo una alta heterogeneidad de la fertilidad del suelo, lo que influye a su vez en el crecimiento de la vegetación (Borer *et al.*, 2014; Baert *et al.*, 2016). A través del forrajeo, el ganado contribuye a la dispersión de semillas, distribución, estructura y

cobertura de la vegetación; por ende el manejo de ganado y la intensidad de pastoreo influye de manera importante indirectamente en los flujos ecohidrológicos (Gross *et al.*, 2001; Hoffmann *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2017).

La biocostra es considerada como ingeniera ecosistémica, ya que son organismos colonizadores (Belnap *et al.*, 2001) que estabilizan y mejoran las condiciones fisicoquímicas del suelo y favorecen la supervivencia y el establecimiento de plántulas de distintas especies de vegetación (Su *et al.*, 2009; Thiet *et al.*, 2014; Zhang & Belnap, 2015; Zhang *et al.*, 2016) y sus funciones hídricas varían según su etapa de desarrollo y condiciones ambientales (Belnap, 2006; Xi *et al.*, 2012; Chamizo *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2012; Wei *et al.*, 2015; Xiao *et al.*, 2016) .

En la primera etapa de desarrollo se establecen las cianobacterias con un crecimiento relativamente rápido, por su autotrofia en relación a la asimilación de CO₂ y N₂ (Belnap, 2006). Se caracterizan por tener una alta capacidad de soportar condiciones extremas de sequía (Kidron *et al.*, 2012), cuya cobertura es casi continua sobre el suelo, con un grosor mínimo debido a la poca biomasa que tiene, por lo que su microtopografía o rugosidad es comparable al suelo desnudo (Williams *et al.*, 2012). Las cianobacterias pueden por un lado suavizar la superficie del suelo y en ocasiones bajo condiciones de pastoreo, favorecer la escorrentía causado por la compactación y consecuentemente la disminución del volumen de los poros del suelo (Chamizo *et al.*, 2012). Por otro lado, las cianobacterias pueden favorecer la infiltración (Castillo & Maestre, 2011) e incrementar el contenido de la humedad del suelo bajo condiciones de alta intensidad de precipitación y en ausencia de pastoreo (Rodríguez-Caballero *et al.*, 2012).

Luego de la aparición de las cianobacterias, van colonizando las algas verdes que protegen el suelo de acción erosiva, y si las condiciones lo permiten, inducen la segunda etapa de desarrollo en la que se establecen los líquenes (Belnap, 2006), que favorecen la protección del suelo de erosión hídrica y eólica (Rodríguez-Caballero *et al.*, 2012). La biocostra conformada por líquenes está compuesta de distintas especies, cuya morfología de acuerdo a la forma y cohesión de talos¹ definen la microtopografía

¹ Cuerpo vegetativo del liquen constituido por tejido fúngico que rodea células algales (Nash, 2008).

(Williams *et al.*, 2012) y con ello sus funciones ecohidrológicas. La microtopografía puede modificar el albedo, y a su vez la tasa de evapotranspiración y humedad retenida en el suelo (Xiao *et al.*, 2016). Si la cohesión es continua, el talo genera una superficie hidrofóbica que bloquea la percolación del agua por la superficie del liquen, lo que favorece la escorrentía (Chamizo *et al.*, 2016).

La tercera etapa de desarrollo de biocostra se inicia con el establecimiento del grupo de los briófitos (musgos y hepáticas) en condiciones sin disturbios, suelos con mayor humedad y alto contenido de materia orgánica (Belnap, 2006; Ram & Aaron, 2007). La biomasa y microtopografía de este tipo de biocostra es mayor (Bautista *et al.*, 2007; J. Belnap, 2006), lo cual retrasa el flujo de agua, y así incrementa la retención de la humedad e la infiltración del agua (Wei *et al.*, 2015).

La respuesta ecohidrológica de la biocostra puede ser muy variada, por ello se plantea la pregunta ¿Qué papel funcional juegan las biocostras en este SSE? Ya que aparte de su función clave en procesos ecohidrológicos anteriormente descrita, las biocostras también regulan de manera indirecta la disponibilidad del agua para la vegetación vascular (Rodríguez *et al.*, 2017), ya que contribuyen a la redistribución horizontal y vertical del recurso del agua y estabilizan el suelo al modificar su estructura, porosidad y microtopografía (Wei *et al.*, 2015; Felde *et al.*, 2014; Belnap & Büdel, 2016) y al protegerlo de la erosión eólica e hídrica (Mazor *et al.* 1996; Wei *et al.*, 2015; Faist *et al.*, 2017; Rosentreter *et al.*, 2007; Weber *et al.*, 2016).

La contribución de la biocostra en la redistribución horizontal del agua superficial y en el subsuelo es importante, ya que las áreas cubiertas por biocostras sirven como sumidero o fuente de agua, mientras que las bandas de vegetación (mogote) típicas en las zonas áridas como en la RBM son sumideros de agua. Así, la recepción del agua en los parches de vegetación promueve la producción de forraje para la ganadería, siendo de gran importancia al ser la actividad económica principal en la RBM. Con ello, se puede postular que, en los agostaderos de la RBM, las grandes extensiones de la biocostra transforman múltiples funciones ecológicas en servicios y bienes para el bienestar de los pobladores en el momento de vincular las propiedades físicas y biológicas con los factores socioeconómicos. De esta manera, se afirma que las

biocostras tienen importantes funciones socioecohidrológicas que proveen un bienestar humano. En particular propician la protección del suelo y la reducción de erosión hídrica (Rodríguez *et al.*, 2017) con lo que proveen directa e indirectamente servicios ecosistémicos de soporte al contribuir con procesos de formación del suelo, ciclos biogeoquímicos, producción primaria y procesos ecohidrológicos. También proveen servicios de regulación al proveer funciones de control de erosión y distribución hidrológica. En ocasiones, pueden llegar a crearse microclimas que permiten un posterior establecimiento de la vegetación. En este sentido, las biocostras proveen servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, dado que la vegetación puede tener distintos usos como forraje o alimento. Además pueden proveer servicios culturales al mantener la estética del paisaje, como espacios potenciales de recreación y que les da una identidad cultural a los pobladores locales ((Rodríguez *et al.*, 2017) Costanza *et al.*, 1997; Rodríguez *et al.*, 2017). Aunado al posible aprovechamiento de la biocostra para talleres de educación ambiental en actividades de ecoturismo que podrían favorecer la colaboración y co-generación de conocimiento.

La capacidad de un SSE para proveer servicios ecosistémicos de manera continua depende de su integridad y resiliencia ante presiones de factores externos e internos. En un escenario ideal, la naturaleza se beneficia de la sociedad por el manejo adecuado de los recursos naturales, las acciones de conservación y la restauración de los ecosistemas (Chicharo *et al.*, 2015). Sin embargo, existen factores que pueden provocar algunos cambios en variables clave, por ejemplo, en la cobertura continua de biocostra, lo que lleva al sistema a un umbral con otro régimen que estará caracterizado por un grupo distinto de bienes y servicios ecosistémicos. De esta manera, el modo de vida de los habitantes en una zona dependerá directamente de los servicios ecosistémicos particulares que provea el SSE (Folke *et al.*, 2010; Huber-Sannwald *et al.*, 2012). Una alta carga de ganado y/o el uso prolongado de un agostadero en combinación con sequías prolongadas causa la pérdida de cobertura vegetal y biocostra (William *et al.*, 2008; Belnap & Eldridge, 2001), lo que podría poner al SSE al límite de su potencial de auto-recuperación tanto biológica como económicamente (Grainger, 2015). Como consecuencia los agostaderos dejan de ser sistemas productivos resilientes principalmente porque han perdido su función socioecohidrológica (Cherlet *et al.*, 2018).

En los SSE de las zonas áridas, donde los procesos hídricos son fundamentales para el mantenimiento de su integridad, el enfoque para estudiarlos ha evolucionado de la ecohidrología, que estudia la relación entre procesos hídricos y bióticos (Zalewski *et al.*, 1997) a la sociohidrología, que reconoce la influencia humana en procesos hidrológicos, con el objetivo de comprender las dinámicas de los componentes sociales e hidrológicos del sistema (Sivapalan *et al.*, 2012). Por último, se ha definido la socioecohidrología, que integra al componente natural y humano para entender como en conjunto influyen en los procesos hídricos (Hale *et al.*, 2015). Este enfoque no ha sido ampliamente abordado, a pesar de reconocer la importancia de la influencia humana, por actividades como la ganadería, sobre aspectos ecológicos como el grupo funcional de la biocostra.

La mayoría de los estudios se han enfocado en el efecto de la intensidad de pastoreo sobre la composición, microtopografía, biomasa y cobertura de la biocostra, y su respuesta hidrológica (Belnap *et al.*, 2001; Warren & Eldridge, 2003; Belnap *et al.*, 2005), sin abordar las implicaciones de estas interacciones en los servicios ecosistémicos con pocas excepciones (Eldridge *et al.*, 2017).

En la presente investigación, la Reserva de la Biósfera de Mapimí (RBM) es un caso de estudio ideal para examinar el papel de la biocostra en procesos socio-ecohidrológicos, considerando los elementos físicos, biológicos, socio-culturales y socio-económicos del SSE. El desarrollo histórico de la RBM comenzó en 1880 con la creación de dos haciendas ganaderas para cría de ganado bovino y equino (Valencia *et al.*, 2004) que se desintegraron en el siglo XX para reorganizar la tenencia de tierra en 4 propiedades privadas y 11 Ejidos (Barra & Hernández, 1992). El presente trabajo se realizó en el Ejido La Flor, decretado en 1979 donde la actividad ganadera se había convertido en un legado cultural que logró crear valores, memorias y expectativas que conformaron y fortalecieron la identidad cultural de sus habitantes (Kottak, 2015).

El ganado durante la época de lluvias se dejaba libre para que pudiera pastorear y utilizar los abrevaderos, mientras que en la época de secas se conglomeraba en pequeños potreros cercanos a cuerpos de agua semipermanentes (Reyes, 1998). En los años 80's el Ejido La Flor llegó a tener un aproximado de 500 cabezas de ganado (Barral *et al.*, 1998), lo que provocó una disminución en la cobertura vegetal y un incrementó de

erosión ocasionado por el pisoteo. Esta situación fue general en la RBM y provocó que aproximadamente un 60% de los suelos tuviera algún grado de degradación (Ramírez-Carballo *et al.*, 2005) donde antes eran áreas de alimentación para el ganado, lo que ocasionó una escasez de forraje que conllevó a la pérdida de un gran número de cabezas de ganado. Dicha situación generó que comenzará a realizarse una planificación del manejo de ganado como iniciativa propia de los pobladores, por lo que en 1985, se creó el primero potrero y abrevadero para el ganado. Un año después se disminuyó la cantidad de cabezas de ganado hasta un máximo de 100 en un área de 1200 hectáreas (Barral *et al.*, 1998) y se comenzó a medir la capacidad de carga ganadera a través de la disponibilidad de forraje, la disposición de agua y la ubicación del abrevadero.

Posteriormente, con la aparición de la Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas (CONANP) en 2004 en la RBM, se comenzaron colaboraciones con los pobladores vía educación ambiental para fomentar la conservación e implementar programas de desarrollo sustentable (CONANP, 2018; Kaus, 1992). De los esfuerzos realizados se lograron implementar estrategias para la conservación de especies en peligro de extinción como la tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*), además de establecer un centro ecoturístico como actividad económica alternativa para regular el turismo que había comenzado a desarrollarse desde 1970 con la caída del cohete Athena lo que dio origen a la “Zona del Silencio” (Gómez & Dirzo, 1995; García *et al.*, 2006; CONANP, 2006, 2011).

Desde 2017, se implementaron investigaciones participativas en algunas áreas de la RBM, basadas en colaboraciones entre la academia, instituciones de gobierno, asociaciones no gubernamentales y la sociedad (Mata, 2019; López, 2019; Martínez-Tagüeña *et al.*, 2020). Dichos proyectos han logrado coproducir conocimiento mediante procesos de enseñanza-aprendizaje no formal (Gross & Stren, 2001; Toledo, 2014). De esta manera, se integra el conocimiento de las dinámicas temporales y espaciales que han ocurrido en el sistema socioecológico, lo que hace más fácil reconocer el legado de los acontecimientos y comprender el motivo de su auto-organización en el presente (Cornwall & Jewkes, 1995; Ernst, 2019).

La coordinación colectiva de esfuerzos es útil para definir y alcanzar metas planteadas con respecto a la interacción humano-naturaleza (Triglia, 2003; Farinós, 2011; Young *et al.*, 2006) dirigidos a los diversos beneficios que aseguren el bienestar humano cuidando los servicios ecosistémicos que proveen los componentes del sistema socioecológico (Rodríguez-Caballero *et al.*, 2017). Además es una oportunidad para reconocer cómo las decisiones que se han tomado por parte de los pobladores locales, CONANP y PRONATURA han dirigido los procesos centrales de cambio a través del manejo de la tierra, los planes de manejo y los programas de conservación (Balcazar, 2003; Fals-Borda & Rahman-Anisur, 1991).

Actualmente se está trabajando con un grupo interdisciplinario e interinstitucional (IPICYT, INECOL, CIIDZA) en las áreas de ecología, antropología, geografía e hidrología para plantear proyectos de investigación participativa de temas socioambientales basados en las necesidades e intereses que los actores del SSE de la RBM han expresado, lo que posteriormente permite desarrollar una metodología integrada para entrelazar los diferentes sistemas de conocimiento para evaluar proyectos de restauración, establecer líneas base sobre la salud de los agostaderos, medir la calidad y cantidad de agua, tecnificar proyectos productivos y de desarrollo, entre otros (Martínez-Tagüeña *et al.*, 2020). Una de las necesidades primordiales identificadas requiere el análisis de la cantidad y la calidad de agua para uso humano y animal, dado que es el principal recurso limitante al ser una zona árida. Mientras que la biocostra, es un elemento que abunda en la RBM y cuyo papel socioecohidrológico en el funcionamiento del SSE se desconoce. Por ello, el presente estudio pretende aportar al conocimiento sobre si su composición, microtopografía, grosor, biomasa y cobertura se modifican dependiendo de la intensidad de pastoreo, lo que a su vez altera su respuesta hidrológica y por ende los servicios ecosistémicos que provee.

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

2.1 ¿Qué conocimiento tienen los diferentes actores del Ejido La Flor en la Reserva de la Biósfera de Mapimí, del gobierno (CONANP) y de una asociación civil (PRONATURA)

sobre la importancia de la vegetación, suelo, biocostra y actividad ganadera en la funcionalidad del paisaje dentro del sistema socioecológico de La Flor?

2.2 ¿Cómo influye la actividad ganadera histórica en la funcionalidad del paisaje del Ejido La Flor aplicando el marco del análisis de la función del paisaje y cómo se compara con el conocimiento de los distintos actores?

2.3 ¿Cuál es la función socioecohidrológica de la biocostra en el Ejido La Flor dentro de la Reserva de la Biosfera de Mapimí?

2.3.1 ¿Qué conocimiento tienen los diferentes actores con respecto a la biocostra y la actividad ganadera en la funcionalidad socioecohidrológica dentro del sistema socioecológico de La Flor?

2.3.2 ¿Qué influencia tienen los legados de uso y manejo de los potreros en La Flor sobre la cobertura, riqueza, composición y rugosidad de la biocostra y consecuentemente en los procesos ecohidrológicos?

2.3.3 ¿Cómo influye el manejo del ganado en los servicios ecosistémicos relacionados a la función socioecohidrológica de la biocostra?

3. HIPÓTESIS

Dentro de un potrero, la cobertura, la riqueza de especies y el desarrollo de la biocostra se reducirá en sitios con una menor distancia del abrevadero por el aumento en los efectos de pisoteo, lo que favorecerá la escorrentía y la erosión del suelo, en comparación con sitios más alejados, de menor intensidad de pastoreo y con exclusión de ganado, con efectos directos e indirectos en los beneficios socioeconómicos implicados al crear condiciones que promuevan los servicios ecosistémicos de soporte, regulación, aprovisionamiento y culturales de los agostaderos.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la función socioecohidrológica de la biocostra de manera participativa en el Ejido La Flor dentro de la Reserva de la Biosfera de Mapimí para co-generar un conocimiento integrado de los servicios ecosistémicos que proveen un beneficio humano.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el conocimiento de los diferentes actores (pobladores, CONANP, PRONATURA) sobre el papel de los componentes de vegetación, suelo, biocostra, ganado en la funcionalidad del paisaje e integrarlo con el conocimiento científico.
- Realizar una caracterización participativa de las condiciones actuales e históricas de las zonas con intensidades de pastoreo contrastantes para seleccionar colectivamente las zonas de muestreo.
- Caracterizar la cobertura y composición de la vegetación y de la biocostra considerando distintos micrositios asociados a las especies vegetales representativas y en interespacios en las zonas con distintas intensidades de pastoreo.
- Examinar de manera participativa la respuesta ecohidrológica de la biocostra en zonas con distintas intensidades de pastoreo considerando la ausencia y las diferentes composiciones de la biocostra (biocostra clara y oscura).
- Examinar los servicios ecosistémicos de la biocostra en función de su respuesta ecohidrológica en las zonas con diferentes intensidades de pastoreo, para proponer la función socioecohidrológica como propiedad emergente del Ejido La Flor.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva de la Biosfera Mapimí está localizada en el desierto Chihuahuense y forma parte del Bolsón de Mapimí que se caracteriza por un drenaje cerrado de pequeñas cuencas con una altitud promedio de 1,150 m s.n.m. El relieve es continuo, con una pendiente menor a 8% y las planicies con pendientes inferiores al 1% en la parte centro, sur y oeste de la RBM (CONANP, 2006). El clima según la clasificación de Köppen, adaptada para México por García (1973), corresponde al tipo muy árido, semicálido, con lluvias de verano y amplitud térmica extremosa (BWhw). La precipitación media anual durante los últimos 30 años ha sido de 263 mm, máxima de 512 mm y mínima de 80 mm; las precipitaciones de junio a septiembre representan el 71% y el promedio anual de días de lluvia es de 40. La temperatura media anual es de 20.8°C tiene una amplia variación estacional, en época de invierno la temperatura media es de 11.6°C con

mínima de 3.9°C en enero; y en época de verano la temperatura media es de 27.9°C con máxima de 37.41°C en junio (Cornet, 1988; SMN, 2010).

La Reserva de la Biosfera de Mapimí con aproximadamente 342,387 ha y 400 habitantes, está conformada por 11 Ejidos (Laguna de las Palomas, La Soledad, Colonia Ganadera Constitución, El Cedral, Santa María Mohovano, Nuevo Huitrón, Vicente Guerrero, San Ignacio de Yermo, San José de los Álamos, La Flor, Tlahualilo) y cuatro propiedades privadas (Rancho Loma Alta, Rancho San Ignacio, Rancho Guadalupe, Rancho San Felipe) (**Fig. 1**) los cuales se distribuyen en los municipios de Mapimí y Tlahualilo del estado de Durango; Jiménez de Chihuahua; Francisco I. Madero y Sierra Mojada de Coahuila(DOF, 2006; INEGI, 2000).

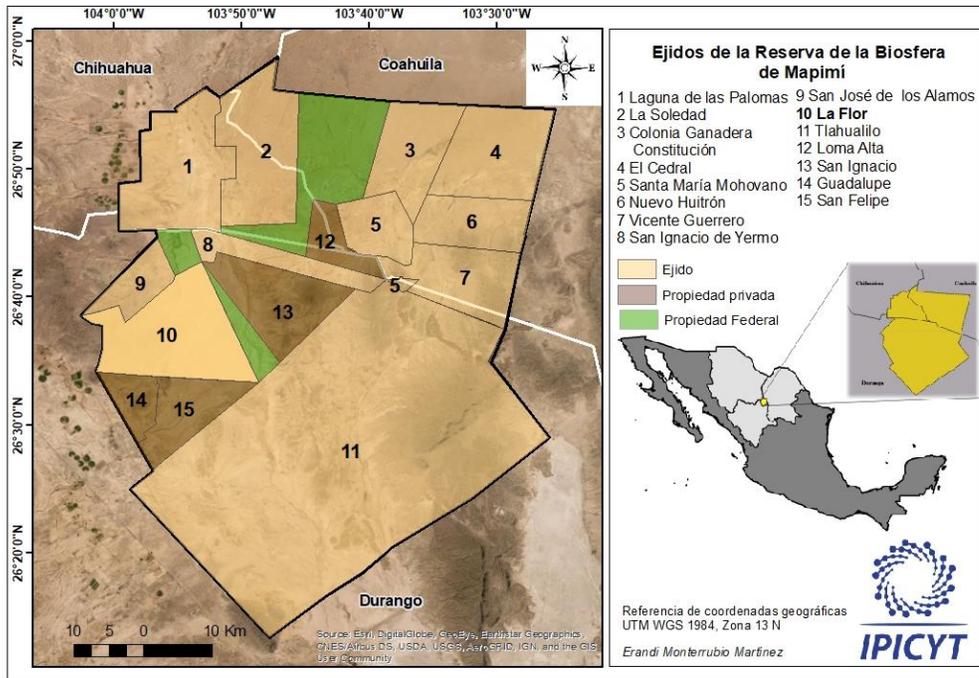


Figura 1. Delimitación de los Ejidos y propiedades privadas de la Reserva de la Biosfera de Mapimí en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.

En el Ejido La Flor hay una población de 9 personas, 3 mujeres y 6 hombres, se localiza a 20 km del pueblo de Ceballos, con 3,730 habitantes, en el municipio de Mapimí del estado de Durango con un área de 23,000 ha y topografía plana (INEGI, 2000).

En la RBM la ganadería ha sido la principal actividad económica desde el siglo XIX, aunque a principios del siglo XXI en el Ejido La Flor se comenzaron a desarrollar otras actividades como ecoturismo y acciones de conservación en conjunto con CONANP y PRONATURA. El Ejido fue subdividido en dos partes, con un ejidatario a cargo en cada

subdivisión; la parte sur en donde se llevó acabo el estudio, tiene 6 potreros con 5 abrevaderos distribuidos y dos exclusiones para la conservación de la tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*), una creada en el 2009 (de 60 ha) y otra creada en el 2017 (de 240 ha) (**Fig. 2**).

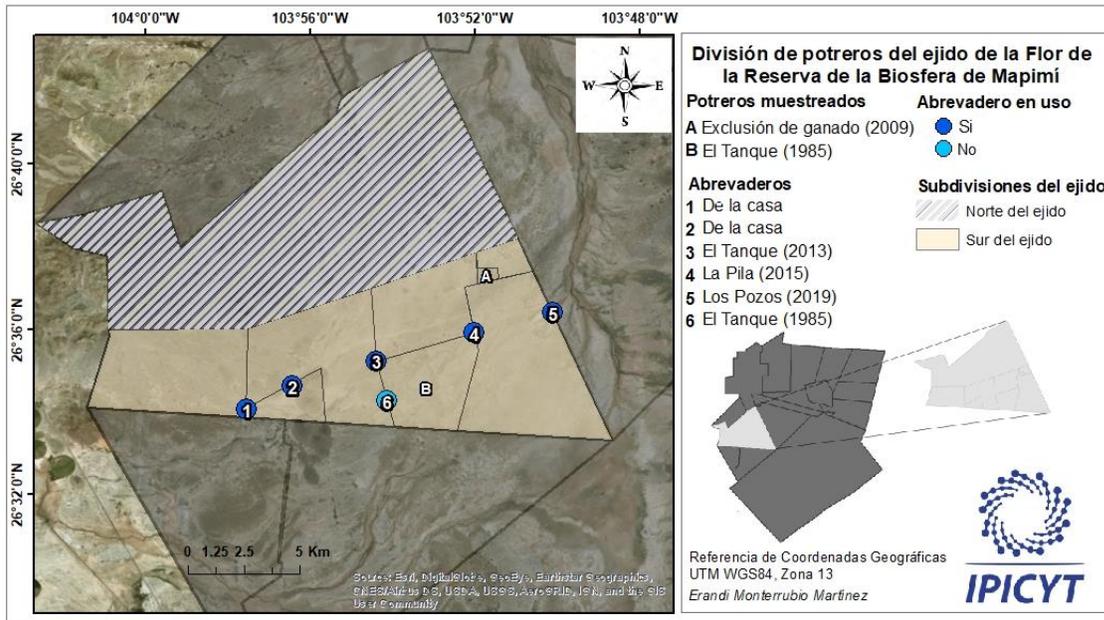


Figura 2. Abrevaderos y potreros en el Ejido La Flor en la RBM.

La vegetación presente en el Ejido La Flor se caracteriza por tener pastizal, que es de suma importancia por ser forraje, las especies que predominan son el zacate loboso (*Pluraphis mutica*) y el zacatón (*Sporobolus airoides*). Su cobertura ha ido disminuyendo a lo largo de los años a raíz del sobrepastoreo y megasequías, lo que ha provocado la invasión de especies de matorral en áreas de pastizal, especialmente de gobernadora (*Larrea tridentata*) (Morello y Camberos, 1979). El matorral xerófilo es otro tipo de vegetación característico de la zona con composición de vegetación xerófila donde la especie dominante es la gobernadora (*Larrea tridentata*) seguida del mezquite (*Prosopis glandulosa*), arbustos de 50 a 200 cm de altura (González, 2004; Rzedowski & Rzedowski, 2005).

Se distinguen 3 tipos de suelo en el Ejido La Flor el yermosol luvico (53.7% de cobertura), regosol calcárico (35% de cobertura) y xerosol haplico (11.3% de cobertura) y los cuales se caracterizan por ser claros, tener altas concentraciones de sales y acumulación de minerales arcillosos como carbonatos y sulfatos, con una superficie

1998) y su relación con la vegetación (Janeau *et al.*, 2004; Reyes-Gómez, 2004), y bajo el efecto de diferentes intensidades de pastoreo (Mata, 2019), dada su importancia en la degradación del suelo que existe en grandes partes de la RBM (Ramírez-Carballo *et al.*, 2011). La relación hidrológica y ecohidrológica considerando la biocostra, no se ha estudiado previamente, sin embargo, se ha descrito que se activa su función fotosintética al humedecerse y su rugosidad confiere una mayor capacidad de infiltración al suelo (Reyes-Gómez, 1998).

5.2. RECUPERACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LOS ACTORES DE LA FUNCIONALIDAD DEL PAISAJE DE LOS Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Se aplicaron dos entrevistas semiestructuradas a 16 personas, 6 hombres y 1 mujer del personal de CONANP, 5 hombres y 2 mujeres de los pobladores del Ejido La Flor y 2 hombres miembros de PRONATURA cuyas edades varían entre 24 y 63 años. La entrevista sobre la funcionalidad el paisaje, se aplicó en septiembre del 2018, con el objetivo de identificar los intereses de cada uno de los actores y obtener el conocimiento local sobre los componentes y aspectos de importancia para describir la funcionalidad del paisaje (**Anexo 1**). Esta información se utilizó como base para definir, caracterizar y evaluar de manera participativa la funcionalidad del paisaje en las zonas con distintas intensidades de pastoreo mediante un índice de conocimiento local modificado de Mata (2019).

La entrevista de servicios ecosistémicos que la biocostra proporciona se aplicó en abril del 2019 a los mismos entrevistados descritos anteriormente, con el objetivo de identificar los beneficios para el humano, ganado y conservación, que se obtienen de los componentes de vegetación, biocostra, ganado y manejo de potrero de acuerdo a los distintos actores (**Anexo 2**). Esta información fue utilizada para describir la funcionalidad del paisaje, identificando los beneficios obtenidos de manera directa e indirecta de los componentes de vegetación, suelo, ganado y biocostra, lo que se tradujo en servicios ecosistémicos de soporte, regulación, aprovisionamiento y cultural para el sistema socioecohidrológico.

5.3. SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS PARA LOS ESTUDIOS SOCIOECOHIDROLÓGICOS

En diciembre de 2018, se realizó una visita guiada en los potreros del Ejido La Flor en compañía de una mujer y un hombre, ambos pobladores del Ejido La Flor. El objetivo fue realizar un reconocimiento de la zona e identificar potenciales sitios de estudio, que permitieran incorporar los intereses de los actores que se mencionaron en la primera entrevista y así poder trabajar de manera participativa con los pobladores locales y con miembros de CONANP. Se seleccionó el área del primer potrero creado en La Flor, llamado “El Tanque” y la exclusión de ganado para la conservación de la tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*) creada en el 2009, para poder examinar los efectos de la intensidad de pastoreo en la funcionalidad del paisaje y en la función socioecohidrológica de la biocostra.

Posteriormente, en abril del 2019 se realizó un recorrido guiado en el potrero “El Tanque” y en la exclusión de ganado del 2009 en compañía de una mujer y un hombre, ambos pobladores del Ejido La Flor para delimitar los límites de las zonas con diferentes intensidades de pastoreo y hacer una evaluación participativa de la funcionalidad del paisaje. A lo largo del recorrido se realizaron preguntas abiertas de manera informal relacionadas con la información previamente obtenida en la primera entrevista, acerca de la importancia de las características de suelo, biocostra y vegetación para la funcionalidad del paisaje en cada una de las zonas de intensidades de pastoreo. Para las características del suelo y biocostra se consideró la presencia de barreales o biocostra, y comportamiento hídrico en los interespacios; y para la vegetación se consideraron características de altura, verdor, riqueza de especies, cobertura, usos, así como presencia de especies anual, deseables y no deseables.

Los pobladores explicaron los cambios que han ocurrido a lo largo de los años en las zonas en cuanto a la disminución e incremento de cobertura de vegetación, erosión, compactación y recuperación del suelo y cambios en flujos hídricos. También describieron la función hídrica de las zonas (si promueven el escurrimiento, infiltración y retención de humedad) y aspectos de la ganadería (disminución e incremento de la

intensidad de pastoreo y comportamiento del ganado para buscar recursos de alimento y agua en las diferentes épocas del año).

Asimismo, explicaron los motivos y las consecuencias que ha tenido la reducción de cabezas de ganado, la creación y ubicación de abrevaderos, la creación de potreros para el manejo de ganado y con fines de conservación, y los programas de monitoreo de vegetación por parte de la CONANP. Igualmente se habló sobre la toma de decisiones para desviar los flujos hídricos del arroyo de la India con el interés de promover inundaciones en áreas de interés, y su impacto en la cobertura vegetal, en la biocostra y en el pastoreo.

La información obtenida en los recorridos en campo y en las entrevistas informales permitió definir cuatro zonas nombradas según su condición de pastoreo actual, y delimitadas por la distancia al abrevadero (cada 1.5 km) y la cantidad de veredas de ganado (Ramírez-Carballo, 2008; Mata, 2019). El potrero de la exclusión de ganado se describió como intensidad de pastoreo nula, mientras que en el potrero el Tanque se describieron las zonas de baja, media y alta intensidad de pastoreo (**Fig. 4**).

La información histórica y actual del manejo del potrero y de la zona de exclusión de ganado se tomó como base para medir las intensidades de pastoreo de forma cualitativa. Para rectificar y reconocer los umbrales de transición entre los tres grados de intensidad de pastoreo actual a lo largo del potrero el Tanque de forma cuantitativa, se utilizaron los 24 transectos de la funcionalidad del paisaje para contabilizar el número de veredas de ganado en cada uno de los transectos establecidos para el análisis de funcionalidad de paisaje (Ramírez-Carballo *et al.*, 2011). Asimismo, a nivel potrero se determinó el número y orientación de las veredas de ganado haciendo uso de imágenes satelitales Sentinel 2A del año 2018 con resolución espacial de 10 m, a las cuales se les realizó un análisis de textura con una de las bandas pancromáticas para resaltar los valores en la imagen que representan las veredas de ganado. Esto se realizó aplicando filtros de paso alto y bajo utilizando el software de ENVI 5.5 lo que permite mejorar la visualización de las veredas de ganado para contabilizar y observar su distribución (**Anexo 3**) (Raimondi *et al.*, 1997).

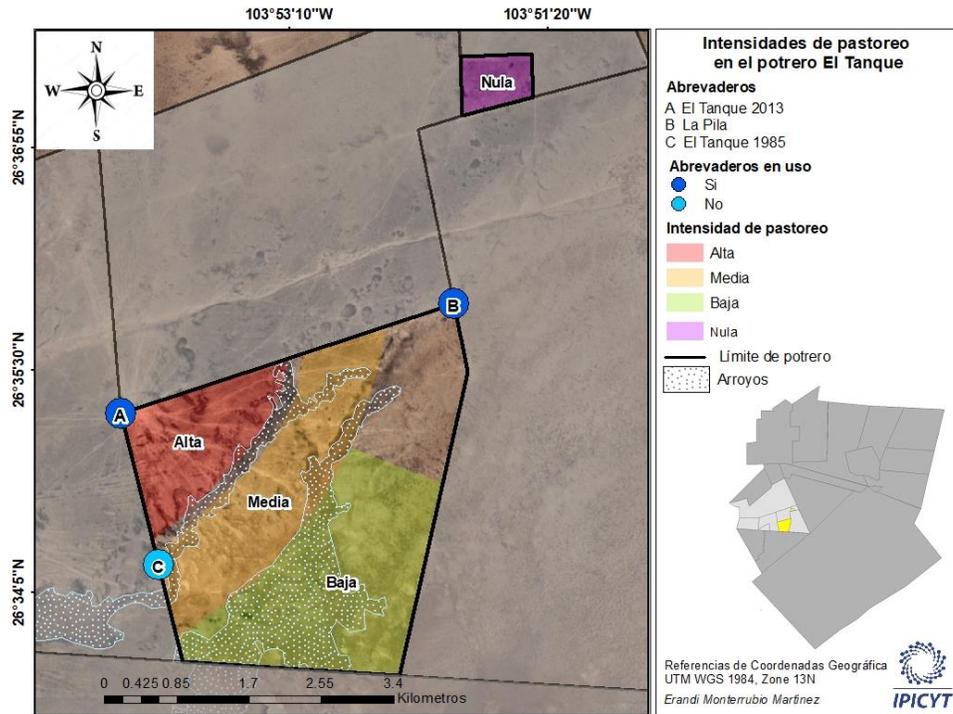


Figura 4. Zonificación del potrero El Tanque del Ejido La Flor en las tres intensidades de pastoreo (alta, media y baja) y el potrero de exclusión de ganado con nula intensidad de pastoreo al noreste.

5.4. ANÁLISIS DE LA FUNCIONALIDAD DE PAISAJE

Conocimiento científico

La funcionalidad del paisaje se determinó mediante conocimiento científico y métodos para la obtención de conocimiento local. El método científico consistió en realizar un análisis de la funcionalidad del paisaje (LFA por sus siglas en inglés) que utiliza datos de la distribución espacial de parches e interespacio para comprender el comportamiento hidrológico de cada zona de intensidad de pastoreo. Los parches son sumideros de recursos, que se conforman por diferentes especies de vegetación perenne arbustiva o pastizal, cuya forma (ancho y longitud) obstruye o desvía el flujo lateral superficial del agua; mientras que los interespacios son fuentes que se distinguieron por suelo desnudo y biocostra donde el recurso del agua es transportado libremente (Tongway & Hindley, 2004).

En primera instancia, se identificaron áreas representativas dentro de cada intensidad de pastoreo, para posteriormente instalar un total de 24 transectos, 6 transectos de 30 m de largo por zona de intensidad de pastoreo con una distancia mínima de 150 m entre transectos (**Anexo 4**). En total, se instalaron 24 transectos con orientación perpendicular

a la pendiente y en cada transecto se midieron las características de parche e interespacio (tipo, longitud y ancho) para después calcular el número de parches por cada 10 metros, el área total de parches (m²), la longitud media de los interespacios (m), el índice de área de parches (PAI por sus siglas en inglés) y el índice de organización del paisaje (LOI por sus siglas en inglés). En conjunto, estas variables describen la forma en cómo el agua es redistribuida horizontalmente en el paisaje y se calculan de la siguiente forma:

$$PAI = \frac{\text{Área total de parches}}{\text{Área máxima de parches (longitud de transecto} \times 10)}$$

$$LOI = \frac{\text{Longitud de parche}}{\text{Longitud de transecto}}$$

Para cada transecto se calculó también el porcentaje de cobertura de distintos tipos de parche: gobernadora (*Larrea tridentata*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), palo rojo (*Forestiera angustifolia*), zacate de agua (*Sporobolus airoides*) y hormiguero; e interespacios: suelo desnudo y biocostra.

Conocimiento local

Estos resultados se integraron con el conocimiento local por medio de la generación de un índice de funcionalidad del paisaje por medio de una evaluación participativa realizada en abril del 2019. Previamente en otro ejido de la RBM, Mata (2019) diseñó un índice de conocimiento local para la funcionalidad del paisaje, su método en la presente investigación se adaptó a las condiciones locales del Ejido La Flor y se modificó con base a un enfoque de ecohidrología. Para ello, se consideraron variables de suelo, vegetación, hidrología, y biocostras a las que se le asignó un valor positivo (1) o negativo (-1) en cada zona de intensidad de pastoreo según el criterio de los pobladores (**Anexo 5**). Posteriormente, estas variables se integraron en cinco subíndices (condición de suelo, presencia de especies, características de vegetación, condición hídrica, y usos de la vegetación) y a cada uno se le determinó su valor con una proporción que se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Subíndice} = \frac{\sum \text{Proporciones de variables a considerar}}{\sum \text{número de variables a considerar}}$$

El subíndice de condición de suelo consideró la presencia de barreales y biocostra; el subíndice de presencia de especies de vegetación consideró la presencia de especies anuales, perennes, deseables y no deseables, y la riqueza de especies de vegetación. El subíndice de características de la vegetación consideró la presencia de mogotes, la altura, el verdor y la cobertura de vegetación. El subíndice de condición hídrica consideró si la zona tenía inundaciones temporales o era de escurrimiento; y el subíndice del valor de uso consideró la cantidad de usos que existen por la riqueza de especies y por la redundancia de especies para mantener los usos ganaderos, ecológicos y humanos en el caso del potrero del Tanque, y ecológicos y humanos para el potrero de exclusión de ganado.

Posteriormente, estos subíndices fueron integrados en un índice de conocimiento local de la funcionalidad del paisaje, con una proporción calculada a través de la sumatoria de los valores calculados de cada subíndice entre 13 (número de variables que se consideraron), cuyos valores varían de 0 a 1, donde el 1 es la funcionalidad idónea del paisaje, ya que tiene todas las posibles funciones y 0 indica que no hay funcionalidad del paisaje. La fórmula para calcularlo es la siguiente:

$$ILFP = \frac{CS + PSpp + CV + CH + U}{13}$$

Donde

ICLFP = Índice de conocimiento local de la funcionalidad del paisaje
 CS = Valor de la condición de suelo
 PSpp = Valor por presencia de especies
 CV = Valor de las características de vegetación
 CH = Valor de la condición hídrica
 U = Valor por el uso de vegetación

5.5. ESTRUCTURA DE LA BIOCOSTRA EN LAS ZONAS DE DIFERENTES INTENSIDADES DE PASTOREO

Para conocer la composición de las biocostras, y riqueza de especies y grupos morfológicos en las diferentes zonas de intensidad de pastoreo, en el mes de septiembre y diciembre del 2018, se colectaron muestras de biocostra clara (dominada por cianobacterias) y oscura (con cianobacterias y dominada por líquenes) con ayuda de una espátula, se almacenaron y etiquetaron en cajas Petri (8 cm de diámetro x 1 cm

de altura) para su transporte. Posteriormente se hizo una identificación a nivel especie de líquenes y a nivel de grupos morfológicos de cianobacterias en el Laboratorio de Ecología y Cambio Global de la División de Ciencias Ambientales en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica con ayuda de las claves taxonómicas de Nash (2002, 2004, 2008) y Brodo *et al.* (2001).

En el mes de marzo de 2019 se caracterizó la estructura de la biocostra considerando la riqueza de los taxa, la composición, la cobertura de los diferentes componentes de biocostra (clara y oscura) y la rugosidad considerando las cuatro zonas de intensidad de pastoreo (nula, baja, media y alta) y tres distintos microsítios (interespacio, bajo dosel de arbusto dominante y a un lado del camino de ganado) con 15 réplicas para cada tipo de microsítios en cada zona, dando un total de 165 microsítios muestreados.

Se determinó la composición y porcentaje de cobertura de los distintos componentes de la biocostra mediante el método de punto intercepción que consiste en colocar un cuadrante de 25 x 25 cm con cuadrículas de 5 x 5 cm en cada uno de los 165 microsítios. Posteriormente se procedió a colocar una verticalmente un pin en cada una de las 16 intersecciones del cuadrante (**Fig. 5** círculos verdes) y registrar los grupos morfológicos de cianobacterias y especies de líquenes de la biocostra que tocó dicho pin (Maestre, 2017). En total se realizaron (4 zonas x 3 microsítios x 15 réplicas x 16 puntos) 2880 lecturas.

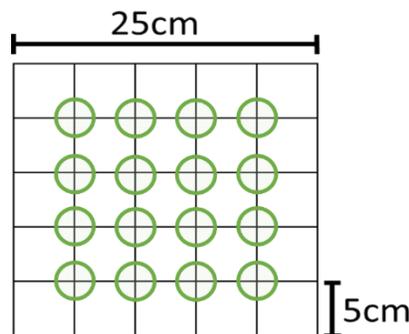


Figura 5. Cuadrante para el registro de la cobertura y composición de la biocostra.

Después se determinó la composición de la biocostra oscura (con cianobacterias y dominada por líquenes) y biocostra clara (dominada por cianobacterias). La composición de la biocostra se identificó a nivel de especie en el caso de los líquenes y por grupos morfológicos para las cianobacterias. Luego se calculó el porcentaje de

cobertura total de biocostra, de biocostra clara y biocostra oscura con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{r}{T} \times 100$$

donde

C = cobertura (%)

r = número total de registros de cada tipo de biocostra

T = Total de registros tomados por cuadrante (25x25cm)

En cuanto a la microtopografía se determinó la rugosidad de la superficie de suelo cubierta por biocostras en cada cuadrante medido (4 zonas x 3 micrositios x 15 réplicas) utilizando el método de la cadena, el cual se basa en colocar una cadena fina de una longitud determinada (en este caso 41 cm) sobre la superficie del suelo y medir la distancia lineal sobre el suelo entre el punto de inicio y final de la cadena para después poder calcular el coeficiente de rugosidad mediante la siguiente fórmula (Saleh, 1993):

$$R = \left(\frac{1 - L_2}{L_1} \right) * 100$$

donde

R=Coeficiente de rugosidad

L₁ = Longitud de la distancia entre el punto de inicio y final de la cadena sobre la biocostra (cm)

L₂ = Longitud de la cadena en distancia horizontal (cm)

5.6. RESPUESTA ECOHIDROLÓGICA DE LA BIOCOSTRA

5.6.1. Simulaciones de lluvia

En el mes de abril de 2019 se realizaron simulaciones de lluvia en las cuatro zonas de intensidad de pastoreo (nula, baja, media y alta) considerando tres tipos micrositios en los interespacios con cobertura de suelo desnudo, biocostra clara, biocostra oscura con 6 repeticiones dando un total de 72 simulaciones de lluvia. Se escogieron micrositios sin cobertura de biocostra y con una cobertura de 75-100% de biocostra clara y oscura, En cada uno de los micrositios (los cuales corresponden a las unidades experimentales), se caracterizaron primero la composición y porcentaje de cobertura de suelo desnudo, la cobertura total de biocostra, la cobertura de biocostra clara (dominada por cianobacterias) y la cobertura de biocostra oscura (con cianobacterias y dominada por líquenes) mediante el punto de intercepción (Maestre, 2017). Además, se determinó la

condición de microtopografía para lo cual se midió la rugosidad de la superficie por el método de la cadena previamente descrito (Saleh, 1993). Estas variables se determinaron como predictores de las variables ecohidrológicas, además de la densidad aparente del suelo.

Las simulaciones de lluvia se realizaron en condiciones de suelo seco durante media hora a una intensidad considerada como alta en la RBM para poder asegurar el escurrimiento en las simulaciones que permitiera evaluar la función socioecohidrológica de la biocostra. Se seleccionó una lluvia de 70 mm/h durante 30 min, que corresponde a un periodo de retorno de 10 años tomando como base las isoyetas de intensidad de lluvia de la zona de la RBM (**Anexo 6**) (SCT-DGST, 2019).

En la **Fig. 6** se muestra esquemáticamente el funcionamiento del simulador de lluvias tipo Cornell (Cornell Sprinkle Infiltrometer), el cual consiste de un depósito hermético de 40 cm de alto con capacidad de 20 L y una pipeta con un tapón. El simulador se llena de agua limpia, la altura de la pipeta se ajusta para definir la intensidad de lluvia, el tapón se retira para iniciar la simulación lo que permite el paso de aire hacia el interior del simulador. Esto provoca que el agua comience a pasar por un sistema capilar formado por pequeños tubos en espiral que genera gotas que caen sobre el suelo en una parcela delimitada por un anillo metálico circular insertado en el suelo a una profundidad de 7 cm que cubre un área de 457.3 cm². El anillo circular tiene una salida por la que se coloca un tubo de plástico lo que permite recolectar la escorrentía, cuyo volumen se mide con probetas cada minuto hasta el término de la simulación de lluvia (van Es & Schindelbeck, 2003) .

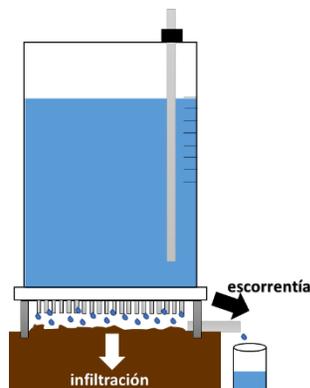


Figura 6. Diagrama de simulador de lluvias Cornell Sprinkle Infiltrometer creado por Ogden (1997).

La intensidad de lluvia requiere de ser monitoreada durante toda la simulación para asegurarse de que está siendo correctamente aplicada, esto se realiza durante los primeros 3 minutos, luego cada 10 minutos, y al finalizar la simulación, dando un total de 6 lecturas por simulación de lluvia. El promedio de las intensidades de lluvias aplicadas fue de 76.2 mm/h, con error estándar de 0.57, donde el valor de la intensidad de lluvia se calculó aplicando la siguiente fórmula (van Es & Schindelbeck, 2003):

$$r = \frac{(H_1 - H_2)}{T_f}$$

donde

r = intensidad de lluvia (mm/hr)

H_1 = nivel de agua en la regla del simulador antes de la simulación (cm)

H_2 = nivel de agua en la regla del simulador después de la simulación (cm)

T_f = tiempo de simulación (min)

El agua total escurrida de cada simulación de lluvia se recolectó, posteriormente se agitó y se tomaron dos muestras de 50 ml en frascos de plástico, seguidamente se etiquetaron y se almacenaron en hieleras. Finalmente se determinó el peso total de sedimentos en las muestras, los cuales fueron arrastrados durante cada simulación (para detalles ver 5.6.2). Después de cada simulación de lluvia, se recolectaron muestras de suelo seco y húmedo utilizando una barrena pedológica de 5 cm alto y 5.4 cm de diámetro para determinar el contenido de humedad y densidad aparente (para detalles ver 5.6.3). El suelo seco se recolectó fuera del área del anillo del simulador de lluvia y el suelo húmedo dentro de ésta; cada muestra se colocó en bolsas Ziploc etiquetadas para ser transportadas y posteriormente procesadas para determinar la densidad aparente, que se define como el peso del suelo seco por volumen (g cm^{-3}), el valor obtenido describe la estructura y compactación del suelo que influyen en la retención de la humedad (CIMMYT, 2013; Gardner, 1986). Después de cada simulación de lluvia y después de haber recolectado las muestras de suelo húmedo, se escarbó cuidadosamente la tierra bajo el área del anillo del simulador de lluvia y se midió con un flexómetro la profundidad de infiltración.

Las muestras de agua y suelo recolectadas fueron procesadas en el Laboratorio de Ecología y Cambio Global de la División de Ciencias Ambientales en el Instituto Potosino

de Investigación Científica y Tecnológica. Los datos de las simulaciones de lluvia fueron procesados para determinar las siguientes variables: inicio de escorrentía continua (min), promedio de escorrentía máxima (%), minuto de escorrentía máxima (min), promedio de escorrentía (%), sedimentos arrastrados (kg·L·m²), contenido de humedad gravimétrica del suelo (%) y profundidad de infiltración (cm).

5.6.2. Producción de sedimentos en simulación de lluvias

Las dos muestras de agua de 50 ml se colocaron en un horno a una temperatura de 105°C durante tres horas, después se pesaron para obtener el peso seco de los sedimentos arrastrados (APHA, 1988; IVEMAR, 2003) y se calculó el promedio de las dos muestras, cuyo dato se utilizó para determinar la concentración de sedimentos (el peso de los sedimentos arrastrados por litro de escorrentía) con la siguiente fórmula:

$$Sedim = \left(\frac{(\sum m1 + m2)/2}{(\sum vol1 + vol2)/2} \right)$$

donde

Sedim = Sedimentos arrastrados (kg·ml)
 m1 = peso de sedimentos de muestra 1 (gr)
 m2 = peso de sedimentos de muestra 2 (gr)
 vol1 = volumen de agua de muestra 1 (ml)
 vol2 = volumen de agua de muestra 2 (ml)

Asimismo, se determinó la producción total de sedimento arrastrado por m² con la siguiente fórmula:

$$PTS = \frac{(Sedim * 1000)}{0.04573}$$

donde

PTS = Producción total de sedimentos por área (kg·L·m²)
 Sedim = Sedimentos arrastrados (kg·L)
 1000 = ml por litro
 0.04573 = área de la parcela del simulador (m²)

5.6.3. Densidad aparente y humedad del suelo

En laboratorio las muestras de suelo húmedo y seco se pesaron y luego se colocaron en un horno durante 48 horas a una temperatura de 105°C para después volverse a pesar durante cada hora hasta que el peso fuera constante y así determinar el peso seco de cada muestra. Seguido de esto, se determinó la densidad aparente con la siguiente fórmula:

$$DA = \left(\frac{S_{seco}}{116.41} \right) * 1000$$

donde

DA = densidad aparente del suelo ($\text{kg}\cdot\text{m}^3$)

S_{seco} = peso de la muestra de suelo secada al horno (g)

116.41 = volumen del anillo de la barrena pedológica (cm^3)

Asimismo se determinó el contenido de humedad gravimétrica con las siguientes fórmulas (CIMMYT, 2013; Gardner, 1986):

$$GM = \frac{(S_{humedo} - S_{seco})}{S_{seco}} \times 100$$

donde

GM = contenido de humedad gravimétrico (%)

S_{humedo} = peso de la muestra de suelo tomada antes de secarse al horno (g)

S_{seco} = peso de la muestra de suelo tomada después de secarse al horno (g)

5.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se realizó un análisis de varianza simple (One-Way ANOVA) con la intensidad de pastoreo como factor con cuatro niveles (nula, baja, media, alta) y seis réplicas para comparar su efecto en la composición de parches, veredas de ganado, número de parche cada 10 metros, el área total de parche, longitud media de los interespacios, índice de área de parche e índice de organización del paisaje con un total de 24 transectos. A todos los datos de estas variables se les aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, un gráfico Q-Q para conocer la distribución de los datos, un gráfico de dispersión para evaluar la dependencia de residuales y asegurar el cumplimiento de independencia en los errores. Posteriormente se realizó una normalización de los datos de longitud de interespacio y del índice de organización de paisaje con una transformación logarítmica ($\log X$); y de los datos de identidad de parche del mezquite con una transformación Box Cox (x^λ). Luego se procedió a realizar la prueba post-hoc de Tukey para comparar los promedios con un intervalo de confianza del 95% (α de 0.05) (Anexo 7) (Kutner *et al.*, 2004).

Asimismo, se realizaron dos análisis de varianza de dos vías (Two-way ANOVA), el primero con los factores intensidad de pastoreo con cuatro niveles (nula, baja, media y alta) y microsítios con dos niveles (interespacio y bajo dosel del arbusto dominante) y con 15 repeticiones. El segundo ANOVA con los factores intensidad de pastoreo con

tres niveles (baja, media y alta) y micrositios con tres niveles (interespacio, bajo dosel del arbusto dominante y a un lado del camino de ganado) y con 15 repeticiones. Esto con el objetivo de examinar los efectos de la intensidad de pastoreo y el micrositio en la estructura de biocostra de 180 micrositios.

A los datos de cobertura total de biocostra, cobertura de cianobacterias, cobertura de líquenes, rugosidad de biocostra, riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias y de especies de líquenes se les aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, un gráfico Q-Q para conocer la distribución de los datos, un gráfico de dispersión para evaluar la dependencia de residuales y asegurar el cumplimiento de independencia en los errores. Posteriormente se realizó una normalización de los datos de cobertura total de biocostra, cobertura de biocostra clara, cobertura de biocostra oscura y clara, y riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias y de especies de líquenes en la biocostra clara y oscura con una transformación logarítmica ($\log X$). Luego se procedió con la prueba post-hoc de Tukey para comparar los promedios con un intervalo de confianza fue del 95% (α de 0.05) (**Anexo 7**) (Kutner *et al.*, 2004). Dichos análisis se realizaron utilizando el IDL RStudio junto con el software libre R (R Development Team R 2011).

Para determinar de qué manera las variables bióticas y abióticas en los micrositios cubiertos por biocostra clara y oscura o suelo desnudo, controlaron los procesos ecohidrológicos se generaron árboles de regresión con los datos de simulaciones de lluvia considerando los tres tipos de cobertura (suelo desnudo, biocostra clara, biocostra oscura) y cuatro intensidades de pastoreo (nula, baja, media, alta) con seis repeticiones dando un total de 72 simulaciones. Se utilizó el método no paramétrico de CART (Classification and Regression Tree) tomando como variables predictoras la densidad aparente, las intensidades de pastoreo, el porcentaje de cobertura de cianobacterias, el porcentaje de cobertura de líquenes, la riqueza de los grupos morfológicos de las cianobacterias, la riqueza de especies líquenes y el coeficiente de rugosidad para evaluar las variables de respuesta de inicio de escorrentía continua, promedio de escorrentía máxima, minuto de escorrentía máxima, promedio de escorrentía, sedimentos arrastrados, contenido gravimétrico de agua y profundidad de infiltración.

Este análisis realiza un proceso secuencial para identificar en cada paso la variable predictora que mejor diferencia la variable de respuesta en dos grupos representados por nodos internos descendientes hacia la izquierda y derecha que se derivan de los nodos parentales hasta que finaliza en dos nodos terminales una vez que ya no es posible reducir más la varianza en función de las variables predictoras (Breiman *et al.*, 1984). De esta manera, el proceso de partición crea grupos lo más homogéneo posible, donde las variables de mayor importancia capaces de reducir la varianza de manera significativa quedan representadas jerárquicamente en los niveles superiores del árbol e indican los umbrales necesarios de cada variable para crear los grupos. Asimismo, para determinar la robustez de los árboles se calcularon sus coeficientes de determinación (R^2). Dicho análisis se realizó utilizando el programa SPSS 26.0

5.8. FUNCIÓN SOCIOECOHIDROLÓGICA DE LA BIOCOSTRA

La función socioecohidrológica de la biocostra se determinó de manera integral analizando las respuestas ecohidrológicas de diferentes estructuras de biocostras que se establecieron bajo las distintas condiciones socio-ambientales asociadas a los sistemas de pastoreo y su contribución a los servicios ecosistémicos. Este último se examinó con base de una entrevista semiestructurada (**Anexo 2**) enfocada en la percepción de los tres tipos de actores, los pobladores de la Flor, representantes de CONANP y de PRONATURA, sobre la valoración de sus actividades socio-económicas y su impacto en la funcionalidad del paisaje, y por ende, en su provisión de los servicios ecosistémicos. Esta información a su vez se relacionó con los resultados obtenidos sobre la multi-funcionalidad del paisaje considerando las actividades socioeconómicas de conservación, ganadería y ecoturismo, aplicando el conjunto de conocimientos transdisciplinarios adquirido en este estudio. De esta manera se logró vislumbrar la función amplia e integradora de la biocostra atravesando funciones ecológicas, sociales, culturales y económicas por su importancia en contribuir de manera directa e indirecta en los servicios ecosistémicos de soporte, regulación, aprovisionamiento y culturales en el Ejido La Flor.

6. RESULTADOS

6.1. FUNCIONALIDAD DEL PAISAJE

6.1.1. Condiciones de intensidad de pastoreo histórica y actual

Los pobladores entrevistados relataron a través de las preguntas abiertas en los recorridos, que antes de que se planeara el manejo del ganado, los animales recorrían diariamente 12 km para llegar del potrero de “La Casa” donde descansaban a las zonas de los arroyos, mogotes y pastizales donde encuentran los recursos de agua, sombra y alimento. En 1985, se comenzó con la planeación del manejo del ganado, por lo que los pobladores del Ejido La Flor decidieron cercar un área para crear el potrero conocido como “El Tanque”, nombre que se le dio por el tanque que se colocó como abrevadero para que el ganado pudiera tener a su disposición agua en épocas de secas. La creación de este potrero tuvo como objetivo contener un aproximado de 700 cabezas de ganado bovino y equino en 1,250 ha, lo que provocó que las áreas de pastizal se agotaran.

El personal de la CONANP mencionó que llegaron a la RBM en el año 2004 y comenzaron a implementar talleres de educación ambiental y colaboraciones con la gente para mejorar el manejo del ganado mediante la creación de potreros y la reducción de cabezas de ganado. Dos años más tarde, también en colaboración con la CONANP con el desarrollo de la actividad ecoturística, los pobladores locales tuvieron otro ingreso económico que permitió reducir la actividad ganadera, disminuyendo de 700 a 300 cabezas de ganado aproximadamente.

Posteriormente, en el 2009, comenzaron a implementarse estrategias de conservación, con lo que se creó la primera exclusión de ganado para la conservación de la tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*) con un área de aproximadamente 60 ha, el cual fue considerado para la zona actual de nula intensidad de pastoreo, donde se instalaron microcuencas como parte de los programas de obras de restauración de la CONANP para promover el crecimiento de vegetación. Cabe mencionar, que en dicha actividad los pobladores no recibieron pago por servicios ambientales por complicaciones administrativas, a pesar de ser un beneficio económico que provee la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

No obstante, las colaboraciones entre CONANP y los pobladores continuaron para tomar decisiones en conjunto con respecto al manejo del ganado. En el 2013, después

de analizar la cercanía a los sitios de descanso como mogotes, de alimentación en pastizales, de agua en los arroyos y la conectividad entre el potrero “El Tanque” con los potreros de la Joya y las Letras, se tomó la decisión de reubicar el abrevadero de su lugar original a la ubicación actual, donde hoy en día los agostaderos están caracterizados por una alta intensidad de pastoreo (*zona de alta intensidad de pastoreo considerada para el estudio; Fig. 4*). El personal de CONANP resaltó que esta decisión fue fundamental en el manejo de ganado, ya que la lejanía del abrevadero haría que el ganado se alejará de las zonas donde los pastizales habían sido sobreexplotados y así se pudieran recuperar. Actualmente estas *zonas son de baja intensidad de pastoreo*, pero el legado del impacto por el pastoreo de acuerdo con los pobladores y con la CONANP es visible por la compactación del suelo; mientras que la *zona de media intensidad de pastoreo*, se ha mantenido al ser el área de paso entre recursos de alimentación y agua al estar ubicada entre los dos arroyos que existen en el potrero.

Recientemente, se buscan implementar nuevas estrategias de manejo ganadero mediante el cercado de varios potreros, una redistribución del agua colocando al menos un abrevadero en cada potrero y la aplicación de un sistema de rotación de ganado por potreros. Se espera que así el ganado pueda dispersarse en una mayor área y permitir el descanso temporal de potreros para reducir la sobreexplotación continua de áreas de alimentación como lo que ha sucedido con las áreas de pastizal. Una motivación para los pobladores locales de adoptar este sistema rotacional, es la oportunidad de incorporarse a programas de carne orgánica certificada y así poder obtener eventualmente mayores ingresos económicos. Por ello, en el 2015 se creó el abrevadero de la Pila y en el 2019 se pondrá en funcionamiento un tercer abrevadero llamado “Los Pozos”.

Un indicador de la intensidad de pastoreo, es el número de veredas de ganado, el cual mostró diferencias significativas entre las intensidades de pastoreo ($p < 0.001$). En la intensidad nula que corresponde a la exclusión de ganado creada en el 2009, no existen veredas de ganado. Las intensidades de pastoreo se delimitaron cada 1.5 km partiendo de la ubicación actual del abrevadero del Tanque por las diferencias en las veredas del camino observadas en las imágenes de Sentinel 2A y de acuerdo con los transectos del LFA. En la intensidad baja de pastoreo actualmente hay 2.67 ± 0.56 veredas, aunque

en los años 80's del siglo XX éstas eran grandes áreas de pastizal donde existía una alta intensidad de pastoreo. En la zona de intensidad media de pastoreo hay 5.17 ± 0.31 veredas, donde se ubican las áreas de alimentación del ganado. En la zona de intensidad alta de pastoreo hay el mayor número de veredas (7.17 ± 0.31), donde más pasa el tiempo el ganado por la cercanía a los recursos de agua, alimento y sombra.

6.1.2. Funcionalidad de los componentes de suelo, biocostra, vegetación y ganado en el paisaje

La vegetación tiene distintas funciones reconocidas por los pobladores locales, el personal de CONANP y PRONATURA, que varían dependiendo del tipo de vegetación. Por un lado, los mogotes en el matorral son importantes para el 61.9% del total de los entrevistados, representados por el 100% de los pobladores locales, 100% de PRONATURA y 85.7% de CONANP, ya que provee sombra para el ganado. Sin embargo, los entrevistados describieron a la gobernadora (*Larrea tridentata*) como especie dominante de matorral que invade áreas de pastizal (**Fig. 7**). El 59.5% del total de los entrevistados, representados por el 42.9% de los entrevistados pobladores locales, 85.7% miembros de CONANP y 50% de los entrevistados de PRONATURA, consideran que la gobernadora es una especie alelopática, al inhibir el crecimiento de otras especies de vegetación; mientras que el 26.2% del total de los entrevistados, representados por el 14.3% de los entrevistados pobladores locales y de CONANP y un 50% de PRONATURA, no la considera así; y el 14.3% del total de los entrevistados, representados por el 42.9% de los pobladores locales, desconoce esta potencial influencia de la gobernadora en otras especies de vegetación.

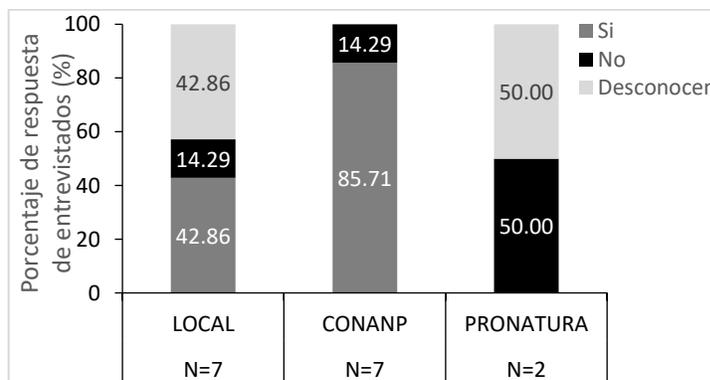


Figura 7. Conocimiento de los entrevistados en el Ejido La Flor con respecto a la gobernadora (*Larrea tridentata*) como especie alelopática. N= número de entrevistados por sector.

El mezquite (*Prosopis glandulosa*) es otra especie importante del matorral en La Flor, como especie nodriza, que facilita el crecimiento de otras especies de plantas (**Fig. 8**). Esta característica la describió el 40.5% del total de los entrevistados, representados por un 14.3% de los pobladores locales, un 57.1% de los entrevistados del personal de CONANP y 50% de PRONATURA. Mientras que un 45.2% del total de los entrevistados, representados por el 42.9% de los entrevistados pobladores locales y de CONANP, y un 50% de PRONATURA, no vinculan esta función al mezquite; y un 14.3% del total de los entrevistados, representados por el 42.9% de los entrevistados pobladores locales, no tienen información al respecto. Un 23.8% del total de los entrevistados, representados por el 42.9% de los entrevistados pobladores locales y 28.6% de los entrevistados de CONANP, mencionaron que es una especie indicadora de humedad y aparece en áreas de inundación.

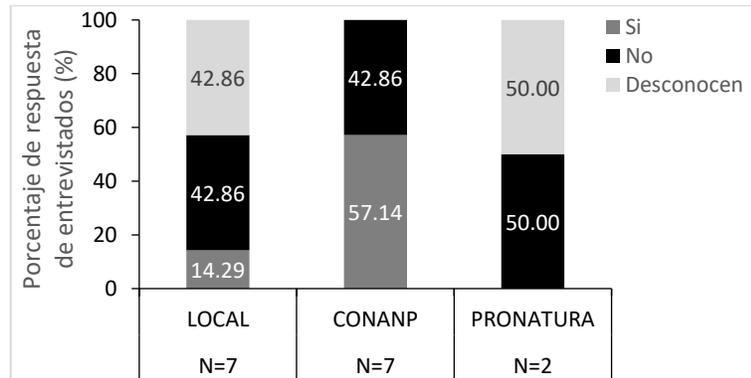


Figura 8. Conocimiento de los entrevistados con respecto al mezquite (*Prosopis glandulosa*) como especie nodriza. N= número de entrevistados por sector.

El matorral, es la vegetación dominante en los potreros estudiados en La Flor, y es importante para la distribución de la biocostra, donde el suelo en los interespacios es básicamente de color negro por su amplia colonización. El 81% del total de los entrevistados, mencionaron que la biocostra se distribuye en el matorral, de los cuales un 52.4% del total de los entrevistados, representados por el 28.6% de los pobladores locales y 100% del personal de CONANP, consideran que se distribuye únicamente en matorral; y el otro 28.6% del total de los entrevistados, representados por un 42.9% de los pobladores locales y del personal de CONANP, consideran que se distribuye tanto en matorral como en pastizal. El 19% restante del total de los entrevistados, representados por el 28.6% de entrevistados pobladores locales y personal de CONANP desconocen sobre el tema (**Fig. 9**).

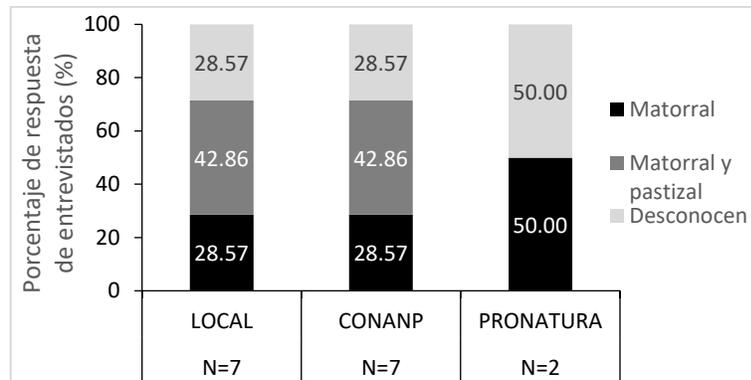


Figura 9. Conocimiento de los entrevistados con respecto a la distribución de la biocoenosis en dos tipos de vegetación de La Flor. N= número de entrevistados por sector.

El pastizal, aunque tiene una menor cobertura en los potreros estudiados, es importante para el 100% del total de entrevistados de los pobladores locales, de CONANP y de PRONATURA, ya que sirve de forraje no sólo para el ganado, sino para especies de importancia como la tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*). Sin embargo, tiene una vulnerabilidad por la alta intensidad de pastoreo que puede reducir su cobertura hasta desaparecerla. Un 85.7% de los entrevistados señalaron que la densidad de cabezas de ganado en un área determina la cobertura de la vegetación; el otro 14.3% que corresponden a los entrevistados pobladores locales dijeron no saber al respecto.

El 40% de los entrevistados, representados por el 14.3% de los pobladores locales, 57.1% de CONANP y 50% de PRONATURA señalaron que el ganado puede promover la distribución del pastizal a través del consumo de la vegetación y una posterior dispersión de semillas a través de las heces. Un 54% del total de los entrevistados, representados por el 71.4% de los pobladores locales, el 42.9% de CONANP y 50% de PRONATURA, consideran que no promueve su crecimiento, sino al contrario, reduce su cobertura y limita su distribución al consumirlo. Y el 4% de los entrevistados, representado por el 14.3% de los pobladores locales desconocen al respecto (**Fig. 10**).

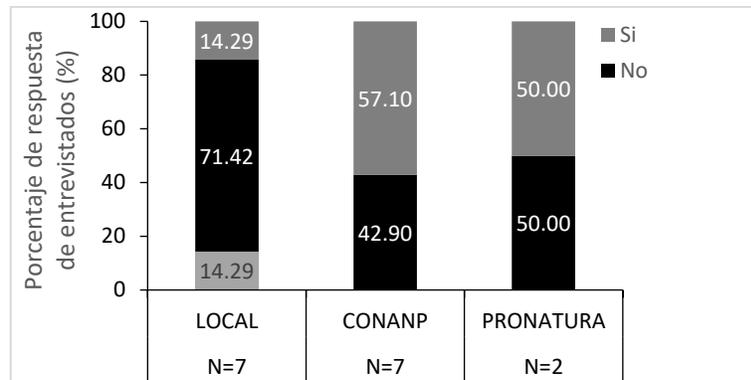


Figura 10. Conocimiento de los entrevistados con respecto a la funcionalidad del ganado en la distribución del pastizal. N= número de entrevistados por sector.

Un 31% del total de los entrevistados, representados por el 28.6% de pobladores locales, 14.3% de CONANP y 50% de PRONATURA, señalaron que el ganado promueve la distribución del matorral, al reducir áreas de pastizal que quedan libres y son aprovechadas sobre todo por la gobernadora (*Larrea tridentata*). Mientras que el 69% restante del total de entrevistados, representado por el 71.4% de los pobladores locales, 85.7% de CONANP y 50% de PRONATURA dijeron que no hay una influencia del ganado sobre la distribución del matorral (Fig. 11).

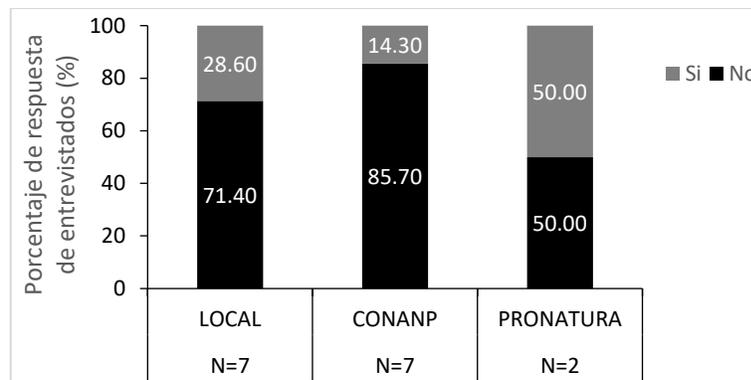


Figura 11. Conocimiento de los entrevistados con respecto a la funcionalidad del ganado en la distribución del matorral. N= número de entrevistados por sector.

El ganado es un componente que tiene una fuerte influencia no sólo en la cobertura de vegetación, sino en la cobertura de biocostra. El 100% de los pobladores locales y de los entrevistados de CONANP y de PRONATURA señalaron que en el área cercana a los abrevaderos y a los caminos de ganado hay barreales, es decir, suelo desnudo, reduciendo con ello la cobertura de biocostra e incrementando la erosión. Esto evidencia el efecto de una alta intensidad de pastoreo sobre la calidad del suelo y cobertura de vegetación, cuyo tema ha intentado ser abordado a través de diferentes estrategias para

conservar el suelo y recuperar servicios ecosistémicos perdidos a través de la creación de obras de restauración y potreros con distintos manejos.

El 100% de los entrevistados reconoce la importancia de la vegetación para evitar la erosión del suelo, mantener la humedad en el suelo y para promover la infiltración del agua. Con respecto a la biocostra, es un componente que utiliza el 50% de los entrevistados como indicador de la condición del suelo. Un 28.6% de los entrevistados, representados por el 71.4% de pobladores locales y 14.3% miembros de CONANP la consideran como un indicador para la buena calidad del suelo; mientras que un 21.4% de los entrevistados, representados por el 14.3% miembros de CONANP y 50% la consideran como un indicador de zonas de pastoreo (**Fig. 12**).

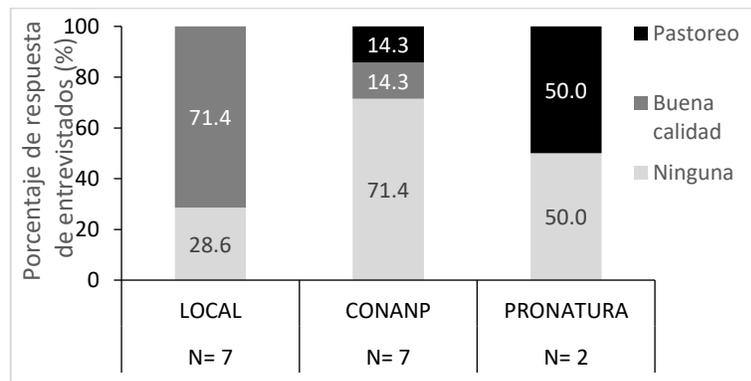


Figura 12. Conocimiento de los entrevistados con respecto a la funcionalidad de la biocostra para la condición del suelo. N= número de entrevistados por sector.

El 61.9% del total de los entrevistados, representados por un 42.9% de pobladores locales y CONANP y el 100% de PRONATURA, señalan que puede promover los encharcamientos; un 71.4% del total de los entrevistados, representados por el 51.7% de pobladores locales y CONANP y 100% de PRONATURA, consideran pueden promover el escurrimiento; y un 59.6% de los entrevistados, representados por el 100% de los pobladores locales, 28.6% de CONANP y 50% de PRONATURA, consideran que puede promover la infiltración (**Fig. 13**).

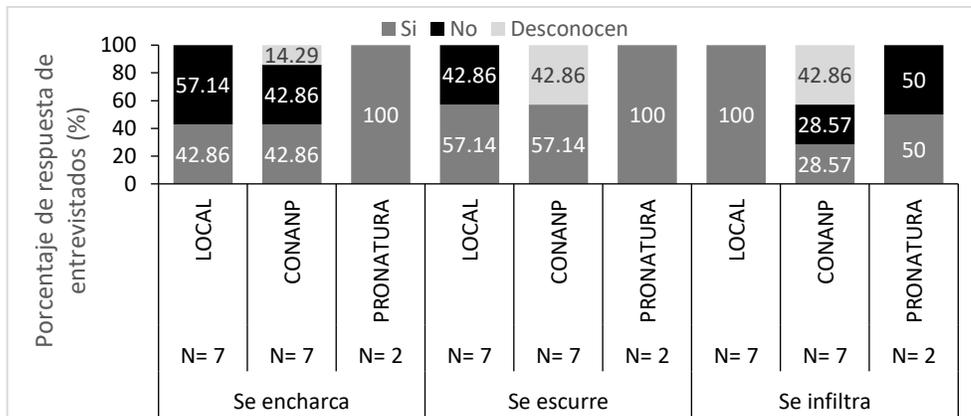


Figura 13. Conocimiento de los entrevistados con respecto a la función ecoidrológica de la biocostra. N= número de entrevistados por sector.

6.1.3. Funcionalidad del paisaje de acuerdo al LFA

El porcentaje y composición de los parches de los 24 transectos repartidos en las 4 zonas con distinta intensidad de pastoreo, es importante para poder describir la funcionalidad del paisaje. Se encontró que el porcentaje de parches en los transectos de las intensidades de pastoreo fueron similares ($p=0.15$) (**Cuadro 1**) (**Anexo 7**).

Cuadro 1. Porcentaje total de parches en las zonas con diferentes intensidades de pastoreo ($p>0.05$).

Intensidad de pastoreo	Parches
Nula	33% \pm 0.008
Baja	32% \pm 0.036
Media	23% \pm 0.023
Alta	25% \pm 0.029

Los parches formados por la gobernadora (*Larrea tridentata*) son un 20% menor en la intensidad baja de pastoreo en comparación con el resto de las zonas, mientras que la cobertura del mezquite (*Prosopis glandulosa*) es mayor en esta zona y significativamente más bajo en las otras zonas. En cuanto a los interespacios, se observa que el suelo desnudo es mayor en la zona de alta intensidad de pastoreo, mientras que la biocostra cubre 50% de los interespacios en todas las zonas menos en la zona de alta intensidad de pastoreo donde se reduce en un 20% (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Porcentaje de las identidades de parches e interespacios considerando la intensidad de pastoreo y los parches formados por los arbustos más abundantes, biocostra y suelo desnudo ($p<0.001$).

Intensidad de pastoreo	<i>Prosopis glandulosa</i>	<i>Larrea tridentata</i>	Suelo desnudo	Biocostra
Nula	8.2% \pm 11.4 b	23.7% \pm 0.02 a	15.8% \pm 4.23 b	51.4% \pm 5.2 a
Baja	26.1% \pm 6.7 a	4% \pm 0.01 b	18.3% \pm 12.8 b	50.1% \pm 12.8 a
Media	0% \pm 0 b	23.6% \pm 0.01 a	26.1% \pm 6.8 b	50.8% \pm 1.8 a
Alta	0.6% \pm 1.4 b	20% \pm 2.6 a	44.6% \pm 9.8 a	30.2% \pm 8.4 b

En cuanto a los datos del LFA, los números de parches, el área de parches, el índice de área de parches y el índice de organización del paisaje no tuvieron diferencias significativas entre las intensidades de pastoreo ($p > 0.05$) (**Fig. 14**) (**Anexo 7**). La longitud promedio del interespacio difirió entre las zonas con distintas intensidades de pastoreo ($p = 0.007$), en la baja intensidad de pastoreo los interespacios fueron los más largos (4.60 ± 1.02 m), con una longitud máxima de 8.6 m; seguido de la nula intensidad de pastoreo (3.01 ± 0.33 m) y más cortos en la media (1.75 ± 0.21 m) y alta (1.78 ± 0.41 m) intensidad de pastoreo (**Fig. 14**).

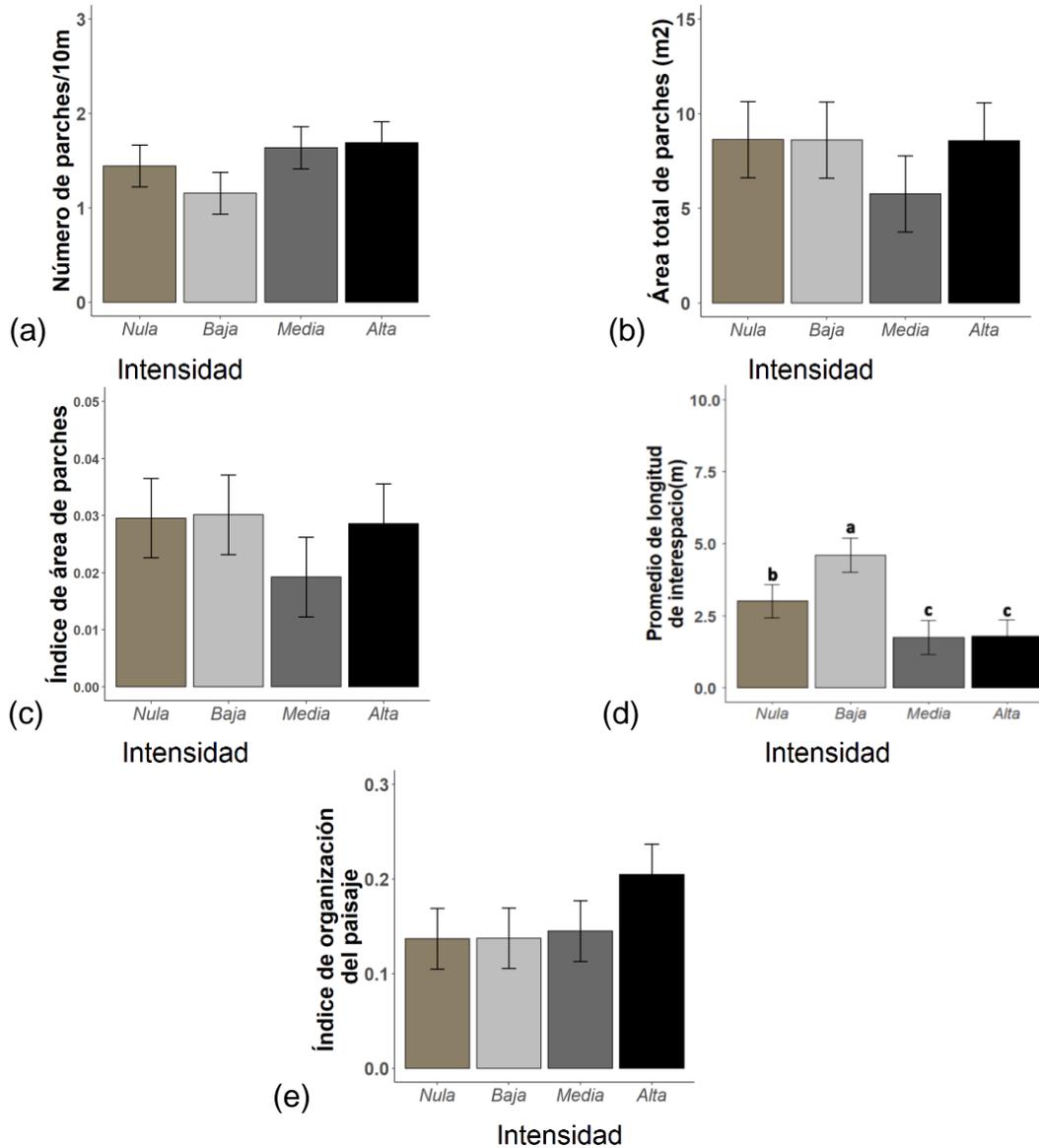


Figura 14. Resultados del análisis de la funcionalidad del paisaje. (a) número de parches, (b) área de parche, (c) índice de área de parche, (d) promedio de longitud de interespacio, (e) índice de organización del paisaje en las cuatro zonas de diferentes intensidades de pastoreo ($P > 0.05$)

6.1.4. Índice de conocimiento local de la funcionalidad del paisaje (ICLFP)

El ICLFP permitió determinar la funcionalidad del paisaje considerando el conocimiento de los actores locales relacionado a las características de los componentes de suelo, biocostra, vegetación, y función hídrica de cada zona con diferente intensidad de pastoreo y tomando en cuenta diferentes usos de la vegetación.

La función hídrica de la zona tiene dos categorías, un “Alto” se refiere a una zona que sirve para que fluya el agua hacia otras zonas, mientras que un “Bajío” se refiere a zonas con inundaciones temporales. Estas características funcionales hídricas de diferentes unidades geomorfológicas del paisaje definen la cobertura, riqueza y verdor de la vegetación. En los “Altos”, la vegetación es más alta que en otras zonas porque retiene el recurso hídrico, lo que promueve también la formación de mogotes; mientras que en los “Bajíos” permiten que la vegetación que principalmente es pastizal mantenga su verdor durante épocas de secas.

La presencia de biocostra evita la generación de “barrenales”, nombre local que se refiere a un área de suelo desnudo, por lo que, una mayor cobertura de biocostra permite el establecimiento de vegetación anual y perenne con distintos usos. Aunque también favorece la aparición de la pulga (*Oligomeris linfolia*), una especie de planta no deseada por los ganaderos por lo que afecta la funcionalidad al paisaje, ya que al ser consumida por el ganado suele enfermarse y puede llegar a morir.

La intensidad nula de pastoreo, tuvo el valor más alto de funcionalidad, donde la biocostra, vegetación y suelo están en buena condición, lo que les permite tener las características deseadas para proveer usos de vegetación y cumplir con distintas funciones ecológicas (**Cuadro 3**). La intensidad baja de pastoreo, tuvo el segundo valor más bajo, dado que las condiciones de suelo, biocostra y vegetación son consecuencia del legado que dejó un uso continuo del agostadero con una alta intensidad de pastoreo durante un periodo de 28 años (**Cuadro 3**). La intensidad media de pastoreo tuvo el valor más bajo en la funcionalidad del paisaje, los pobladores locales explicaron que es la zona más seca, situación que limita la presencia de especies anuales, y perennes, lo que repercute en la cantidad de usos (**Cuadro 3**). La intensidad alta de pastoreo tuvo el valor más alto de la funcionalidad del paisaje de las zonas en el potrero El Tanque,

donde las características de suelo, biocostra y vegetación favorece una mayor cantidad de usos, motivo por el cual se reubicó el abrevadero en 2013 (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Índice de conocimiento local de la funcionalidad del paisaje (ICFLP) y los indicadores que definen la funcionalidad del paisaje.

		Nula	Baja	Media	Alta
	ICLFP	0.62	0.33	0.26	0.52
Hídrica	Función hídrica de la zona	Alto	Bajo	Alto	Alto
Pastoreo	Antecedentes de intensidad de pastoreo	No	Si	No	No
	Ha sufrido pérdida de cobertura vegetal	No	Si	No	No
Condición de suelo	Biocostra	Mucha	Poca	Mucha	Mucha
	Presencia de barreales	No	Si	No	Si
Presencia de especies	Presencia de vegetación anual	9	3	4	8
	Presencia de vegetación perenne	9	6	5	6
	Presencia de vegetación deseada	16	7	8	12
	Presencia de pulga (<i>Oligomeris linfolia</i>) -vegetación no deseada-	1	0	1	0
	Forraje (para ganado o tortuga)	5	6	7	11
Características de vegetación	Presencia de mogotes	Si	No	No	Si
	Riqueza de especies de vegetación	18	9	9	14
	Altura de vegetación	Alta	Baja	Baja	Alta
Usos de vegetación	Medicinal	4	1	0	3
	De consumo humano	1	0	0	1
	Leña	1	0	1	1

6.2. ESTRUCTURA DE LA BIOCOSTRA

La composición de la biocostra oscura se formó por 6 géneros de líquenes (*Peccania*, *Peltula*, *Placidium*, *Endocarpon*, *Collema*, *Psora*) y 9 especies (*Peltula richardsii* (Herre) Wetmore, *Peltula michoacanensis* (B. de Lesd.) Wetmore, *Peltula patellata* (Bagl.) Swinscow & Krog, *Placidium squamulosum* (Ach.) Breuss, *Placidium lacinulatum* (Ach.) Breuss, *Collema coccophorum* Tuck, *Collema tenax* (Sw.) Ach., *Psora decipiens* (Hedwig) Hoffm., *Psora crenata* (Taylor) Reinke. Para la biocostra clara se logró identificar 1 especie (*Nostoc flageliforme* (Bornet & Flahault) Elenkin) y el resto se clasificó en 3 grupos morfológicos (ramificada, continua y filamentosa) (**Anexo 8**).

6.2.1. Cobertura total, de cianobacterias y de líquenes de biocostras por zonas y micrositios

Con el análisis de las cuatro intensidades de pastoreo y los dos micrositios interespacio y bajo dosel, la cobertura total de la biocostra fue distinta ($p = 0.038$) (**Anexo 7**). En los interespacios, la cobertura de la biocostra fue más alta en las zonas con intensidades de media y alta pastoreo, más baja en la zona con pastoreo con nula intensidad de

pastoreo y por último, la media de intensidad de pastoreo. En el micrositio bajo dosel, la cobertura de la biocostra era más alta en la baja intensidad, mientras no hubo diferencias en las intensidades nula, media y alta de pastoreo (**Fig. 15**).

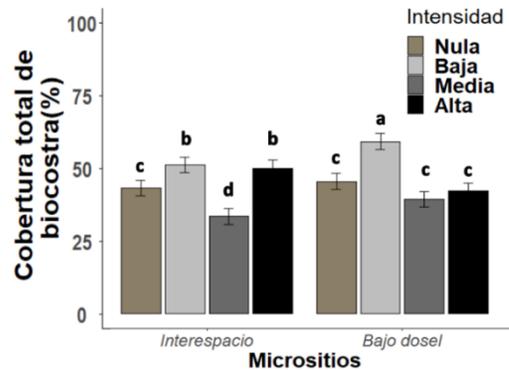


Figura 15. Cobertura total de biocostra en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.038$, Prueba de Tukey)

Con el análisis de las tres intensidades de pastoreo y los tres micrositios, la cobertura total de biocostra fue distinta ($p < 0.001$) (**Anexo 7**). La cobertura de biocostra fue mayor en los caminos que bajo dosel y interespacios en la intensidad baja, mientras no varía entre micrositios en la intensidad media y era más alta en camino y bajo dosel en la intensidad alta. El efecto de pastoreo causó diferencias más marcadas en la cobertura en los interespacios (**Fig. 16**).

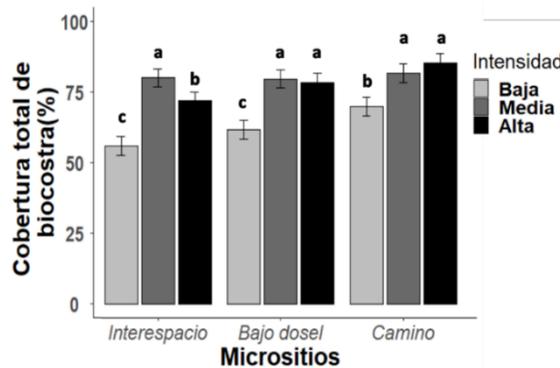


Figura 16. Cobertura total de biocostra en los tres micrositios en el potrero El Tanque. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p < 0.001$, Prueba de Tukey).

Con el análisis de las cuatro intensidades de pastoreo y los dos micrositios interespacio y bajo dosel, las coberturas de cianobacterias y líquenes eran distintas ($p = 0.016$ y $p < 0.001$, respectivamente) (**Anexo 7**). La cobertura de cianobacterias fue mayor bajo dosel en la intensidad baja de pastoreo y menor en el interespacio de la intensidad media de pastoreo, mientras que el resto fue estadísticamente similar. En cuanto a los

líquenes, la cobertura era menor en los dos microsítios con intensidad baja de pastoreo, mientras en los interespacios en zonas con alta intensidad de pastoreo, y en el resto de los microsítios de las zonas con nula, media y alta intensidad de pastoreo las coberturas eran hasta 5 a 10 veces mayor, respectivamente (**Fig. 17**).

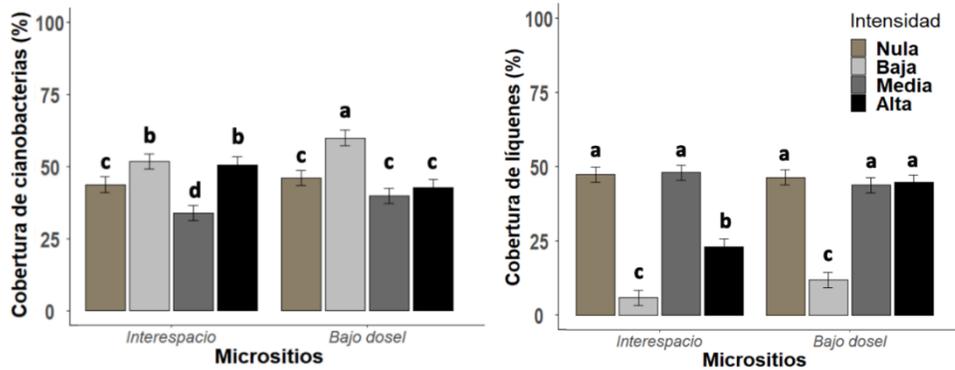


Figura 17. Cobertura de cianobacterias y líquenes en los microsítios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y microsítios ($p = 0.016$ y $p < 0.001$, Prueba de Tukey).

Con el análisis de las tres intensidades de pastoreo y los tres microsítios, las coberturas de cianobacterias y líquenes fueron diferentes ($p=0.016$ y $p<0.001$, respectivamente) (**Anexo 7**). La cobertura de cianobacterias en los interespacios fue más alta en las intensidades alta y baja de pastoreo que en la intensidad intermedia. Mientras en el camino y bajo dosel la cobertura de las cianobacterias fue mayor en la intensidad baja de pastoreo en comparación a las intensidades de pastoreo media y alta. En cuanto a la cobertura de líquenes, en todos los microsítios la menor cobertura fue en la intensidad baja de pastoreo y la mayor cobertura en las intensidades media y alta de pastoreo, con excepción en los interespacios con pastoreo de alta intensidad, donde la cobertura de líquenes era similar a la encontrado en la baja intensidad de pastoreo (**Fig. 18**).

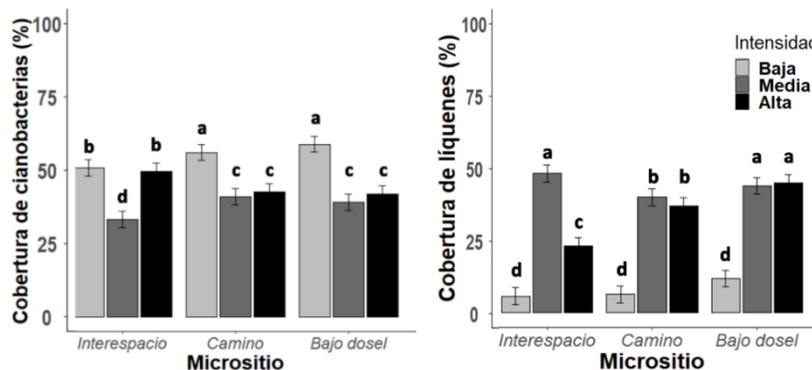


Figura 18. Cobertura de cianobacterias y líquenes en los tres microsítios en el potrero El Tanque. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y microsítios ($p = 0.016$ y $p < 0.001$, Prueba de Tukey).

6.2.2 Riqueza de la biocostra a nivel de grupos morfológicos de cianobacterias y especies de líquenes

Con el análisis de las cuatro intensidades de pastoreo y los dos microsítios interespacio y bajo dosel, la riqueza de cianobacterias y líquenes de la biocostra fue distinta ($p = 0.016$ y $p < 0.001$, respectivamente) (**Anexo 7**). La riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias en el microsítio de interespacio en la intensidad alta de pastoreo fue mayor, mientras que en los microsítios bajo dosel en las intensidades baja y media de pastoreo fue menor. La riqueza de especies de líquenes fue menor en los interespacios que bajo dosel en la intensidad alta de pastoreo, mientras que la riqueza de líquenes fue mayor en los de más intensidades de pastoreo independientemente del tipo de microsítio (**Fig. 19**).

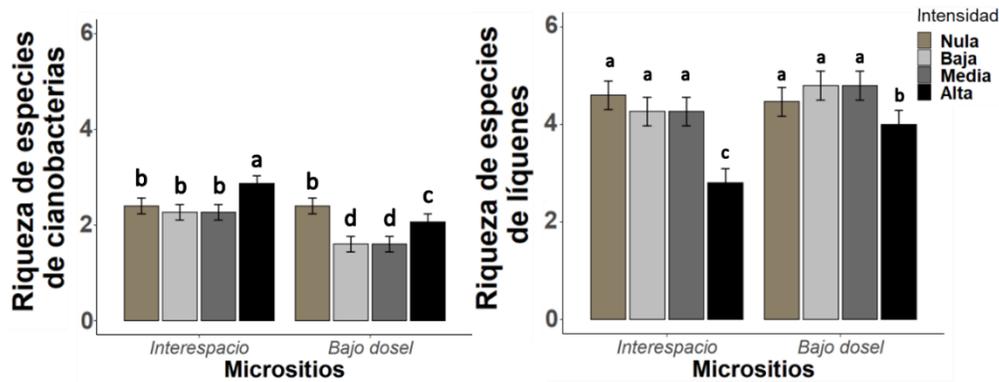


Figura 19. Riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias y de especies de líquenes de biocostra en los microsítios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y microsítios ($p = 0.016$ y $p < 0.001$, Prueba de Tukey)

Con el análisis de las tres intensidades de pastoreo y los tres microsítios, la riqueza de cianobacterias y líquenes fue distinta ($p=0.016$ y $p<0.001$, respectivamente) (**Anexo 7**). En todos los microsítios en la zona con intensidad alta de pastoreo la riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias era mayor en comparación a las otras intensidades de pastoreo del mismo microsítio. La riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias era más baja en microsítios del camino. La riqueza de especies de líquenes no difería en todos los microsítios con intensidad baja y media de pastoreo, mientras que en la zona de alta intensidad de pastoreo en los interespacios tuvo la menor riqueza e intermedio bajo dosel y camino (**Fig. 20**).

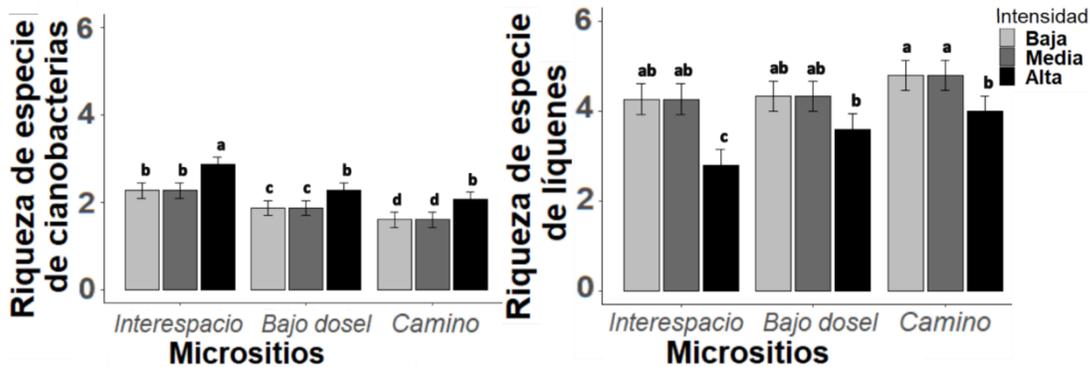


Figura 20. Riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias y de especies de líquenes de biocostra en los tres micrositios en el potrero El Tanque. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.016$ y $p < 0.001$, Prueba de Tukey)

6.2.3 Microtopografía de la biocostra medida por su rugosidad

Con el análisis de las cuatro intensidades de pastoreo y los micrositios interespacio y bajo dosel, la rugosidad de la biocostra tuvo diferencias significativas ($p=0.007$) (**Anexo 7**). En los interespacios la rugosidad fue distinta en todas las intensidades de pastoreo y bajo dosel fue mayor en la intensidad nula y alta en comparación con las otras intensidades (**Fig. 21**).

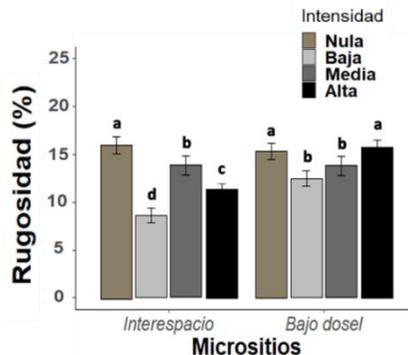


Figura 21. Rugosidad de biocostra en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.007$, Prueba de Tukey)

Con el análisis de las tres intensidades de pastoreo y los tres micrositios, la rugosidad de la biocostra era distinta ($p=0.007$) (**Anexo 7**) con porcentajes más altos bajo dosel en la intensidad alta de pastoreo, y más bajos a un lado del camino en la intensidad baja de pastoreo, seguido del interespacio en la media intensidad de pastoreo, mientras que la rugosidad en el resto de los micrositios y zonas no eran distintas (**Fig. 22**).

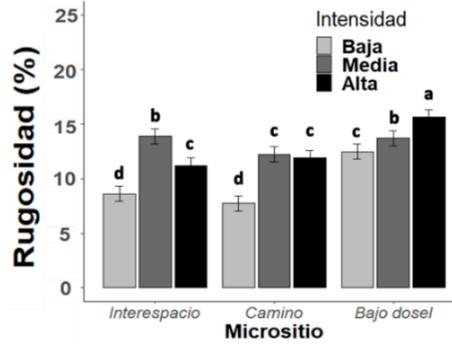


Figura 22. Rugosidad de biocostra en los tres micrositios en el potrero El Tanque. Los diferentes colores corresponden a diferentes intensidades de pastoreo, diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas de cobertura entre intensidades y micrositios ($p = 0.007$, Prueba de Tukey).

6.3. RESPUESTA ECOHIDROLÓGICA DE LA BIOCOSTRA

6.3.1. Características de la biocostra en los sitios de simulación de lluvia

La densidad aparente, cobertura total, de cianobacterias y de líquenes, rugosidad, y riqueza de especies de líquenes tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) considerando las intensidades de pastoreo y tratamientos (prueba *post hoc* de Tukey) (**Cuadro 4 y 5**) (**Anexo 7**).

Cuadro 4. Densidad aparente ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), cobertura de biocostra (%) (total, cianobacterias y líquenes) (Promedios ± 1 error estándar) por tres tratamientos (suelo desnudo, biocostra clara, biocostra oscura) en zonas con distintas intensidades de pastoreo (nula, baja, media, alta); letras distintas entre líneas significan diferencias significativas entre tratamiento \times intensidad para cada tipo de cobertura (prueba *post hoc* de Tukey, $p < 0.05$).

Tratamiento	Intensidad de pastoreo	Densidad aparente ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Cobertura total de biocostra (%)			Cobertura de cianobacterias (%)		Cobertura de líquenes (%)	
Valor de p		< 0.001	0.047			< 0.001		< 0.001	
Suelo desnudo	Nula	1.2 \pm 0.26	ab	3.1 \pm 3.4	e	2.1 \pm 3.2	e	1.0 \pm 0.5	d
	Baja	1.2 \pm 0.05	b	0 \pm 0.0	f	0 \pm 0.0	f	0 \pm 0	e
	Media	1.4 \pm 0.08	a	1.0 \pm 1.5	f	1.0 \pm 2.5	e	0 \pm 0	e
	Alta	1.8 \pm 0.12	bc	1.0 \pm 1.5	f	1.0 \pm 2.5	e	0 \pm 0	e
Biocostra clara	Nula	1.1 \pm 0.11	c	97.9 \pm 3.2	b	89.6 \pm 11.4	a	8.3 \pm 12.3	c
	Baja	1.4 \pm 0.12	a	89.6 \pm 11.6	c	84.7 \pm 11.9	b	4.9 \pm 6.3	c
	Media	1.0 \pm 0.09	c	88.5 \pm 6.1	d	84.0 \pm 4.6	b	4.5 \pm 2.7	c
	Alta	1.3 \pm 0.14	ab	82.3 \pm 4.7	d	74.4 \pm 10.7	c	4.8 \pm 6.8	c
Biocostra oscura	Nula	1.0 \pm 0.12	c	99.0 \pm 2.5	a	50.0 \pm 7.1	d	48.9 \pm 7.5	a
	Baja	1.3 \pm 0.10	ab	97.9 \pm 3.2	b	73.0 \pm 7.9	c	24.4 \pm 8.1	b
	Media	1.3 \pm 0.16	a	100 \pm 0	a	42.9 \pm 3.6	d	57.1 \pm 3.6	a
	Alta	1.1 \pm 0.08	c	98.9 \pm 2.5	a	41.2 \pm 3.3	d	57.7 \pm 3.9	a

Cuadro 5. Rugosidad (%) y riqueza (de grupos morfológicos de cianobacterias y especies de líquenes) (Promedios \pm 1 error estándar) por tres tratamientos (suelo desnudo, biocostra clara, biocostra oscura) en zonas con distintas intensidades de pastoreo (nula, baja, media, alta); letras distintas entre líneas significan diferencias significativas entre tratamiento x intensidad para cada tipo de cobertura (prueba post hoc de Tukey, $p < 0.05$).

Tratamiento	Intensidad de pastoreo	Rugosidad (%)		Riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias		Riqueza de especies de líquenes	
Valor de p		< 0.001		0.07		0.002	
Suelo desnudo	Nula	1.4 \pm 0.80	e	0.33 \pm 0.52	B	0.16 \pm 0.41	f
	Baja	1.8 \pm 0.39	e	0 \pm 0	B	0 \pm 0	f
	Media	0.9 \pm 0.48	e	0.16 \pm 0.41	B	0 \pm 0	f
	Alta	0.9 \pm 0.18	e	0.16 \pm 0.41	B	0 \pm 0	f
Biocostra clara	Nula	8.2 \pm 3.2	c	2.8 \pm 0.7	A	1.3 \pm 1.7	d
	Baja	4.2 \pm 1.2	d	2.0 \pm 0.6	A	0.7 \pm 0.8	e
	Media	6.2 \pm 2.8	d	2.0 \pm 0	A	1.0 \pm 0.6	d
	Alta	10.3 \pm 2.8	b	2.7 \pm 1.2	A	0.8 \pm 1.2	e
Biocostra oscura	Nula	17.0 \pm 1.1	a	2.3 \pm 0.5	A	3.7 \pm 0.8	b
	Baja	7.7 \pm 2.2	c	2.7 \pm 0.5	A	2.5 \pm 0.8	c
	Media	13.8 \pm 2.6	b	2.2 \pm 0.4	A	5.0 \pm 0.6	a
	Alta	17.4 \pm 1.4	a	2.0 \pm 0	A	4.8 \pm 0.7	a

6.3.2 Respuestas ecohidrológicas de las biocostras

El árbol de regresión para el inicio de escorrentía continua tuvo dos niveles, siete nodos y cuatro nodos terminales con una R^2 de 0.59. Los mayores retardos en el inicio de la escorrentía ocurrieron cuando la cobertura de líquenes fue $> 16.2\%$ y la riqueza de especies de líquenes fue > 4 (Fig. 23).

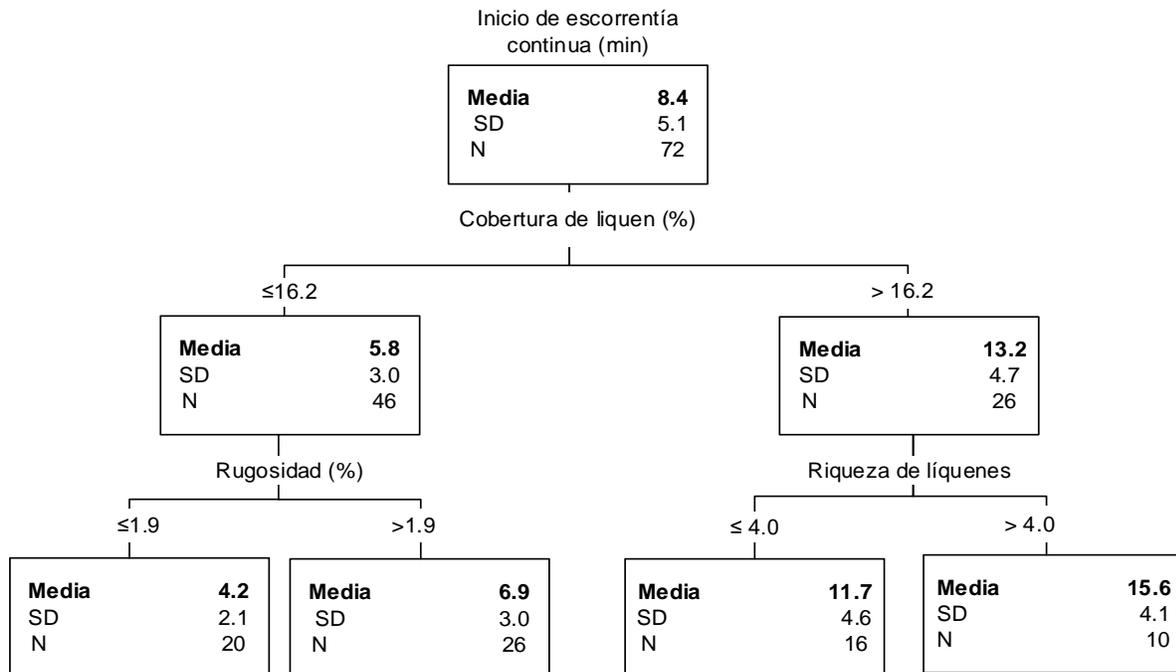


Figura 23. Árbol de regresión de inicio de escorrentía continua. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD=Desviación estándar, N= número de observaciones.

El árbol de regresión del promedio de escorrentía máxima tuvo dos niveles, siete nodos y cuatro nodos terminales con una R^2 de 0.71. La escorrentía máxima disminuyó con una cobertura $> 44.73\%$ de cianobacterias y una intensidad nula de pastoreo (**Fig. 24**).

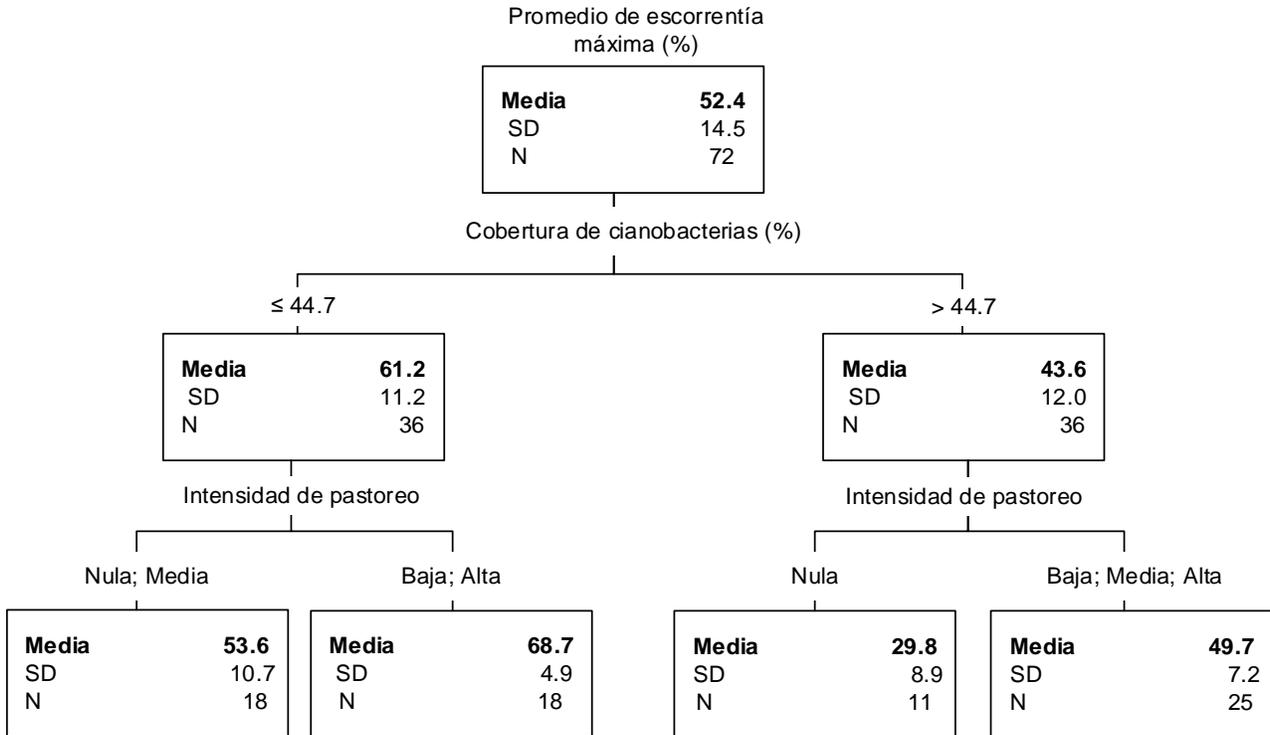


Figura 24. Árbol de regresión del promedio de escorrentía máxima. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD= Desviación estándar, N= número de observaciones.

El árbol de regresión del minuto de escorrentía máxima tuvo dos niveles, 5 nodos y dos nodos terminales con una R^2 de 0.26. La escorrentía máxima tardó más en ocurrir con una rugosidad $> 10.2\%$, y con una cobertura de cianobacterias menor de 55% ; las cianobacterias son un factor de importancia que aumentó la máxima escorrentía (**Fig. 25**).

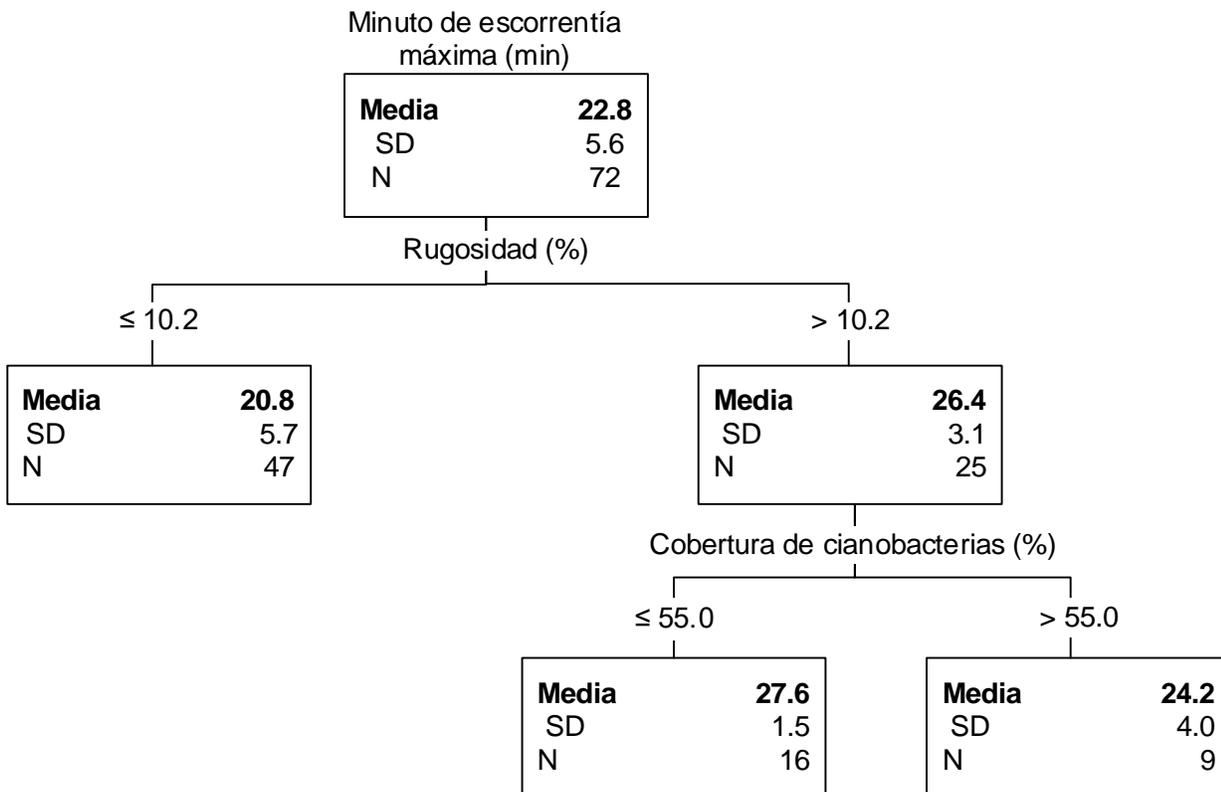


Figura 25. Árbol de regresión del minuto de escorrentía máxima. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD=Desviación estándar, N= número de observaciones.

El árbol de regresión del promedio de escorrentía tuvo tres niveles, nueve nodos y dos niveles terminales con una R^2 de 0.69. La menor escorrentía promedio ocurrió con una rugosidad > 3.64%, en condición de nula y media intensidad de pastoreo y con una rugosidad > 13.98% (Fig. 26).

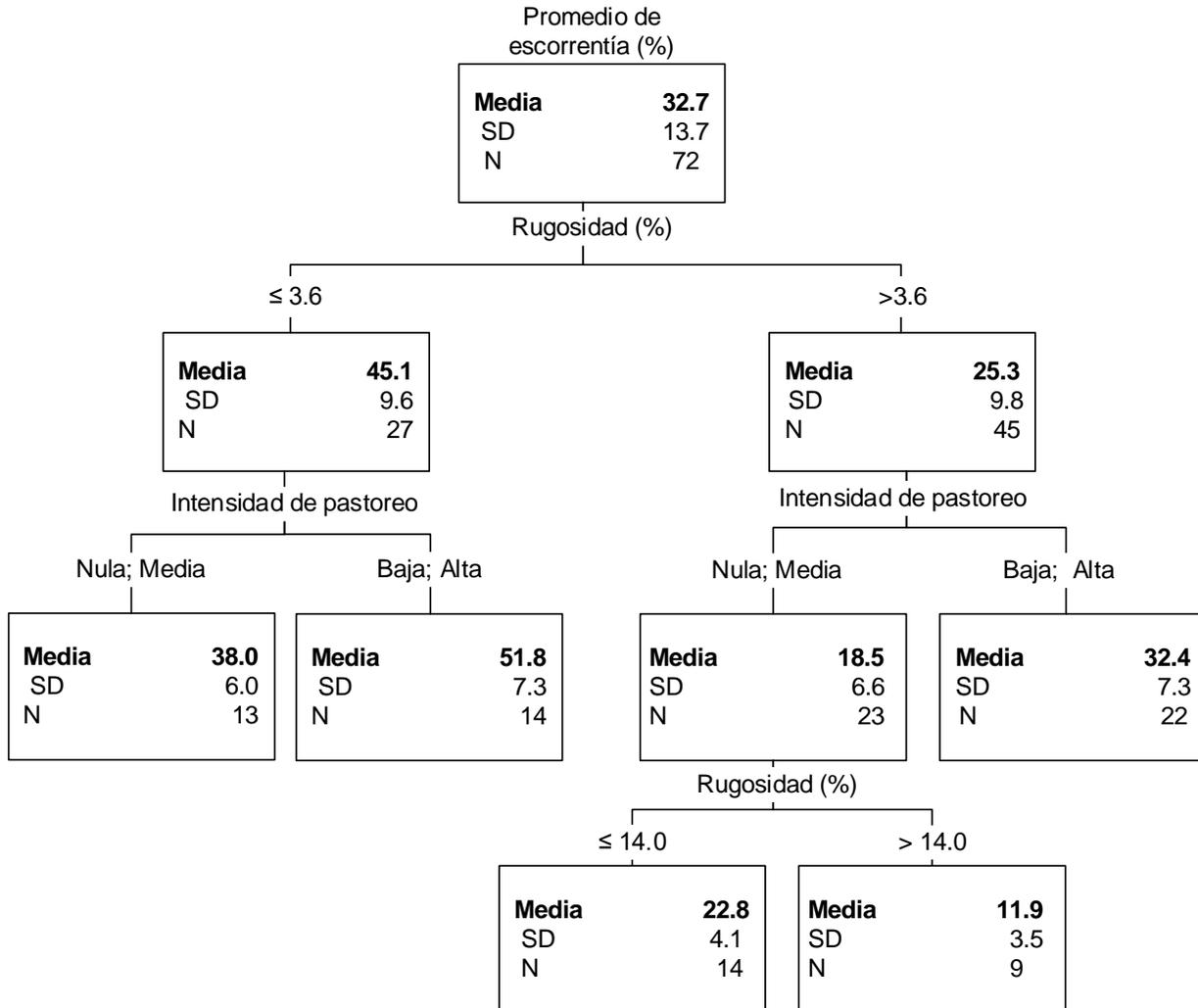


Figura 26. Árbol de regresión del promedio de escorrentía. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD=Desviación estándar, N= número de observaciones.

El árbol de regresión de producción de sedimentos tuvo dos niveles, siete nodos y cuatro nodos terminales con una R^2 de 0.82. Una menor cantidad de sedimentos fueron arrastrados cuando la rugosidad fue $> 2.27\%$ con una cobertura de líquenes $> 33.76\%$ (Fig. 27).

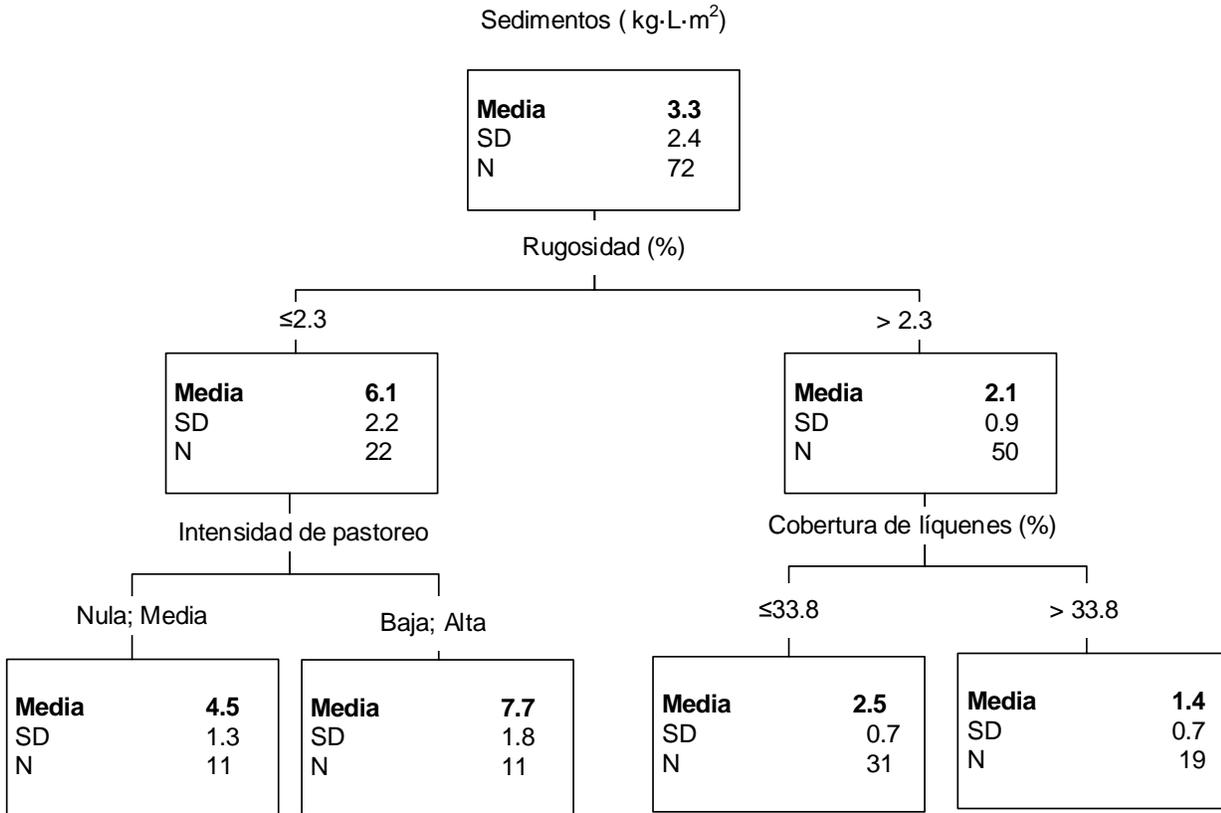


Figura 27. Árbol de regresión de los sedimentos arrastrados. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD=Desviación estándar, N= número de observaciones.

El árbol de regresión del contenido de humedad en el suelo tuvo tres niveles, siete nodos y dos nodos terminales con una R^2 de 0.54. El porcentaje del contenido de humedad en el suelo fue mayor con una densidad aparente $\leq 1.11 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$ y en caso de la densidad aparente $> 1.11 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$ se aumentó la humedad del suelo cuando la rugosidad fue $> 5.57 \%$ y la densidad aparente $< 1.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$ (Fig. 28).

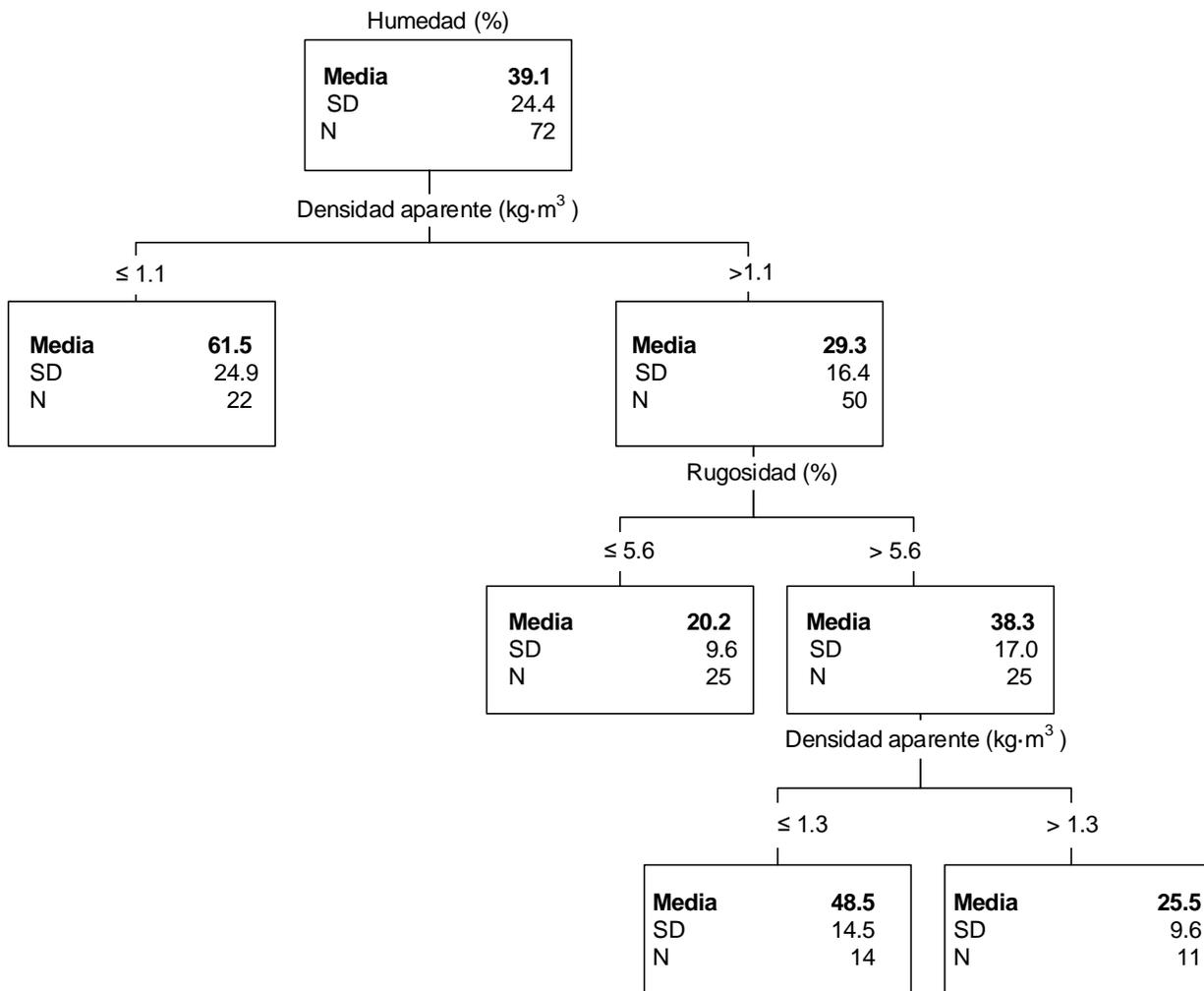


Figura 28. Árbol de regresión del contenido de humedad en el suelo. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD= Desviación estándar, N= número de observaciones.

El árbol de regresión de la profundidad de infiltración tuvo cuatro niveles, siete nodos y dos nodos terminales con una R^2 de 0.49. La profundidad de infiltración incrementó con una cobertura de líquenes $>16.2\%$. Cuando la cobertura de líquenes fue $\leq 16.2\%$, con una intensidad media de pastoreo se pudo lograr la profundidad 8.6 cm. En condiciones de una intensidad de pastoreo nula, baja y alta con una cobertura de cianobacterias $> 31.2\%$ tanto en biocostra clara como oscura se alcanzó una mayor profundidad de infiltración (**Fig. 29**).

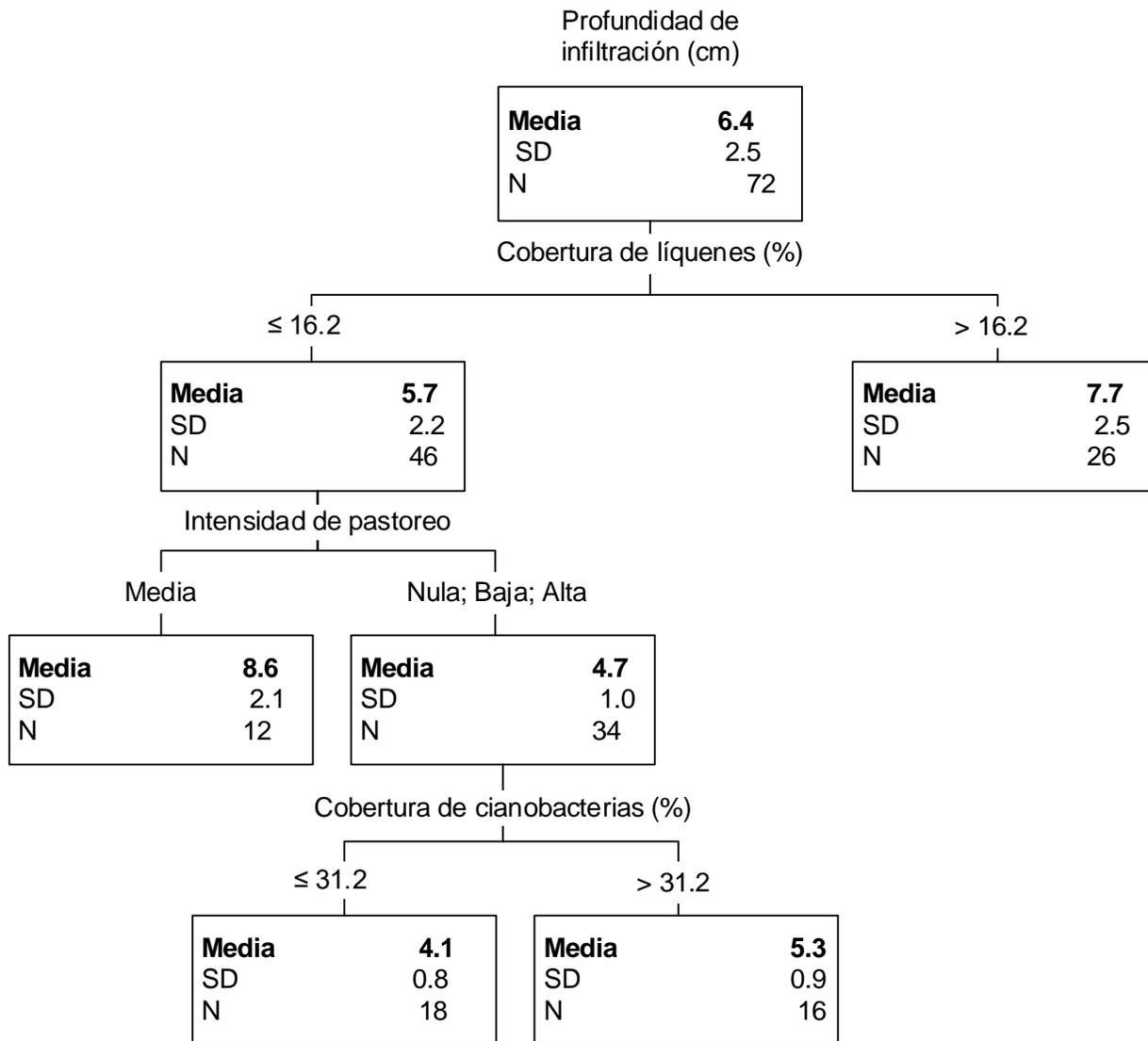


Figura 29. Árbol de regresión de la profundidad de infiltración en el suelo. Media=promedio de los datos de la variable de respuesta, SD= Desviación estándar, N= número de observaciones.

El tipo de cobertura de biocostra (clara y oscura), la riqueza y la rugosidad de su superficie fueron características de la biocostra que se vieron influenciadas por las diferentes intensidades de pastoreo. La influencia de la intensidad de pastoreo se vio reflejada en el minuto de escorrentía máxima, en los sedimentos arrastrados, en el contenido de humedad y en la profundidad de infiltración. En la baja intensidad de pastoreo, se encontró un retardo en el minuto cuando se alcanzó la escorrentía máxima en la biocostra clara, comportamiento contrario al resto de las zonas. También se observó que la intensidad de pastoreo histórica promueve un incremento de los sedimentos arrastrados en la biocostra oscura. Mientras que, en condiciones de intensidad media de pastoreo, se incrementó la profundidad de infiltración en la biocostra clara (**Cuadro 6**) (**Anexo 7**).

Cuadro 6. Respuesta ecohidrológica de la biocostra (Promedios \pm 1 error estándar) por tres tratamientos (suelo desnudo, biocostra clara y oscura) en zonas con distintas intensidades de pastoreo (nula, baja, media, alta); letras distintas entre líneas significan diferencias significativas entre tratamiento \times intensidad para cada tipo de cobertura (post hoc Tukey, $p < 0.05$).

Respuesta ecohidrológica	Biocostra dominada por	Intensidad de pastoreo			
		Nula	Baja	Media	Alta
Inicio de escorrentía (min) $p=0.16$	Suelo desnudo	6.0 \pm 4.9	3.0 \pm 2.1	5.5 \pm 1.03	5.14 \pm 2.2
	Cianobacterias	8.2 \pm 1.7	6.7 \pm 3.6	5.1 \pm 2.3	8.2 \pm 2.9
	Líquenes	14.5 \pm 4.6	11.7 \pm 4.6	16.4 \pm 5.7	10.8 \pm 2.2
Promedio de escorrentía máxima (%) $p<0.001$	Suelo desnudo	53.3 \pm 4.1b	68.0 \pm 4.3 a	49.2 \pm 3.4 b	68.5 \pm 5.5 a
	Cianobacterias	36.7 \pm 4.2 c	53.9 \pm 5.4 b	39.6 \pm 2.4 c	52.9 \pm 5.3 b
	Líquenes	22.1 \pm 4.0 d	51.4 \pm 4.3 b	63.4 \pm 7.5 a	69.5 \pm 5.5 a
Minuto de escorrentía máxima (min) $p=0.063$	Suelo desnudo	19.83 \pm 7.4	16.0 \pm 5.7	24.8 \pm 2.9	22.3 \pm 6.6
	Cianobacterias	23.6 \pm 4.5	20.5 \pm 6.3	20.8 \pm 5.9	23.3 \pm 5.6
	Líquenes	25.6 \pm 3.8	21.3 \pm 3.4	27.5 \pm 1.2	27.3 \pm 1.9
Promedio de escorrentía (%) $p=0.47$	Suelo desnudo	35.1 \pm 2.7	45.6 \pm 4.7	29.2 \pm 5.5	44.1 \pm 6.5
	Cianobacterias	18.8 \pm 2.8	32.2 \pm 6.1	21.8 \pm 3.0	27.7 \pm 3.9
	Líquenes	18.5 \pm 2.2	24.8 \pm 6.7	14.2 \pm 3.0	25.3 \pm 6.5
Sedimentos arrastrados (kg·L·m ²) $p<0.001$	Suelo desnudo	3.9 \pm 0.73 b	6.7 \pm 2.0 a	4.9 \pm 1.6 a	8.2 \pm 1.8 a
	Cianobacterias	1.8 \pm 0.24 c	2.9 \pm 0.6 b	2.3 \pm 0.4 c	2.8 \pm 0.7 b
	Líquenes	0.7 \pm 0.14 d	2.1 \pm 0.6 c	1.2 \pm 0.3 c	2.1 \pm 0.5 c
Contenido de humedad (%) $p<0.001$	Suelo desnudo	11.1 \pm 7.4 e	32.1 \pm 5.4 d	20.8 \pm 3.4 d	24.7 \pm 8.1 d
	Cianobacterias	68.2 \pm 17.3 a	10.51 \pm 6.9 e	52.1 \pm 25.0 b	43.0 \pm 15.3 c
	Líquenes	77.6 \pm 14.9 a	28.8 \pm 9.6 d	28.8 \pm 9.7 d	62.3 \pm 13.6 b
Profundidad de infiltración (cm) $p<0.001$	Suelo desnudo	3.7 \pm 0.8 c	4.5 \pm 0.7 c	10.6 \pm 0.8 a	4.2 \pm 0.6 c
	Cianobacterias	4.5 \pm 0.8 c	6.1 \pm 0.7 b	6.6 \pm 0.5 b	5.2 \pm 0.3 b
	Líquenes	7.8 \pm 2.6 a	9.9 \pm 1.7 a	5.0 \pm 0.7 b	8.9 \pm 2.1 a

6.4. FUNCIÓN SOCIOECOHIDROLÓGICA DE LA BIOCOSTRA

La función socioecohidrológica se definió integrando las implicaciones tanto ecológicas como sociales de las respuestas ecohidrológicas de las biocostras en distintas condiciones de pastoreo. En las entrevistas, se abordó de manera indirecta la importancia de los servicios ecosistémicos en relación con la presencia de biocostra y su influencia sobre los componentes de suelo, vegetación y ganado, planteando preguntas de los beneficios obtenidos para cada una de las tres actividades socioeconómicas (ecoturismo, conservación y ganadería) que se desarrollan en el Ejido La Flor y que son percibidos por los pobladores locales, CONANP y PRONATURA. Con ello, se identificaron los servicios ecosistémicos más pertinentes de soporte, regulación, aprovisionamiento y/o cultural con los que está relacionada la biocostra, los cuales variaron según el aprovechamiento de los recursos naturales por la actividad socioeconómica que se desarrolla.

Las actividades socioeconómicas han cambiado en los últimos 10 años con el objetivo de diversificarse. Para ello, la CONANP ha creado y promovido programas para la creación de obras de restauración y delimitación de potreros para apoyar a la conservación de la tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*) y mejorar el manejo de ganado. Todas estas actividades se llevaron a cabo en colaboración con los pobladores donde los pobladores recibieron recompensaciones económicas por su participación en la realización de estos proyectos. Además, se implementaron talleres de educación ambiental y capacitación, esto último dirigido a los pobladores locales, para impulsar el ecoturismo en la zona. Las colaboraciones entre pobladores locales y la CONANP han logrado que el conocimiento sobre la función integral de las obras de restauración y los proyectos de conservación sea homologado, es decir, que sea estandarizado entre los actores, además de fortalecer la identidad cultural por parte de los pobladores locales y un mejoramiento en las funciones de los componentes de suelo, biocostra, vegetación y ganado.

A pesar de esto, con las entrevistas se identificaron distintas preferencias entre los pobladores locales, CONANP y PRONATURA para realizar cada una de las actividades socioeconómicas. El 45.2% de los entrevistados, representados por el 7.1% de los

pobladores locales, 28.6% miembros de CONANP y 100% de PRONATURA priorizaron la actividad de la conservación por las obras de restauración. El 5.9% de los entrevistados, representados por el 17.8% de los pobladores locales priorizaron el ecoturismo; el 21.8% de los entrevistados, representados por el 17.8% de los pobladores locales y 14.3% miembros de CONANP priorizaron la ganadería; y el 38.1% de los entrevistados, representados por el 57.14% de pobladores locales y miembros de CONANP no priorizaron ninguna actividad.

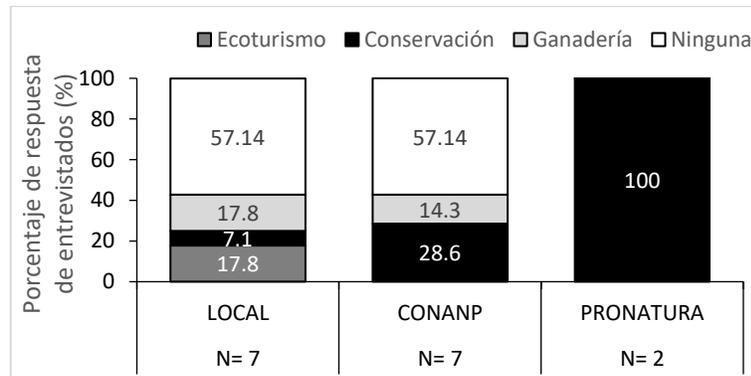


Figura 30. Priorización de las actividades económicas por los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.

La actividad socioeconómica del ecoturismo se ha desarrollado junto con las actividades de conservación, por lo que varias actividades socioeconómicas se dedican a la conservación de xxx. Dentro de las actividades de ecoturismo, los recorridos a la zona del silencio proveen beneficios por el ingreso económico, para promover la conservación de la biodiversidad de flora y fauna de acuerdo al 100% de los entrevistados pobladores locales, miembros de la CONANP y PRONATURA. La observación de la tortuga del bolsón provee beneficios al crear concientización ambiental además de que se ha vuelto un símbolo de identidad para Mapimí y una atracción turística importante de acuerdo con el 61.9% de los entrevistados, representados por el 28.6% de los pobladores locales, 51.7% miembros de CONANP y 100% de PRONATURA; pocos beneficios para el 23.8% de los entrevistados, representados por el 28.6% de pobladores locales y 42.9% miembros de CONANP; y ningún beneficio para el 14.3% restantes representados por el 42.9% de pobladores locales. Los talleres de educación ambiental, que hablan de la importancia de la conservación de la tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*) y su ecosistema, proveen beneficios al crear concientización ambiental

de acuerdo con el 81% de los entrevistados, y pocos beneficios para el 19% restante representado por pobladores locales.

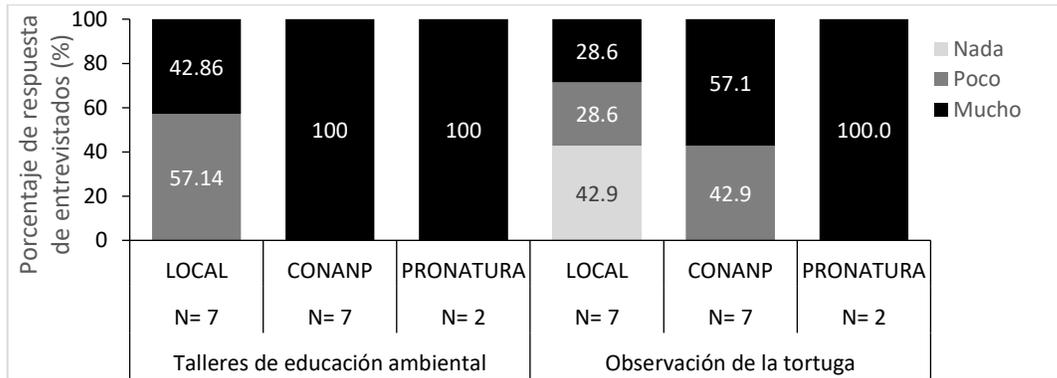


Figura 31. Beneficios percibidos por los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA de las actividades del ecoturismo. N= número de entrevistados por sector.

La actividad de conservación, de acuerdo con el 100% de los entrevistados de los diferentes sectores ha logrado reducir la erosión y ha promovido el crecimiento de la vegetación en general. Un 9.5% de los entrevistados, representados por el 14.3% de pobladores locales y 14.3% miembros de CONANP señalaron que la conservación del suelo mantiene la estética de la naturaleza, importante para mantener condiciones deseables de biodiversidad que son aprovechadas para actividades del ecoturismo por los recorridos turísticos, talleres de educación ambiental y observación de tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*), además de beneficiar a la salud humana por la reducción de polvo. Un 50% de los entrevistados, representados por el 28.5% de pobladores locales, 71.4% miembros de CONANP y 50% de PRONATURA reconocieron que la conservación del suelo ayuda también a promover la diversidad de especies de fauna al proveer alimento y hábitat.

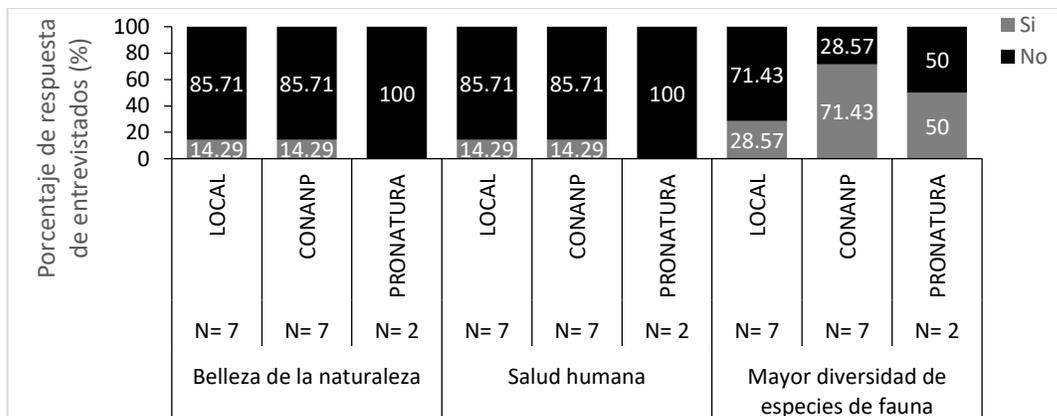


Figura 32. Beneficios percibidos por los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA de las actividades de conservación. N= número de entrevistados por sector.

El potrero de exclusión de ganado, es una de las estrategias para la conservación de la tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*), el 73.8% de los entrevistados, representados por el 71.4% de pobladores locales, 100% miembros de CONANP y 50% PRONATURA señalaron que la cobertura de vegetación ha incrementado desde su creación; mientras que el 26.2% restante, representado por el 28.6% de pobladores locales y 50% de PRONATURA desconocen los cambios que han ocurrido en la vegetación dentro del potrero de exclusión de ganado.

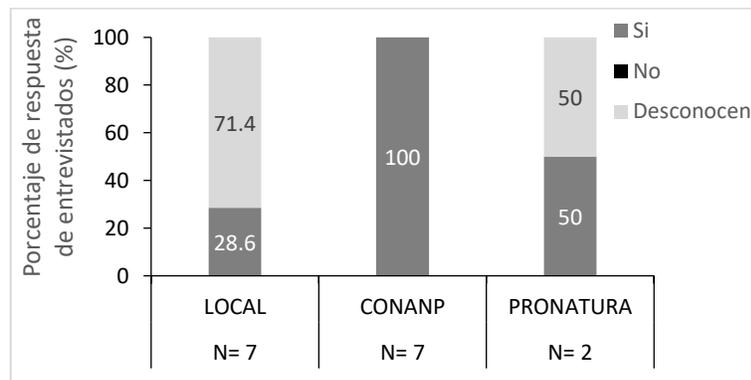


Figura 33. Incremento de la cobertura de vegetación en el potrero de exclusión de ganado de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.

Un 66.7% de los entrevistados, representados por el 57.1% de pobladores locales, 42.9% miembros de CONANP y 100% de PRONATURA reconocieron la presencia de la biocostra. No obstante, el 95.2% de los entrevistados considera que la biocostra no es un componente que beneficie, sino al contrario limita la cobertura de vegetación y para el 4.8% restante representado por pobladores locales la biocostra ayuda a la protección del suelo y evita la aparición de barreales.

La cobertura de la biocostra en las áreas de interespacios fue mayor en el potrero de exclusión de ganado en comparación con el resto de las zonas. Es importante destacar que la biocostra tiene funciones ecohidrológicas distintas en función de su cobertura, composición y riqueza. La biocostra oscura con su cobertura de líquenes ($48.9\% \pm 7.5$) favoreció una mayor infiltración; dicha cobertura aunado a la riqueza de especies de líquenes (3.7 ± 0.8) retrasó el inicio de escorrentía; mientras que la rugosidad ($17\% \pm 1.1$) y cobertura de cianobacterias ($50\% \pm 7.1$) retrasaron el tiempo cuando se alcanzó la escorrentía máxima. Por otro lado, la biocostra clara y oscura en el potrero de exclusión de ganado disminuyeron el promedio de escorrentía máxima al tener una

cobertura de cianobacterias >44.7%. Asimismo, favorecieron el contenido de humedad al tener una densidad aparente de 1.1 kg·m³ y una rugosidad >5.6%. En comparación con otras zonas, tanto la biocostra clara como la oscura retrasaron el promedio de escorrentía por su rugosidad. En conjunto, un aumento en la rugosidad y cobertura de líquenes redujo el arrastre de sedimentos lo que resulta en una mayor protección contra la erosión hídrica. Sin embargo, al comparar las biocostras dentro del mismo potrero, la biocostra oscura fue el doble de eficiente que la clara tanto para reducir el arrastre de sedimentos (**Cuadro 6**).

Estas respuestas de las biocostras indican funciones ecohidrológicas importantes que aumentan la protección del suelo ante procesos de erosión hídrica y también que contribuyen a la redistribución lateral superficial del recurso hídrico, aspectos de importancia que se vieron reflejados en una mayor funcionalidad del paisaje, donde la conservación ha favorecido condiciones de suelo, biocostra y vegetación para una mayor funcionalidad del paisaje en comparación con el resto de las zonas. Aunado a esto, están los beneficios económicos que se obtienen por la creación del potrero de exclusión de ganado, ya que de acuerdo con los pobladores locales se recibe apoyo en material para la creación de potreros de ganado y exclusión de ganado e ingresos económicos por el pago de creación de obras de restauración.

La actividad de la conservación ha favorecido a la actividad ganadera, a través de cambios en el manejo para reducir el impacto del ganado y lograr mantener un suelo de buena calidad, con una diversidad de vegetación que provea distintos usos. En el potrero de El Tanque, un 87.5% de los entrevistados, representado por el 85.7% de pobladores locales, 100% de CONANP y 50% PRONATURA indicaron que el ganado favorece la erosión por el pisoteo; un 6.2% representado por el 14.3% de locales considera que el pisoteo del ganado no favorece la erosión; y el 6.3% restante representado por el 50% de PRONATURA no cuentan con evidencia suficiente sobre la intensidad de pastoreo y los efectos del ganado en el potrero de El Tanque.

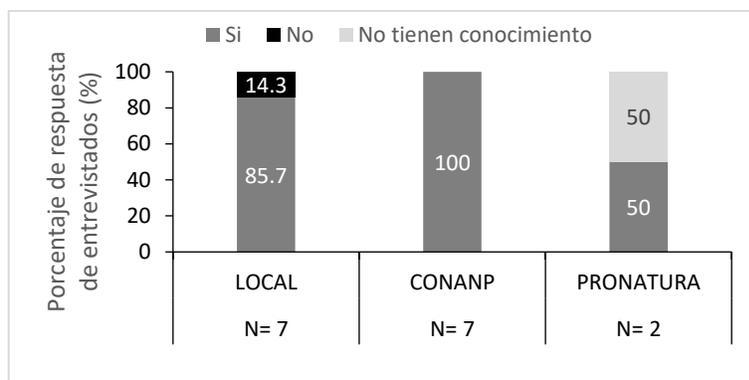


Figura 34. Incremento de erosión por ganado en el potrero de exclusión de ganado de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.

Los resultados del LFA mostraron el efecto de la intensidad de pastoreo, ya que, en una alta intensidad de pastoreo, los interparches de suelo desnudo representan un $44.6\% \pm 9.8$ del área. En cuanto a la vegetación, se encontró que la zona, donde antes eran grandes áreas de pastizales, por una alta intensidad de pastoreo continua durante un largo periodo de tiempo, no se pudo recuperar y por lo tanto dejó un legado que es evidente, ya que, en esta zona hay una mayor área de interespacios en comparación con las otras zonas de pastoreo, según lo descrito por los pobladores locales. El 62.5% de los entrevistados representados por el 42.9% de pobladores locales, 85.7% miembros de CONANP y 50% de PRONATURA señala que el ganado sigue disminuyendo la cobertura de vegetación, especialmente de pastos; un 31.2% de los entrevistados representados por el 57.1% de los entrevistados locales y 14.3% miembros de CONANP indica que esto no ocurre actualmente; y el 6.3% representado por PRONATURA señala que no tiene evidencias suficientes para opinar al respecto.

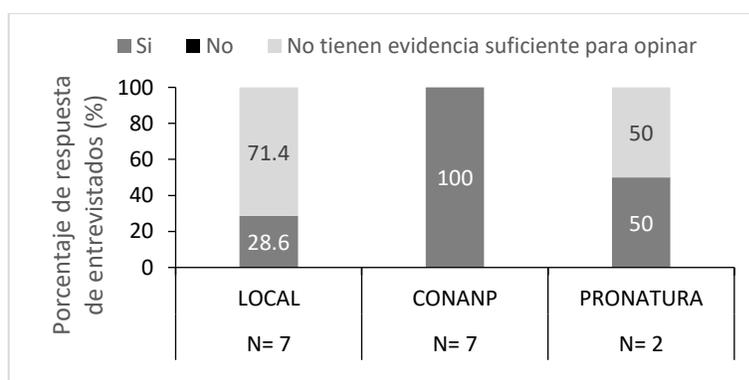


Figura 35. Reducción en cobertura de vegetación por ganado en el potrero de exclusión de ganado de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.

Los efectos de la intensidad de pastoreo sobre el suelo y vegetación han llevado a un cambio en el desarrollo de esta actividad. En un principio, se comenzó con la redistribución de agua de la noria a los abrevaderos, a través de mangueras por efecto de gravedad, lo que implicaba una reducción en el esfuerzo humano. Esta situación dio pauta a la creación de otros abrevaderos y potreros, que de acuerdo con el 100% de los entrevistados pobladores locales, miembros de la CONANP y PRONATURA han generado muchos beneficios. En conjunto, los potreros y abrevaderos han facilitado la implementación de la rotación de potreros, lo que es considerado por un 81% de los entrevistados, representados por el 71.4% de pobladores locales, el 71.4% miembros de CONANP y 100% de PRONATURA como una mejora en el manejo de ganado.

La implementación de la rotación de potreros como parte del manejo ganadero, es un requisito que se pide para la certificación en el mercado de carne orgánica, lo que trae beneficios al incrementar los ingresos económicos de los pobladores locales puesto que con ello la venta del ganado se abre a un mercado internacional. Además, el 100% de los entrevistados considera que la rotación de potreros reduce la erosión del suelo; y un 95.2% de los entrevistados, representados por el 85.7% de pobladores locales, 100% de CONANP y 100% de PRONATURA señalaron que con ello se promueve una mayor cobertura de vegetación.

La rotación de potreros, al generar potencialmente cambios en las características de los componentes de suelo, biocostra y vegetación, deberían ser monitoreados porque pueden modificar el funcionamiento de estos agostaderos y el papel de la biocostra, vegetación y suelo en los procesos ecohidrológicos y deben abordarse con cuidado. Un 75% de los entrevistados, representados por el 71.4% de pobladores locales y 71.4% miembros de CONANP consideran que existen diferencias en el comportamiento hídrico dependiendo de la intensidad de pastoreo; un 18.8% de los entrevistados, representados por el 14.3% de pobladores locales y 28.6% miembros de CONANP considera que las diferencias no se deben al pastoreo, sino a las zonas hídricas (Alto, Bajío); y un 6.2% representado por el 14.3% de pobladores locales desconoce la situación.

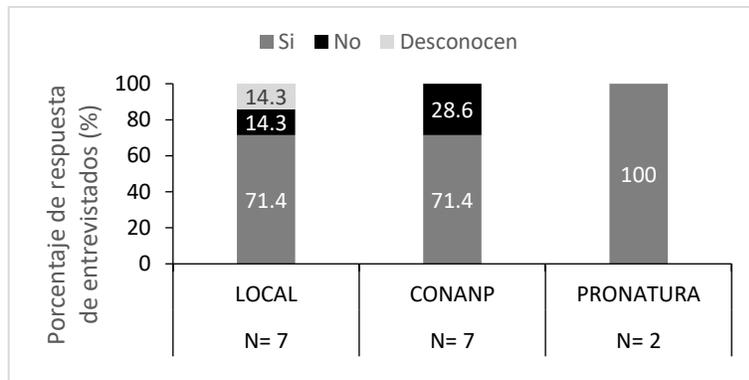


Figura 36. Diferencias entre comportamiento hídrico de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.

En este sentido, el 62.5% de los entrevistados, representados por el 28.6% de pobladores locales, 100% miembros de CONANP y 50% de PRONATURA señalaron que el ganado reduce la biocostra y favorece la escorrentía; un 25% de los entrevistados, representados por el 57.1% de pobladores locales consideran no es así; y el 12.5% representado por el 14.29% de pobladores locales y 50% de PRONATURA desconocen el grado de influencia del ganado como para provocar escorrentía. Mientras que los resultados de las simulaciones, demostraron que las intensidades de pastoreo resultaron ser factores de importancia para reducir la profundidad de infiltración, promover una mayor escorrentía y arrastre de sedimentos.

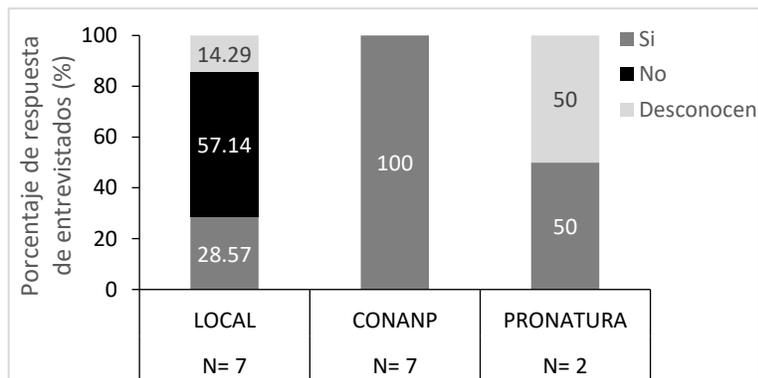


Figura 37. Escorrentía favorecida por el ganado de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.

La intensidad de pastoreo tiene una fuerte influencia sobre las características de composición, cobertura, rugosidad y riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias y especies de líquenes, que también son factores de importancia para la respuesta ecohidrológica de la biocostra. En general, la biocostra en zonas de baja, media y alta intensidad de pastoreo tuvo una cobertura de cianobacterias >44.7%, lo que ayudó a

reducir la escorrentía máxima, aunque no tanto como en la zona con nula intensidad de pastoreo. Por otro lado, la rugosidad de la biocostra tanto clara como oscura fue >5.6%, lo que promovió un mayor contenido de humedad en el suelo, aunque esta diferencia es mínima y depende de la densidad aparente, que está relacionada con la intensidad de pastoreo.

La biocostra oscura con una cobertura de líquenes >16.2% favoreció la infiltración en una intensidad de pastoreo media y alta. Esta cobertura de líquenes junto con una riqueza de más de 4 especies de líquenes retrasó el inicio de escorrentía. La rugosidad >10.2% retrasó la escorrentía máxima en todas las intensidades, y cuando fue >14% ayudó a reducir el promedio de escorrentía en zonas con una intensidad media de pastoreo. En conjunto, con la rugosidad al ser >2.3% y tener una cobertura de líquenes >33.8% se redujo el arrastre de sedimentos en todas las intensidades de pastoreo. Por otro lado, la biocostra clara con una rugosidad >10.2% y cobertura de cianobacterias >55% en una intensidad de pastoreo alta, retrasó la escorrentía máxima. Las que tuvieron una rugosidad >2.3% redujeron el arrastre de sedimentos en una intensidad de pastoreo nula y media, y las de >3.6% redujeron la escorrentía.

Esto demuestra que la función ecohidrológica de la biocostra se puede mantener bajo condiciones de pastoreo. Sin embargo, en una zona con un legado de intensidad alta de pastoreo continua, las características de suelo, vegetación y biocostra cambiaron. Los interespacios ocupan una mayor área y la cobertura de biocostra se redujo en un 20% en comparación con el resto de las zonas. La biocostra oscura fue especialmente afectada, tuvo una cobertura de líquenes <13% en todos los micrositios de interespacio, camino y bajo dosel. Su rugosidad fue <10%, con un 28% más de cobertura de cianobacterias, un 30% menos de cobertura de líquenes y un 55% menos de riqueza de especies de líquenes en comparación con las otras zonas con presencia de ganado. Esto puede considerarse como un legado del pastoreo, ya que a pesar de ser una zona donde actualmente hay baja intensidad de pastoreo, las respuestas ecohidrológicas de la biocostra son similares a las de la zona con una alta intensidad de pastoreo actual. También es importante resaltar que es una zona de inundación en época de lluvias favorecida por la reorientación de los flujos del arroyo la India que realizaron los

pobladores locales, lo que influye en altas tasas de evapotranspiración que conlleva a un incremento en la concentración de sales, lo que modifica el pH y con ello la cobertura, composición y riqueza de la biocostra.

Una de las mayores afectaciones observadas por el legado de la intensidad de pastoreo, fue la reducción en el contenido de humedad en comparación con el resto de las zonas, cuyo factor de importancia fue la densidad aparente y la rugosidad de la biocostra. En el caso de la zona con un legado de alta intensidad de pastoreo continuo, únicamente la biocostra oscura tuvo una rugosidad >5.6%, umbral que define la capacidad para mantener un mayor contenido de humedad, sin embargo, su función se ve limitada al tener una cobertura <13%. Esta situación es crítica, dado que la zona además de tener una condición histórica de alta intensidad de pastoreo, se localiza en un “Bajío” donde hay inundaciones temporales.

El 100% de los entrevistados de CONANP y PRONATURA consideran que la humedad favorece tanto la riqueza de especies y cobertura de vegetación, como la altura de la vegetación. La opinión de los pobladores locales al respecto varía, el 85.7% señalaron que un mayor contenido de humedad favorece el incremento de la riqueza de especies y cobertura de vegetación, el 14.3% restante señala desconocer al respecto. Y un 72.43% de los pobladores locales considera que la altura de la vegetación incrementa en zonas con mayor humedad, el 14.29% de pobladores locales niega esto y otro 14.29% desconoce al respecto.

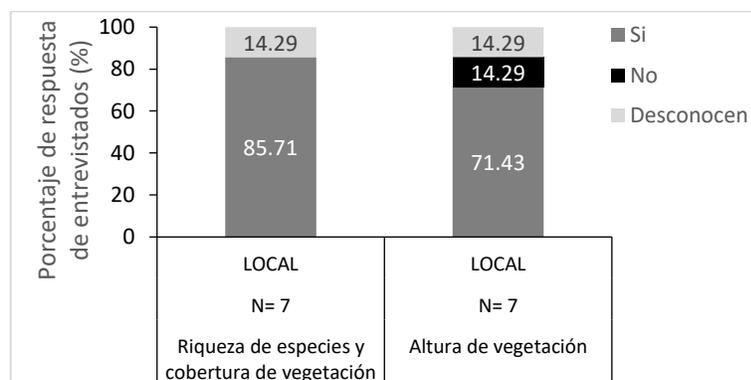


Figura 38. Beneficios en la vegetación por el incremento en el contenido de humedad del suelo de acuerdo a los pobladores locales. N= número de entrevistados por sector.

La humedad es importante también para el establecimiento de vegetación de interés por los usos para el ganado. Un ejemplo de ello, fue la representación de parches en la zona de inundación, con una cobertura de 26.1% ± 6.7 de mezquite (*Prosopis glandulosa*), mayor que en el resto de las zonas y que sirve de forraje y sombra para el ganado. El 31.2% de los entrevistados, representados por el 28.6% de pobladores locales, 28.6% miembros de CONANP y 50% de PRONATURA señalaron la presencia de mezquite (*Prosopis glandulosa*) en Bajíos, zonas de inundación; el 68.7% de los entrevistados, representados por el 71.4% de pobladores locales, 71.4% miembros de CONANP y 50% de PRONATURA no reconoce este patrón.

Por otro lado, un 37.5% de los entrevistados, representados por el 57.1% de pobladores locales, 14.3% de miembros de CONANP y 50% de PRONATURA señalaron una mayor presencia de especies anuales en zonas de inundación; un 62.4% de los entrevistados, representados por el 42.9% de pobladores locales, 85.7% miembros de CONANP y 50% de PRONATURA no ha observado esto. De acuerdo a los resultados, esta zona tuvo la menor riqueza de especies anuales.

Un 50% de los entrevistados representados por el 28.6% de los locales, 57.1% miembros de CONANP y 100% de PRONATURA consideran que los pastos se distribuyen en zonas de inundación. El otro 50% restante, representado por el 71.4% de los entrevistados locales, y 42.9% miembros de CONANP no reconocen este comportamiento. La pérdida en la capacidad de cumplir con esta función ecohidrológica de mantener el contenido de humedad y los efectos del legado de pastoreo histórico se vieron reflejados en la funcionalidad del paisaje, ya que el valor de índice de conocimiento local tuvo el valor más bajo.

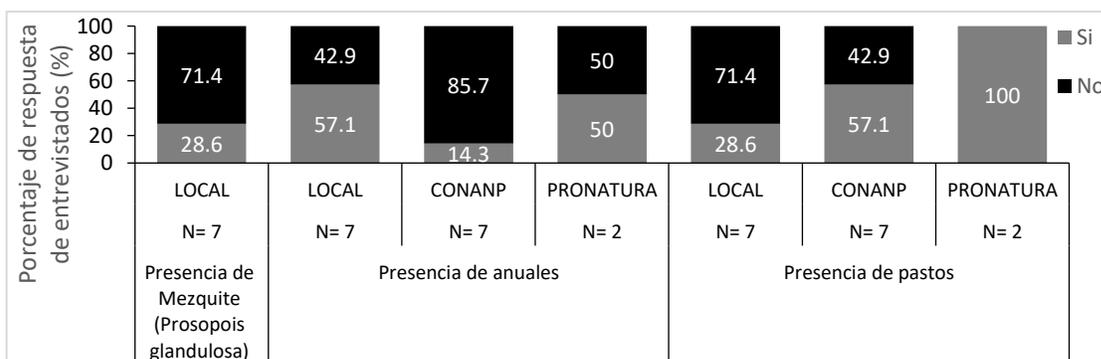


Figura 39. Diversidad de vegetación presente por el incremento en el contenido de humedad del suelo de acuerdo a los distintos actores de pobladores locales, CONANP y PRONATURA. N= número de entrevistados por sector.

En general la biocostra provee funciones socioecohidrológicas por las implicaciones sociales de sus respuestas ecohidrológicas. Las funciones ecohidrológicas de la biocostra se asocian a su contribución en la provisión de los servicios ecosistémicos. En particular en los servicios de regulación, las biocostras influyen en la distribución del flujo lateral superficial del recurso hídrico y la protección del suelo ante procesos de erosión hídrica al reducir el arrastre de los sedimentos, lo que implica un servicio ecosistémico de soporte al darle una estabilidad al suelo.

Esto, en ocasiones crea microclimas y condiciones que permiten el establecimiento de vegetación, sobre todo de especies anuales que sirven temporalmente de forraje para el ganado, con lo que provee un servicio ecosistémico de aprovisionamiento. Como consecuencia de los servicios de regulación, las biocostras contribuyen también en la provisión de los servicios ecosistémicos culturales, ya que mantienen condiciones deseables de suelo y vegetación que favorecen la multifuncionalidad del paisaje por mantener la estructura, funcionalidad y estética del sistema socioecohidrológico de la Flor, que además es parte de la identidad cultural de los pobladores locales, y sirve como espacio para la recreación de actividades de ecoturismo.

El presente trabajo propone integrar la biocostra como un componente clave del sistema socio-ecológico la Flor en talleres de educación ambiental para dar a conocer su función socioecohidrológica, de manera que pueda proveer un servicio ecosistémico cultural de manera directa para los pobladores. Asimismo, demostró a través de una descripción de los factores funcionales de la importancia de la biocostra, que el manejo de ganado es clave para evitar el cruce de umbrales de características ecohidrológicas de la biocostra, porque una vez perdido la cobertura, composición, riqueza o rugosidad de la biocostra este puede modificar el ciclo hidrológico y de manera directa e indirecta influir en la provisión de un conjunto de servicios ecosistémicos que proveen.

Se sugiere incorporar el conocimiento sobre la biocostra y su papel socioecohidrológico es fundamental para la toma de decisiones del manejo de ganado en el Ejido La Flor, dado de que con conservar la integridad funcional de la biocostra se pueda beneficiarse el desarrollo de cada una de las actividades socioeconómicas. De esta manera se busca proveer beneficios directos a los actores involucrados, ya que el 31.2% de los

entrevistados, representado por el 42.9% y 100% de PRONATURA consideran que las investigaciones académicas proveen pocos beneficios; y un 68.7% de los entrevistados, representados por el 100% de pobladores locales y 57.1% de los miembros de CONANP consideran que no proveen beneficio alguno.

7. DISCUSIÓN

Las diversas comunidades de biocostras son un componente funcional de gran importancia en los ecosistemas áridos y semiáridos, ya que son organismos especializados que pueden colonizar grandes extensiones del suelo, donde las plantas vasculares, por la falta de los recursos hídricos y minerales, no se han podido establecer. Existe un gran número de estudios que resalta la importancia de la biocostra en los procesos ecohidrológicos de estos ecosistemas (Belnap, 2006; Eldridge *et al.*, 2000, 2010; Belnap *et al.*, 2005, 2012; Chamizo *et al.*, 2012, 2015; Rodríguez *et al.*, 2015; Wei *et al.*, 2015; Xiao *et al.*, 2016; Chamizo *et al.*, 2016). Sin embargo, la funcionalidad ecohidrológica no ha sido dilucidada, ya que existen muchos factores que la modifican, incluyendo la composición de la biocostra, su cobertura, rugosidad, riqueza de grupos morfológicos de cianobacterias y de especies de líquenes, textura de suelo, uso y manejo de los ecosistemas (Belnap *et al.*, 2005, 2012; Rosentreter *et al.*, 2007; Gao *et al.*, 2010; Chamizo *et al.*, 2012, 2015; Kidron *et al.*, 2012; Kidron & Tal, 2012; Maestre *et al.*, 2012; Rodríguez-Caballero *et al.*, 2012). Algunas composiciones de biocostra, usualmente con briofitas promueven la infiltración, aunque también se ha encontrado que algunas especies de líquenes (Chamizo *et al.*, 2015; Eldridge *et al.*, 2000, 2010; Rodríguez-Caballero *et al.*, 2015), mientras otras promueven la escorrentía, principalmente la biocostra con cianobacterias o con gran cobertura de líquenes (Chamizo *et al.*, 2012; Eldridge *et al.*, 2000; Wei *et al.*, 2015). Por esta razón, es importante entender los mecanismos en como las distintas composiciones de estructuras (tejidos, morfología) y órganos de anclaje de diversas especies de cianobacterias, líquenes y musgos interactúan con las partículas de suelo y de esta manera modifican la rugosidad y estructura de la superficie del suelo, ya que todos estos factores influyen en los procesos ecohidrológicos (Belnap, 2006; Belnap & Büdel, 2016;

Eldridge *et al.*, 2010) y por ende en el funcionamiento de estos ecosistemas (Castillo & Maestre, 2011; Chamizo *et al.*, 2016; Falkenmark, 2003).

Muy pocos estudios han vinculado a estas funciones esenciales de la biocostra su aportación a la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas en las zonas áridas y al bienestar humano (Concostrina *et al.*, 2016; Rodríguez *et al.*, 2017; Szya *et al.*, 2019), a pesar de su importancia, dado de que áreas extensas en las zonas áridas son utilizadas como agostaderos, es decir, son usadas para la producción de ganado. El presente estudio exploró la función socioecohidrológica de la biocostra en el Ejido La Flor de la Reserva de la Biosfera de Mapimi, con una gran trayectoria de la actividad ganadera, que ha sido el sustento económico principal para los pobladores en este Ejido. Esta actividad económica también les ha permitido desarrollar su identidad como ganaderos, lo que implica generar un conocimiento local importante sobre estrategias de adaptación a condiciones de sequía, a cambios en la composición y productividad de la vegetación, a enfermedades de los animales y a un manejo adaptativo de los agostaderos, con el fin de proteger la biodiversidad de vegetación y fauna, además de conservar su patrimonio cultural.

El conocimiento local de los pobladores se ha ido integrando con otros actores, principalmente mediante colaboraciones con la CONANP y con PRONATURA para promover capacitaciones, proyectos de restauración y conservación que han resultado fructíferos, y que además han generado posibilidades de empleos temporales. Esto conformó un grupo de trabajo y el exitoso proyecto de ecoturismo en el Ejido La Flor. Recientemente se integró un grupo de académicos interdisciplinario de ciencias naturales y sociales; en el marco de un estudio transdisciplinario participativo, lo cual condujo a este trabajo de tesis.

En el presente estudio se abordaron y afinaron las preguntas de investigación que surgieron por un dialogo e intercambio de intereses de los distintos actores (principalmente de los pobladores del Ejido La Flor). Por el carácter participativo del método del estudio, todos los actores aportaron con su conocimiento para co-definir los sitios y los objetivos específicos del estudio, además de co-generar la historia del sistema socioecohidrológico, dedicado principalmente a la producción extensiva de

ganado, donde existe una relación directa entre los componentes, donde las características del suelo y biocostra determinarían condiciones para el establecimiento de vegetación, pero que a su vez la ganadería ejercerá una influencia sobre la cobertura de vegetación y biocostra.

En el Ejido La Flor, la biocostras se han desarrollado bajo condiciones socio-ambientales fluctuantes, considerando al clima, la vegetación y el suelo, pero también lo cultural y lo socioeconómico. Los entrevistados en el presente estudio, tanto pobladores locales, como miembros de CONANP y de PRONATURA consideraban a la biocostra no como un componente vivo independiente, sino más bien como una característica del suelo que favorece condiciones para el establecimiento de vegetación. Es así, como indirectamente reconocen a la biocostra como un indicador del suelo indirecto, ya que, al protegerlo, evita la aparición de barreales que se forman en áreas donde el suelo está desnudo; y mientras no existan barreales, es decir, mientras el suelo este cubierto por biocostra o vegetación, es considerado de buena calidad.

Las obras de restauración han sido estrategias de conservación de suelo para recuperar los servicios ecosistémicos de regulación hídrica que permita el establecimiento de vegetación y con ello se recuperen los procesos ecohidrológicos naturales para mantener la humedad, favorecer la infiltración y evitar la erosión. Todas estas funciones traerán beneficios directos e indirectos y contribuyen a la multi-funcionalidad del paisaje. A través de este estudio transdisciplinario y participativo, involucrando pobladores, representantes del sector gubernamental, asociaciones civiles, y académicos de las ciencias sociales y naturales se logró elucidar la funcionalidad socioecohidrológica de la biocostra. Es una propiedad emergente del sistema RBM, que es importante considerar en la toma de decisión cómo un aspecto clave estratégico hacia donde se pueden dirigir los esfuerzos de conservación y salvaguardar a los servicios ecosistémicos que proveen el bienestar humano.

Para ello, es necesario integrar este componente en los planes de manejo y políticas con esfuerzos colaborativos que permitan desarrollar tanto la actividad ganadera como la conservación, para asegurar que los beneficios y servicios ecosistémicos se mantengan. Ya que, como se observó, existe una estrecha relación de la biocostra con

la ganadería. Se debe prestar atención al efecto en la intensidad de pastoreo sobre sus funciones, cuidando que no se dejen legados, que llegan a ser evidentes sobre la funcionalidad del paisaje, limitando la capacidad del sistema socioecohidrológico.

Es importante recordar que una continua intensidad de pastoreo por un periodo de 28 años provocó la pérdida de la cobertura de forraje para el ganado, pérdida de suelo y biocostra y un cambio en la composición de vegetación que hasta ahora son evidentes. Esta experiencia permitió a los pobladores locales y a los miembros de CONANP y PRONATURA obtener conocimiento de las consecuencias que ha hecho que consideren la intensidad de pastoreo como un eje central de los cambios en las funciones ecohidrológicas. Bajo esta premisa, los miembros de CONANP comenzaron a implementar acciones en áreas degradadas siguiendo principios de preservación ambiental para mantener las propiedades deseadas del sistema. Así, se pretende que el presente trabajo aporte un conocimiento para entender mejor la estructura y funcionamiento del sistema socioecohidrológico para proponer e implementar estrategias que permitan seguir principios de conservación y sustentabilidad. La biocostra demostró ser un componente fundamental y clave para los servicios ecosistémicos del Ejido La Flor, cuyo funcionamiento depende de sus características de rugosidad, cobertura, riqueza y composición, las cuales son determinadas por la intensidad de pastoreo de ganado.

Asimismo, en la zona con un contexto histórico de alta intensidad de pastoreo, se observó un incremento en la densidad aparente del suelo, lo que redujo la capacidad de retención de humedad e infiltración en la biocostra clara y oscura en comparación con el resto de las zonas. Hay variables como la textura del suelo, contenido de materia orgánica, estabilidad de agregados que pudieron influir en este comportamiento y no fueron considerados en el presente estudio. Sin embargo, también puede explicarse por la reducida cobertura de líquenes en comparación con el resto de las zonas. Se propone el enfoque hacia la biocostra dominada por líquenes, ya que su capacidad para retener humedad ha sido comparada con arbustos dispersos o de vegetación anual en áreas abiertas (Cantón *et al.*, 2004). De esta manera, se podría subsanar las consecuencias del impacto histórico del ganado, lo que ha conllevado a una pérdida en la funcionalidad

del paisaje para retener humedad en épocas de secas, a pesar de que es una zona que cuenta con inundaciones temporales durante época de lluvias.

Esta situación es crítica, dado que al ser una zona árida, son más comunes los eventos pequeños de precipitación que humedecen la capa superficial del suelo (Bucci, 2011), y la capacidad de mantener la humedad, determina la supervivencia de plántulas y el establecimiento de la vegetación lo que a su vez determinará la funcionalidad del paisaje (Padilla y Pugnaire, 2007; Villagra *et al.* 2013).

Todo esto, evidencia la complejidad en las interacciones de los componentes del sistema y la necesidad de abordarlo desde un enfoque sistémico mediante la investigación participativa. Así se puede vincular la dimensión socioecológica para adquirir un conocimiento integral del funcionamiento del paisaje y de los servicios ecosistémicos que provee el sistema socioecohidrológico a través de sus diferentes componentes. Este acercamiento es útil para co-definir sistemas de manejo sostenible de los agostaderos ya que el conocimiento cogenerado como un grupo de aprendizaje puede servir como base para la generación de políticas de desarrollo sostenible.

Por eso, la propuesta para el siguiente paso de la investigación participativa, es continuar la colaboración de los pobladores locales y miembros de la CONANP, PRONATURA y academia para hacer una planificación del manejo de potreros donde se integre el componente de la biocostra lo que permite seguir manteniendo a los servicios ecosistémicos de soporte y regulación. Además, se propone una función social emergente de la biocostra, la cual pueda ser utilizada en talleres educativos para explicar su función socioecohidrológica como parte de las actividades del ecoturismo en el Ejido La Flor.

8. CONCLUSIÓN

La investigación participativa plantea una colaboración entre los actores, donde el flujo de información y aprendizaje en conjunto permitió tener un enfoque integrado y reconocer aspectos de importancia relacionados con la función socioecohidrológica de la biocostra como las condiciones actuales e históricas de la intensidad de pastoreo y

las características de composición, cobertura y rugosidad de biocostra. Con ello se creó el conocimiento de un elemento antes no priorizado en el sistema socioecológico del Ejido La Flor y surgieron propiedades emergentes por la interacción de los pobladores locales, CONANP, PRONATURA y la academia, donde se expresaron intereses y alternativas para el desarrollo socioeconómico de la actividad tanto ganadera como ecoturística.

El entendimiento de las interacciones de los elementos que integran a un sistema socioecohidrológico es bastante complejo, sin embargo, conocer el contexto histórico del manejo en el Ejido La Flor permitió comprender la co-evolución e integración inherente de los componentes que ha llevado a la estructura y la funcionalidad del paisaje. La integridad socioecohidrológica de la biocostra es fundamental en la provisión de los servicios ecosistémicos para cada una de las actividades socioeconómicas de ecoturismo, conservación y ganadería. Este estudio demostró que la funcionalidad socioecohidrológica de la biocostra se puede mantener aún con presencia de ganado. Sin embargo, es importante conocer el impacto de la intensidad de pastoreo en la estructura de la biocostra dado de que la función de la cobertura, composición, riqueza y rugosidad son vulnerables dependiendo del grado de la intensidad de pastoreo. Por ende, es importante identificar los umbrales de estas variables para aplicar un tipo de manejo adaptativo que permita mantener las características de la biocostras y su funcionalidad en la regulación hídrica.

De esta manera el presente trabajo aportó conocimiento de la funcionalidad socioecohidrológica de la biocostra y de los servicios ecosistémicos de soporte, regulación, aprovisionamiento y cultural que provee directa e indirectamente, promoviendo un bienestar humano. La presente investigación pretende servir de apoyo para la toma de decisiones que vincule a la conservación y la gestión sustentable del ganado, cumpliendo con el acuerdo internacional de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha en contra de la Desertificación y los objetivos de desarrollo sustentable del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo Sustentable.

9. REFERENCIAS

- APHA. (1988). *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (APHA).
- Balcazar, F. E. (2003). Investigación acción participativa (iap): Aspectos conceptuales y dificultades de implementación. *Fundamentos En Humanidades Universidad Nacional de San Luis*, IV(7–8), 59–77.
- Barra, H., & Hernández, L. (1992). Reseña del poblamiento y de la ganadería en el bolsón de Mapimí. *Actas Del Seminario Mapimí. Durango: Instituto de Ecología.*
- Barral, H., Bartolino, J. R., Breimer, R. ., Cornet, A., Delhoume, J. P., Ezcurra, E., Halffter, G., Montaña, C., & Ruiz de Esparza, R. (1998). *Estudio integrado de los recursos de vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí* (C. Montaña (Ed.); Instituto).
- Bautista, S., Mayor, Á. G., Bourakhouadar, J., & Bellot, J. (2007). Plant Spatial Pattern Predicts Hillslope Runoff and Erosion in a Semiarid Mediterranean Landscape. *Ecosystems*.
<https://doi.org/10.1007/s10021-007-9074-3>
- Belnap, J. (2006). The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes*, 20, 3259–3178.
- Belnap, J., & Büdel, B. (2016). Biological soil crusts as soil stabilizers. In B. Weber, B. Büdel, & J. Belnap (Eds.), *Biological Soil Crust: An organizing principle in drylands*. (Springer, pp. 305–320).
- Belnap, Jayne, Rosentreter, R., Leonard, S., Hilty-Kaltenecker, J., Williams, J., & Eldridge, D. (2001). *Biological Soil crusts: ecology and management* (USGS, Bure).
- Belnap, Jayne, Welter, J. R., Grimm, N. B., Barger, N., & Ludwig, J. A. (2005). Linkages between microbial and hydrological processes un arid and semiarid watershed. *Ecology*, 86(2), 1–5.
<https://doi.org/10.1890/03-0567>
- Belnap, Jayne, Wilcox, B. P., Van Scoyoc, M. W., & Phillips, S. L. (2012). Successional stage of biological soil crusts: An accurate indicator of ecohydrological condition. *Ecohydrology*.
<https://doi.org/10.1002/eco.1281>
- Berkes, F., & Folke, C. (Eds.). (1998). *Linking Social and Ecological Systems* (Cambridge).
- Breiman, L., Friedman, J.L., Olshen R.A., Stone C.J. (1984). Classification and regression tree. Wadsworth Inc.
- Brodo, I.M., Duran S., Sharnoff, S. (2001). Lichens of North America.
- Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and development: our common future*.
- Bucci S.J., Scholz, F.G., Logna P.A., Goldstein G. (2011). Water economy of woody species from the Patagonian steppes. *Ecologia Austral*. 21(1): 43-60.
- Cantón, Y., Solé-Benet, A., Domingo F., (2004). Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain. *Journal of Hydrology* 285: 299-204.
- Castillo, A. P., & Maestre, F. T. (2011). La costra biológica del suelo: Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(1), 1–21. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100001>
- Chamizo, S., Belnap, J., Eldridge, D. J., Cantón, Y., & Malam, O. (2016). The role of biocrust in arid land hydrology. In B. Weber, B. Büdel, & J. Belnap (Eds.), *Biological Soil Crust: An organizing principle in drylands*. (Springer, pp. 321–342).
- Chamizo, S., Cantón, Y., Lázaro, R., Solé-Benet, A., & Domingo, F. (2012). Crust Composition and Disturbance Drive Infiltration Through Biological Soil Crusts in Semiarid Ecosystems. *Ecosystems*, 15(1), 148–161. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9499-6>
- Chamizo, S., Rodríguez-Caballero, E., Cantón, Y., Asensio, C., & Domingo, F. (2015). Penetration resistance of biological soil crusts and its dynamics after crust removal: Relationships with runoffand soil detachment. *Catena*, 126, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.11.011>
- Chamizo, Sonia, Cantón, Y., Rodríguez-Caballero, E., & Domingo, F. (2015). Biocrusts positively affect the soil water balance in semiarid ecosystems. *Ecohydrology*, 9(7), 1208–1221.

<https://doi.org/10.1002/eco.1719>

- Chamizo, Sonia, Cantón, Y., Rodríguez-Caballero, E., Domingo, F., & Escudero, A. (2012). Runoff at contrasting scales in a semiarid ecosystem: A complex balance between biological soil crust features and rainfall characteristics. *Journal of Hydrology*, 452–453, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.045>
- Chicharo, L., Müller, F., & Fohrer, N. (Eds.). (2015). *Ecosystem services and river basin ecohydrology* (Springer). <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.6.1531>
- CIMMYT. (2013). *Contenido de humedad del suelo* (MasAgro). http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_view/1142-chs
- CONANP. (2006). *Programa de conservación y manejo Reserva de la Biosfera Mapimí*.
- CONANP. (2018). *Marco estratégico de turismo sustentable en Áreas Naturales Protegidas de México* (SEMARNAT).
- Concostrina, L., Molla, I., Velizarova, E., & Branquinho, C. (2016). Grazing or not grazing: implications for ecosystem services provided by biocrusts in mediterranean cork-oak woodlands: Implications of grazing for ecosystem services provided by biocrusts. *Land Degradation and Development*.
- Cornet, A. (1988). Principales características climáticas. In C. Montaña (Ed.), *Estudio integrado de los recursos de vegetación, suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí* (INECOL, pp. 45–76).
- Cornwall, A., & Jewkes, R. (1995). WHAT IS PARTICIPATORY RESEARCH ? *Soc Sci Med*, 41(12), 1667–1676.
- D’Odorico, P., Laio, F., Proporato, A., Ridolfi, L., Rinaldo, A., & Rodriguez, I. (2010). Ecohydrology of terrestrial Ecosystems. *BioScience*, 60, 898–907.
- DOF. (2006). *PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA MAPIMI*.
- Eldridge, D. J., Zaady, E., & Shachak, M. (2000). Infiltration through three contrasting biological soil crusts in patterned landscapes in the Negev , Israel. *Catena*, 40, 323–336.
- Eldridge, David J., Bowker, M. A., Maestre, F. T., Alonso, P., Mau, R. L., Papadopoulos, J., & Escudero, A. (2010). Interactive effects of three ecosystem engineers on infiltration in a semi-arid Mediterranean grassland. *Ecosystems*, 13, 499–510. <https://doi.org/10.1007/s10021-010-9335-4>
- Ernst, A. (2019). Research techniques and methodologies to assess social learning in participatory environmental governance. *Learning, Culture and Social Interaction*, 23(July). <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2019.100331>
- Europea, C. (2016). *United Nations Conventions to combat desertification*. http://ec.europa.eu/environment/international_issues/relations_unccd_en.htm
- Evans, R. D., & Lange, O. L. (2001). Biological Soil Crusts and Ecosystem Nitrogen and Carbon Dynamics. In J. Belnap & O. L. Lange (Eds.), *Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management* (Springer-V, pp. 263–279).
- F., S., & Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. *FAO Soils Bulletin*, 111.
- Faist, A. M., Herrick, J. E., Belap, J., Van Zee, J. W., & Barger, N. N. (2017). Biological soil crust and disturbance controls on surface hydrology in a semi-arid ecosystem. *Ecosphere*, 8(3), 1–13. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1691>
- Falkenmark, M. (2003). Freshwater as shared between society and ecosystems: From divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 358, 2037–2049. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1386>
- Fals-Borda, O., & Rahman Anisur, M. (1991). Action and knowledge-Breaking the monopoly with participatory action-research. *Canadian Journal for the Study of Adult Education*, 5(2), 66–71.
- Ferreira, A. F., Zimmermann, H., Santos, R., & von Wehrden, H. (2018). A Social–Ecological Systems Framework as a Tool for Understanding the Effectiveness of Biosphere Reserve Management. *Sustainability*, 10, 3608. <https://doi.org/10.3390/su10103608>

- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockstrom, J. (2010). Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*, 15(4), 20.
- Folke, Carl, & Gunderson, L. (2012). Reconnecting to the biosphere: A social-ecological renaissance. *Ecology and Society*, 17(4), 3–4. <https://doi.org/10.5751/ES-05517-170455>
- Gao, S., Ye, X., Chu, Y., & Dong, M. (2010). Effects of biological soil crusts on profile distribution of soil water, organic carbon and total nitrogen in Mu Us Sandland, China. *Journal of Plant Ecology*, 3(4), 279–284. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtq015>
- García, I., Olivera- Díaz, D., Pedroza- Sandoval, A., Martínez- Rodríguez, J. G., & Cueto- Wong, J. A. (2006). Recreación y sus impactos en la Reserva de la Biosfera Mapimí. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 5(2), 151–161.
- Gardner, W. H. (1986). Water content. In A. Klute, G. S. Campbell, R. D. Jacson, M. M. Mortlands, & D. R. Nielsen (Eds.), *Methods of soil Analysis* (ASA, SSSA, pp. 493–544).
- Gómez, A., & Dirzo, R. (1995). *Reserva de la Biosfera y otras Áreas Naturales Protegidas de México* (CONABIO, INE, & SEMARNAP (Eds.)). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- González, F. (2004). *Las comunidades vegetales de México* (M. Aguilar & W. Ramírez (Eds.); INE-SEMARN).
- Grainger, A. (2015). Is Land Degradation Neutrality feasible in dry areas? *Journal of Arid Environments*, 112, 14–24.
- Gross, J., & Stren, R. (2001). Knowledge networks in global society: Pathways to development. In J. Gross, R. Stren, J. Fitzgibbon, & M. Maclean (Eds.), *Networks of knowledge* (IPAC, IAPC, pp. 3–28).
- Hale, R. L., Armstrong, A., Baker, M. A., Bedingfield, S., Betts, D., Buahin, C., Buchert, M., Crowl, T., Dupont, R. R., Ehleringer, J. R., Endter-Wada, J., Flint, C., Grant, J., Hinners, S., Horsburgh, J. S., Jackson-Smith, D., Jones, A. S., Licon, C., Null, S. E., ... Strong, C. (2015). iSAW: Integrating Structure, Actors, and Water to study socio-hydro-ecological systems. *Earth's Future*, 3, 110–132. <https://doi.org/10.1002/2014EF000295>
- Hoffmann, I., From, T., & Boerma, D. (2014). Ecosystem services provided by livestock species and breeds, with special consideration to the contribution of small-scale livestock keepers and pastoralists. *FAO*, 66(1).
- Huber-Sannwald, E., Palacios, M. R., Moreno, J. T., Braasch, M., Peña, R. M., Verduzco, J. G., & Santos, K. M. (2012). Navigating challenges and opportunities of land degradation and sustainable livelihood development in dryland social-ecological systems: A case study from Mexico. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, 367, 3158–3177.
- INEGI. (2000). *Conteo de población y vivienda 2000. Resultados definitivos. Tabulados básicos. Chihuahua, Coahuila y Durango*.
- IVEMAR. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos* (IVEMAR).
- Kaus, A. (1992). *Common ground: Ranchers and researchers in the Mapimí Biosphere Reserve*. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2010.09.058>
- Kidron, G. J., Barinova, S., & Vonshak, A. (2012). The effects of heavy winter rains and rare summer rains on biological soil crusts in the Negev Desert. *Catena*, 95, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.02.021>
- Kidron, G. J., & Tal, S. Y. (2012). The effect of biocrusts on evaporation from sand dunes in the Negev Desert. *Geoderma*, 179–180, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.02.021>
- Kofinas, G. P., & Stuart, F. (2009). Sustaining livelihoods and human well-being during social-ecology change. In F. Stuart-Chapin, G. P. Kofinas, & C. Folke (Eds.), *Principles of ecosystem stewardship* (Springer, pp. 55–76).
- Kottak, C. (2015). Culture. In *Cultural anthropology: appreciating cultural diversity* (McGraw-Hil, pp. 22–37).

- Kutner, M.H., Neter, J., Nachtsheim, C.J. and Li, W. (2004) Applied linear statistical models, 5th Edition. McGraw- Hill Irwin, Boston.
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A. N., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C. L., Schneider, S. H., & Taylor, W. W. (2007). Complexity of Coupled Human and. *Science*, 317, 1513–1517.
- López Pardo, J. J. (2019). *Análisis participativo de las obras de restauración: caso de estudio Ejido La Soledad*.
- Maestre, F. T., Castillo-monroy, A. P., Bowker, M. A., & Ochoa-Hueso, R. (2012). Species richness effects on ecosystem multifunctionality depend on evenness , composition and spatial pattern. *Journal of Ecology*, 100, 317–330.
- Maestre, F.T. (2017). The biodesert survey: Assessing the impacts of grazing and climate change in global drylands. Dryland Ecology and global change Lab.
- Mata Paez, R. I. (2019). *Evaluación participativa del efecto de la intensidad de pastoreo en la funcionalidad ecohidrológica de los agostaderos de la Reserva de la Biósfera de Mapimí*. IPICYT.
- Nash T.H., Ryan, B.D., Gries, C., Bungartz F. (2002). Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert. Vol I.
- Nash T.H., Ryan B.D., Diederich P., Gries, C., Bungartz F. (2004). Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert. Volume II.
- Nash, T.H., Gries, C., Bungarz, F. (2008). Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region Vol III.
- Noy-Meir, I. (1973). Desert Ecosystems: Environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 25–51.
- Padilla, F.M., Pugnaire, F.I., 2007. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. *Funct. Ecol.* 21, 489–495.
- Raimondi G., Mulinaris P., Champredonde, J. (1997). Métricas para análisis textural de imágenes. Universidad Nacional de la Plata.
- Ram, A., & Aaron, Y. (2007). Negative and positive effects of topsoil biological crusts on water availability along a rainfall gradient in a sandy arid area. *Catena*, 70, 437–442. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.11.012>
- Ramírez-Carballo H., García Gutierrez I., & Martínez Rodríguez J.G. (2005). Caracterización participativa de agostaderos degradados en un predio de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Memorias del II Simposio Internacional de Manejo de Pastizales. INIFAP. Gobierno del Estado de Zacatecas A.C.
- Ramírez-Carballo H. (2008). Evaluación participativa de la degradación del suelo. Tesis de maestría. Universidad de Chapingo.
- Ramírez-Carballo H., Pedroza-Sandoval, A., Martínez-Rodríguez J.G., Valdez Cepeda R.D. (2011). Evaluación participativa de la degradación del suelo en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. *Revista Chapingo ser. cienc.for.ambient.* Vol 17: pp 1-19.
- Reyes, V. M. (1998). Dinámica de sales con simulación de lluvia en suelos salinos del Norte Árido de México. In *Colegio de Postgraduados*. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.180.2.1088>
- Rodríguez-Caballero, E., Cantón, Y., Chamizo, S., Lázaro, R., & Escudero, A. (2012). Soil loss and runoff in semiarid ecosystems : A complex interaction between biological soil crusts, micro-topography, and hydrological drivers. *Ecosystems*, 16, 529–546. <https://doi.org/10.1007/s10021-012-9626-z>
- Rodríguez-Caballero, E., Cantón, Y., & Jetten, V. (2015). Biological soil crust effects must be included to accurately model infiltration and erosion in drylands: An example from Tabernas Badlands. *Geomorphology*, 241, 331–342. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.042>
- Rodríguez, E., Castro, A. J., Chamizo, S., Quintas-Soriano, C., Garcia-Llorente, M., Cantón, Y., & Weber, B. (2017). Ecosystem services provided by biocrusts: From ecosystem functions to social values. *Journal of Arid Environments*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.005>
- Rosentreter, R., Bowker, tthew, & Belnap, J. (2007). *A Field Guide to Biological Soil Crusts of Western U.S. Drylands*. 104. <https://doi.org/10.1639/BRYOLOGIST-D-13-00038.1>

- Rzedowski, J., & Rzedowski, G. C. (2005). *Flora fanerogámica del Valle de México* (CONABIO. I).
- Saleh, A. (1993). Soil roughness measurement: Chain method. *Journal of Soil and Water Conservation*, 48(6), 527–529.
- SCT-DGST (2019). Isoyetas de intensidad de lluvia (mm/hr) Período de retorno de 10 años.
- Sivapalan, M., Savenije, H. H. G., & Blöschl, G. (2012). Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrological Processes*, 26(8), 1270–1276. <https://doi.org/10.1002/hyp.8426>
- SMN. (2010). *Información Climatológica [WWW Document]*. <http://smn.cna.gob.mx/es/%0Ainformacion-climatologica-ver-estado?estado=dgo>
- Steven, B., Gallegos-Graves, L. V., Yeager, C., Belnap, J., & Kuske, C. R. (2014). Common and distinguishing features of the bacterial and fungal communities in biological soil crusts and shrub root zone soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 69, 302–312.
- Szya, M., Gonçalves, A., Oliveira, F., Leal, I., Tabarelli, M., Büdel, B., & Wirth, R. (2019). Neglected but Potent Dry Forest Players: Ecological Role and Ecosystem Service Provision of Biological Soil Crusts in the Human-Modified Caatinga. *Front. Ecol. Evol.*
- Toledo, A. (2014). *Planificación de sistemas socioecológicos complejos* (UACM & CENTROGEO (Eds.)).
- Tongway, D.J. & Hindley N.L. (2004). Landscape function analysis. Procedures for monitoring and assessing Landscapes. CSIRO.
- UNESCO. (2000). *Biosphere Reserves: Special places for people and nature* (Issue October).
- UNESCO. (2010). *Red Mundial de Reservas de Biósfera: Lugares de desarrollo sostenible 2010*. <http://unesdoc.unesco.org/images/0020/002070/207051s.pdf>
- UNESCO. (2015). *Programa El Hombre y la Biosfera para América Latina y el Caribe*.
- Union, E. (2018). *World Atlas of Desertification* (M. Cherlet, C. Hutchinson, J. Reynolds, J. Hill, S. Sommer, & G. von Maltitz (Eds.)). <https://doi.org/10.2760/9205>
- Valencia, J. C., Díaz Nigenda, J. ., & Ibarrola Reyes, H. (2004). La gestión integrada de los recursos hídricos en México. In H. Cotler (Ed.), *El manejo integral de cuencas en México* (INE-SEMARN, pp. 201–209).
- van Es, H., & Schindelbeck, R. (2003). Field Procedures and Data Analysis for the Cornell Sprinker Infiltrometer. *Department of Crop and Soil Science Research Series*, 1–8.
- Villagra, P. E., Meglioli, P. A., Pugnaire, F. ., Vidal, B., Aranibar, J., & Jobbágy, E. (2013). La regulación de la partición del agua en zonas áridas y sus consecuencias en la productividad del ecosistema y disponibilidad de agua para los habitantes. *Servicios Ecosistémicos Hídricos: Estudios de Caso En América Latina y El Caribe*.
- Weber, Bettina, Büdel, B., & Belnap, J. (2016). *Biological Soil Crusts as an Organizing Principle in Drylands*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30214-0_1
- Wei, W., Yun, Y., & Chen, L. (2015). Response of surface soil hydrology to the micro-pattern of bio-crust in a dry-land loess environment, China. *PLoS ONE*, 10(7), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133565>
- Williams, A. J., Buck, B. J., & Beyene, M. A. (2012). Biological Soil Crusts in the Mojave Desert, USA: Micromorphology and Pedogenesis. *Soil Science Society of America Journal*, 76(5), 1685. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0021>
- Xiao, B., Hu, K., Ren, T., & Li, B. (2016). Moss-dominated biological soil crusts significantly influence soil moisture and temperature regimes in semiarid ecosystems. *Geoderma*, 263, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.012>
- Yeaton, R. I., Travis, J., & Gilinsky, E. (1977). Competition and Spacing Plant Communities: The Arizona Upland Association. *Journal of Ecology*, 65(2), 587–595.
- Zalewski, M., Janauer, G. A., & Jolankai, G. (1997). Ecohydrology a new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. *UNESCO IHP Technical Documents in Hydrology*, 7.

ANEXOS

ANEXO 1. ENTREVISTA DE LA FUNCIONALIDAD DEL PAISAJE

Objetivo de la entrevista: Identificar los intereses de los pobladores locales, CONANP y PRONATURA. Además de obtener el conocimiento local de los componentes de importancia para la funcionalidad del paisaje, sus relaciones y funciones eco hidrológicas y cómo éstos han cambiado en el tiempo.

Fecha: _____ Edad: _____

Nombre: _____

1. ¿Cree que algunas de las siguientes características influyen en que el suelo se encuentre sin vegetación y suelto?

- | | | | |
|----|--|----------|----------|
| a) | Tipo de vegetación (pastos o arbustos) | Si _____ | No _____ |
| b) | Cantidad de vegetación | Si _____ | No _____ |
| c) | Tipo de ganado (ovino, bovino) | Si _____ | No _____ |
| d) | Manejo de ganado | Si _____ | No _____ |
| e) | Cantidad de ganado | Si _____ | No _____ |
| f) | Exclusión de ganado | Si _____ | No _____ |
| g) | Cercanía a los abrevaderos | Si _____ | No _____ |
| h) | Tipo de suelo | Si _____ | No _____ |
| i) | Sequía | Si _____ | No _____ |
| j) | Inundaciones temporales | Si _____ | No _____ |
| k) | Bordos o microcuencas | Si _____ | No _____ |
| l) | Veredas de automóviles | Si _____ | No _____ |
| m) | Veredas de ganado | Si _____ | No _____ |
| n) | Otro ¿Cuál? | Si _____ | No _____ |

2. ¿Ha observado si alguno de las siguientes condiciones ayuda a que aumente la cobertura de la vegetación?

- | | | | |
|----|--------------------------------|----------|----------|
| a) | Años lluviosos | Si _____ | No _____ |
| b) | Lugares donde dominan pastos | Si _____ | No _____ |
| | ¿Cuáles? _____ | | |
| c) | Lugares donde dominan arbustos | Si _____ | No _____ |
| | ¿Cuáles? _____ | | |
| d) | Exclusión de ganado | Si _____ | No _____ |
| e) | Bordos o microcuencas | Si _____ | No _____ |
| f) | Tipo de suelo | Si _____ | No _____ |
| g) | Color de suelo | Si _____ | No _____ |
| h) | Otro ¿Cuál? | Si _____ | No _____ |

3. ¿La diversidad de la vegetación ha cambiado en el tiempo?
Si _____ No _____
4. ¿De qué forma ha cambiado?
_____Ha disminuido ___Ha sido igual _____Ha aumentado _____No se
5. ¿La cobertura de la vegetación ha cambiado en el tiempo?
Si _____ No _____
6. ¿De qué forma ha cambiado?
_____Ha disminuido ___Ha sido igual _____ Ha aumentado ____ Varía ___No se
7. ¿El cambio ha sido el mismo en todos lados o varían dependiendo del lugar?

8. Si ha variado ¿a qué se ha debido? ¿Cómo influye el ganado en los tipos de vegetación?

9. ¿Estos cambios varían dependiendo del uso de potreros? ¿Cómo cambian?

10. ¿Cuándo ocurrió el cambio?

11. ¿Esto ha tenido beneficios o ha perjudicado?

12. ¿Cuáles son?

13. ¿Cuáles son los diferentes usos de la vegetación (alimento, forraje, medicinal, etc.)?

14. ¿Qué tipo de vegetación es importante para estos usos?

15. De acuerdo a los usos de vegetación, ¿cuántos beneficios provee?

Uso de vegetación	Mucho	Poco	Nulo

16. ¿Los usos de la vegetación han cambiado en el tiempo? ¿De qué forma? ¿Por qué?
_____Ha disminuido ___Ha sido igual _____Ha aumentado Varía____ No se _____

17. ¿Qué usos de vegetación son de su interés?
___ Forraje ___ Consumo ___ Medicinal ___ Conservación ___ Otro
¿Cuáles? _____

18. ¿Podría dar el nombre de la vegetación de su interés?

19. ¿Qué características toma en cuenta para evaluar la vegetación?
___Cantidad de hojas _____ Estado de las hojas (ramoneada)
___ Color de hojas _____ Altura de la planta

___ Otras ¿Cuáles? _____

20. ¿Qué características toma en cuenta para evaluar el suelo?

___ Presencia de camino de ganado ___ Profundidad de camino de ganado

___ Marcas de automóvil ___ Suelo desnudo

___ Biocostra ___ Con vegetación

___ Otras ¿Cuáles? _____

En la visita anterior se tomó la siguiente fotografía en un lugar cercano a un abrevadero y reja, justo antes de llegas a La Flor donde el suelo era de color negro con una capa como rugosa.



21. ¿Tiene algún nombre este suelo con “capa”? ¿Cuál? _____

22. ¿Tiene algún significado? ¿Cuál? _____

23. ¿Tiene algún uso? ¿Cuál? _____

24. ¿Se considera importante para algo? ¿Para qué? _____

25. ¿Qué diferencias nota cuando el suelo tiene esta “capa” y cuando no la tiene?

26. ¿Ha notado en qué estado se encuentra el suelo cuando se ve así?

a) La tierra esta suelta Si ___ No ___

b) La tierra esta compacta Si ___ No ___

c) En áreas donde hay arbustos Si ___ No ___

¿Cuáles? _____

d) En áreas donde hay pastos Si ___ No ___

¿Cuáles? _____

e) Otra ¿Cuál? _____ Si ___ No ___

27. ¿Ha notado si aparece cuando hay mucha o poca vegetación? ¿Qué tipo de vegetación?
¿Ha observado si se relaciona con la presencia de alguna planta en específico?
28. ¿Ha notado si esta “capa” ocurre en algún suelo en específico?
a) Arenoso Si ___ No ___
b) Arcilloso (barroso) Si ___ No ___
c) Otro _____
29. ¿Ocurre en presencia o cercanía de veredas de vehículos? Si ___ No ___
30. ¿Ocurre en presencia o cercanía de veredas de ganado? Si ___ No ___
31. ¿Ha observado si esta “capa” ocurre en lugares donde hay bordos o microcuencas?
Si _____ No _____
32. ¿En zonas de exclusión de ganado? Si ___ No ___
33. ¿Su cobertura ha cambiado a lo largo del tiempo? Si ___ No ___
34. Si es así ¿ha notado si se debe a algún motivo en específico? Si ___ No ___
¿Cuál? _____
35. ¿De qué forma ha cambiado?
____Ha disminuido ____Ha sido igual ____ Ha aumentado ____ Varía ____No se
36. Si ha variado ¿a qué se ha debido?

37. El cambio ha sido el mismo en todos lados o varían dependiendo del lugar?

38. ¿Cuándo?

39. ¿Esto ha tenido beneficios o ha perjudicado?

40. ¿Estos beneficios han cambiado dependiendo del uso de potreros? ¿Cómo cambian?

41. ¿Cuáles son?

42. ¿Qué características influyen para determinar el comportamiento del agua (si escurre, se infiltra o se encharca)?
a) La cobertura de la vegetación Si ___ No ___
b) El tipo de vegetación Si ___ No ___
c) El tipo de suelo Si ___ No ___
d) La “capa” negra Si ___ No ___
e) Otro Si ___ No ___
¿Cuál? _____
43. ¿Cómo influye la cobertura vegetal al comportamiento del agua?
a) Se encharca Si ___ No ___
b) Se escurre Si ___ No ___
c) Se infiltra Si ___ No ___
44. ¿Existe alguna diferencia en el comportamiento del agua de acuerdo al tipo de vegetación (pastos, arbustos)? Si ___ No ___
45. ¿Cómo influyen los pastos en el comportamiento del agua?
a) Se encharca Si ___ No ___

- b) Se escurre Si ___ No ___
 c) Se infiltra Si ___ No ___
46. ¿Cómo influyen los arbustos en el comportamiento del agua?
 a) Se encharca Si ___ No ___
 b) Se escurre Si ___ No ___
 c) Se infiltra Si ___ No ___
47. ¿Existe alguna diferencia en el comportamiento del agua de acuerdo al tipo de suelo?
 Si _____ No _____
48. ¿Cómo influyen el suelo arcilloso en el comportamiento del agua?
 a) Se encharca Si ___ No ___
 b) Se escurre Si ___ No ___
 c) Se infiltra Si ___ No ___
49. ¿Cómo influyen el suelo rocoso en el comportamiento del agua?
 a) Se encharca Si ___ No ___
 b) Se escurre Si ___ No ___
 c) Se infiltra Si ___ No ___
50. ¿Cómo influyen el suelo arenoso en el comportamiento del agua?
 a) Se encharca Si ___ No ___
 b) Se escurre Si ___ No ___
 c) Se infiltra Si ___ No ___
51. ¿Qué comportamiento tiene la “capa del suelo” cuando llueve?
 d) Se encharca Si ___ No ___
 e) Escurre Si ___ No ___
 f) Infiltra Si ___ No ___
 g) Cambia de color Si ___ No ___
 h) Cambia de forma Si ___ No ___
 i) Incrementa el espacio en que se observa Si ___ No ___
 j) Disminuye el espacio en que se observa Si ___ No ___
52. ¿Tiene interés en conocer algunas características de suelo en sitios o potreros particulares?
-
53. ¿Le interesaría saber alguno de los siguientes temas?
 a) Erosión del suelo Si _____ No _____
 ¿para usted qué significa que el suelo este erosionado?

 ¿A qué se debe la erosión?

- b) El comportamiento del suelo cuando llueve (encharcamiento, infiltración, escorrentía
 Si _____ No _____
- c) Características del suelo que favorecen crecimiento de vegetación Si _____
 No _____
- d) Compactación del suelo Si _____ No _____

ANEXO 2. ENTREVISTA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA BIOCOSTRA

Objetivo:

Conocer la percepción de la gente con respecto a los servicios ecosistémicos y los beneficios humanos que proveen los componentes biocostra, suelo, vegetación y ganado, así como los beneficios de las actividades socioeconómicas que se desarrollan en el Ejido La Flor y cómo éstos han cambiado en el tiempo.

1. ¿Considera que las siguientes actividades proveen beneficios?

Ecoturismo Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
 Conservación de suelo Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
 Conservación de vegetación Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
 Ganadería Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____

2. ¿Considera que los siguientes proveen beneficios?

Potreros de exclusión Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
 Obras de restauración Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
 Rotación de potreros Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
 Cobertura de matorral Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
 Cobertura de pastizal Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
 Diversidad de vegetación Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
 Biocostra Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
 Otros programas de CONANP o gobierno ¿Cuáles? _____

3. Indique qué tantos beneficios proveen los siguientes aspectos:

	Mucho	Poco	Nada
Actividad de ecoturismo (observación de flora y fauna)			
Actividad de ecoturismo (recorridos a la zona del silencio)			
Actividad de ecoturismo (talleres)			
Actividad de conservación de suelo			
Actividad de conservación de especies			
Potreros de exclusión			
Obras de restauración			
Actividad ganadera			
Rotación de potreros			
Cobertura de vegetación			
Diversidad de vegetación			
Biocostra			
Proyectos de investigación académicos			
Otros programas de CONANP o de gobierno ¿cuáles?			

4. Indique cómo han cambiado los beneficios de los siguientes aspectos en los últimos 10 años

Beneficios por...	Ha disminuido (año) (evento)	Ha sido igual	Ha aumentado (año) (evento)	No se
Actividad de ecoturismo				
Actividad de conservación				
Potreros de exclusión de ganado				
Obras de restauración				
Actividad ganadera				
Rotación de potreros				

5. Indique del 1 al 4 la preferencia en desarrollar las siguientes actividades económicas
 Ecoturismo Ganadería Conservación Otras ¿Cuáles? _____
6. Indique un aproximado del tiempo (hace cuántos años) lleva realizando las siguientes actividades
 Ecoturismo Ganadería Conservación Otras ¿Cuáles? _____
7. En cuanto a la actividad del ecoturismo ¿podría indicar quienes se involucran en ello?
 Mujeres Hombres Niños CONANP PRONATURA
8. En cuanto a la actividad ganadera ¿podría indicar quienes se involucran en ello?
 Mujeres Hombres Niños CONANP PRONATURA
9. En cuanto a la actividad de conservación ¿podría indicar quienes se involucran en ello?
 Mujeres Hombres Niños CONANP PRONATURA
10. ¿Qué beneficios con la creación de la exclusión de tortuga?
 Apoyo en material para creación del potrero de la exclusión de ganado
 Pago por servicios ambientales por creación de potreros de exclusión de ganado
 Pago por creación de obras
 Oportunidad para actividades de ecoturismo
11. ¿Qué beneficios se obtienen por tener el manejo rotacional de ganado?

12. ¿Qué beneficios obtienen por las investigaciones académicas que se realizan?

13. ¿Qué temas de las investigaciones consideran que les han sido más útiles?

14. ¿Reciben visitas escolares en el Ejido? ¿De qué edades? ¿Qué les enseñan en éstas visitas?

15. ¿En el ecoturismo se incluyen aspectos de educación ambiental? ¿Existen talleres de educación ambiental para los turistas? Si es así, ¿en qué consisten?

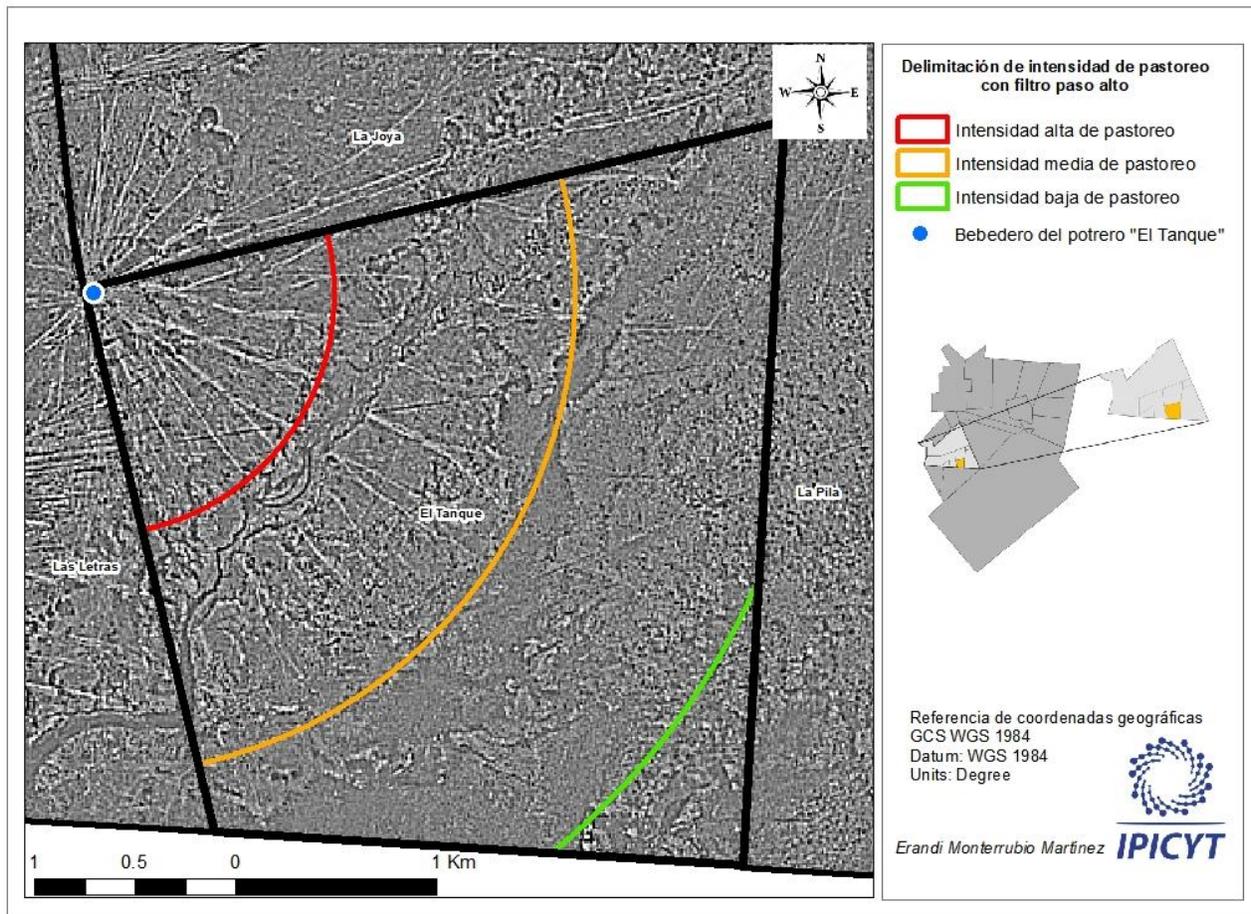
16. ¿Qué beneficios obtienen por el mercado de carne orgánica?

17. ¿Qué tipo de mercado tienen con la carne orgánica? ¿Qué tipo de mercado tenían antes de esto?

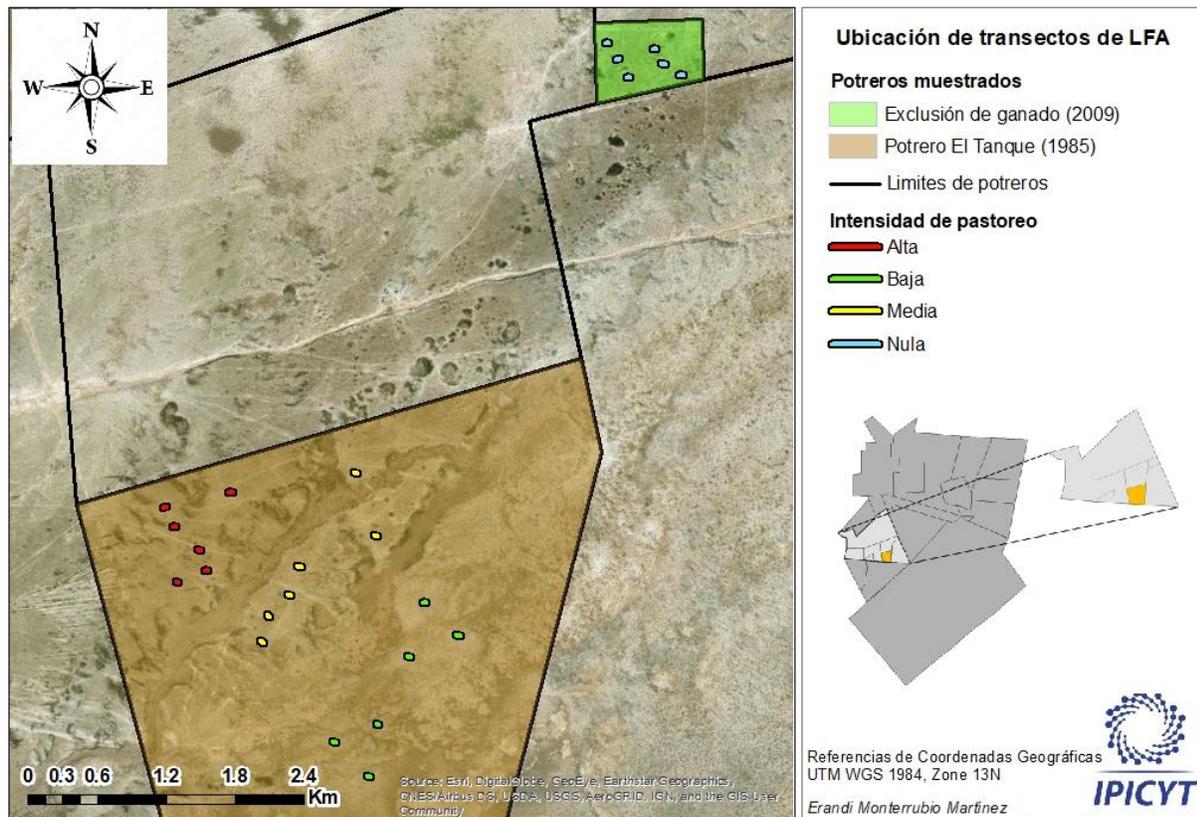
18. ¿Cuánto tiempo pasa para que el ganado salga al mercado?

19. ¿Considera que alguna de las siguientes opciones ha beneficiado a la actividad del ganado?
- Creación de abrevaderos Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
- Creación de potreros Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
- Ubicación de las norias Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
20. ¿Considera que alguno de los siguientes cambia entre áreas con mayor y menor humedad?
- Especies de vegetación Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
- Altura de la vegetación Si ___ No ___ ¿Cuáles? _____
- Otra característica de la vegetación ¿Cuál? _____
21. ¿Considera que alguna especie de vegetación está presente cuando hay más humedad en el suelo?
- Si ___ No ___ ¿Cuál? _____
22. ¿Considera que existe algún beneficio por la presencia de esta vegetación cuando hay más humedad?
- Si ___ No ___ ¿Cuál? _____
23. ¿Considera si alguna especie de vegetación está presente cuando el suelo es más seco?
- Si ___ No ___ ¿Cuál? _____
24. ¿Considera que existe algún beneficio por la presencia de esta vegetación cuando hay menos humedad?
- Si ___ No ___ ¿Cuál? _____
25. ¿Cómo se pueden reconocer áreas de inundación?
- _____
- _____
26. ¿Considera que alguna especie de vegetación está presente en áreas de inundación?
- Si ___ No ___ ¿Cuál? _____
27. ¿Considera que existe algún beneficio por la presencia de esta vegetación en áreas de inundación?
- Si ___ No ___ ¿Cuál? _____
28. ¿Existen cambios en las características del suelo cuando son áreas de inundación?
- Si ___ No ___ ¿Cuál? _____
29. ¿Considera que hay diferencias en el comportamiento hídrico entre potreros con y sin exclusión de ganado?
- Si ___ No ___ ¿Cuál? _____
30. ¿A cree que se deban éstas diferencias?
- _____
31. ¿Cuál es la diferencia entre potreros?
- _____

ANEXO 3. MAPA DEL ANÁLISIS DE TEXTURAS PARA IDENTIFICACIÓN DE VEREDAS DE GANADO Y DETERMINACIÓN DE INTENSIDADES DE PASTOREO



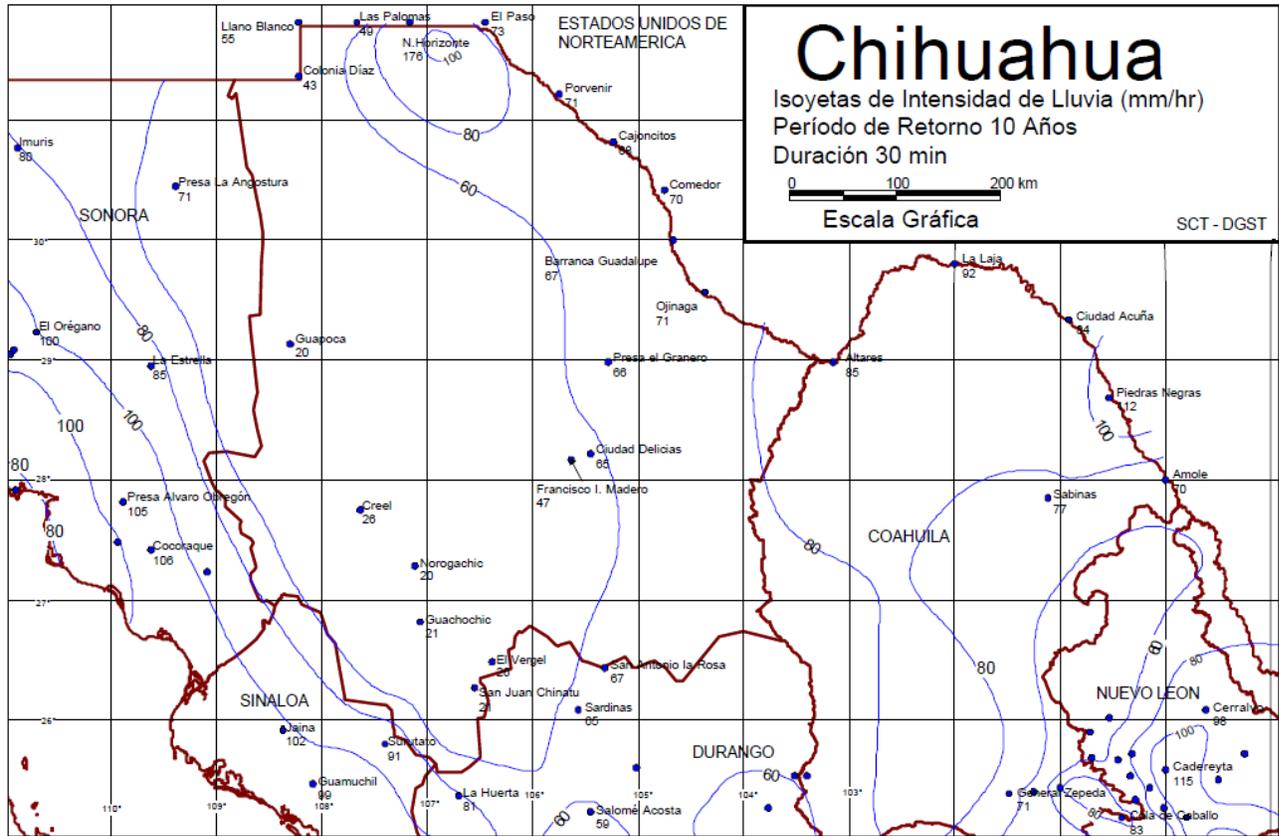
ANEXO 4. MAPA DE LA UBICACIÓN DE LOS TRANSECTOS DEL ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DE PAISAJE (LFA)



**ANEXO 5. ASPECTOS DEL ÍNDICE DE CONOCIMIENTO LOCAL DE LA
FUNCIONALIDAD DEL PAISAJE**

Subíndice		Aspecto	Variable / Fórmula	Valor
Condición de suelo			Barreal	-1
			Suelo cubierto	1
Presencia de especies	Spp.A.	Especies anuales	$= \frac{\text{número de anuales por zona}}{\text{número de anuales en total}}$	0 a 1
	Spp. P.	Especies perennes	$= \frac{\text{número de perennes por zona}}{\text{número de perennes en total}}$	0 a 1
	Riq.	Riqueza de especies	$= \frac{\text{número de especies por zona}}{\text{número de especies en total}}$	0 a 1
	Spp. D.	Especies deseables	$= \frac{\text{número de spp deseables por zona}}{\text{número de spp deseables en total}}$	0 a 1
	Spp. N.D.	Especies no deseables	$= - \frac{\text{número de spp no deseables por zona}}{\text{número de spp no deseables en total}}$	0 a 1
Características de la vegetación	H.V.	Altura de vegetación	Baja	-1
			Alta	1
	V.V.	Verdor de la vegetación	Seco	-1
			Húmedo	1
	Cob. V.	Cobertura de la vegetación	Baja	-1
			Media	1
			Alta	2
P.M.	Presencia de mogotes	Si	1	
		No	0	
Condición hídrica	Zona de inundación	Si	1	
		No	-1	
Valor de uso *	Uso R.	Por riqueza de especies	$= \frac{\text{número de especies por uso}}{\text{número de especies en total por uso}}$	0 a 1
	Uso C.U.	Por cantidad de usos	$= \frac{\sum \text{número de usos por zona}}{\text{número de usos posibles en potrero}}$	0 a 1
*el valor por uso se asignó de acuerdo al manejo (ganadero o conservación)				
Cálculo de subíndices			Fórmulas	
Valores calculados	C.S.	Condición de suelo	$= \text{valor barreal} + \text{valor suelo cubierto}$	0 a 1
	P.Spp.	Presencia de especies	$= \text{Spp. A.} + \text{Spp. P.} + \text{Riq.} + \text{Spp. D.} + \text{Spp. N. D.}$	0 a 1
	C.V.	Características de vegetación	$= \text{H. V.} + \text{V. V.} + \text{Cob. V.} + \text{P. M.}$	0 a 1
	C.H.	Condición hídrica	$= \text{Valor de condición hídrica}$	0 a 1
	V.U.	Valor de uso	$= \text{Uso R.} + \text{Uso C. U.}$	0 a 1
Cálculo de índice de conocimiento local para funcionalidad del paisaje				
$ICLFP = \frac{C. S. + P. Spp. + C. V. + C. H. + V. U.}{14}$				
Los valores fueron asignados de la siguiente manera: 0 si está ausente, conforme el valor es más alto significa que tiene mayor importancia y si el valor es negativo significa que perjudica.				

ANEXO 6. MAPA DE ISOYETAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA



ANEXO 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Cuadro 7. ANOVA del porcentaje total de parches en las zonas con diferentes intensidades de pastoreo (Shapiro-Wilk=0.02847).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	13.2	4.375	1.952	0.154
Error	20	44.83	2.242		
Total	23				

Cuadro 8. ANOVA de la cantidad de veredas de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Shapiro-Wilk=0.02847).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	173.5	57.83	77.11	<0.001
Error	20	15.0	0.75		
Total	23				

Cuadro 9. ANOVA del número de parches de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Shapiro-Wilk=0.4497).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	1.057	0.3523	1.179	0.343
Error	20	5.976	0.2988		
Total	23				

Cuadro 10. ANOVA del área total de parches de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Shapiro-Wilk=0.2472).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	36.5	12.15	0.5	0.686
Error	20	485.8	24.29		
Total	23				

Cuadro 11. ANOVA del índice de área de parche de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Shapiro-Wilk=0.2733).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	0.000475	0.0001583	0.542	0.659
Error	20	0.005839	0.0002920		
Total	23				

Cuadro 12. ANOVA del promedio de la longitud de área de interespacio de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Transformación=log(x), Shapiro-Wilk=0.02041).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	3.65	1.2166	7.725	0.001
Error	20	3.15	0.1575		
Total	23				

Cuadro 13. ANOVA del índice de organización del paisaje de los transectos de LFA en las zonas de muestreo del Ejido La Flor, Reserva de la Biosfera de Mapimí (Transformación=log(x), Shapiro-Wilk=0.2954).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	0.635	0.2116	0.943	0.438
Error	20	4.488	0.2244		
Total	23				

Cuadro 14. ANOVA de la cobertura total de biocrosta en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo. (Shapiro-Wilk= 0.07534).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	3.491e+14	1.164e+14	26.047	<0.001
Micrositio	2	5.560e+13	5.860e+13	13.117	<0.001
Zona x Micrositio	3	3.865e+13	1.288e+12	2.884	0.0389
Error	112	5.004e+14	4.468e+12		
Total	120				

Cuadro 15. ANOVA de la cobertura total de biocrosta en los tres micrositios en el potrero El Tanque (Transformación= x3.5, Shapiro-Wilk= 0.07534).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	2	9127	4564	28.374	<0.001
Micrositio	2	2212	1106	6.878	<0.001
Zona x Micrositio	4	763	191	1.186	0.3200
Error	126	20266	161		
Total	134				

Cuadro 16. ANOVA de la Cobertura de cianobacterias en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo (Transformación= x3.5, Shapiro-Wilk= 0.006847).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	5355	1784.9	116.443	<0.001
Micrositio	1	132	132.4	1.220	0.2718
Zona x Micrositio	3	1128	376.1	3.464	0.0187
Error	112	12157	108.5		
Total	119				

Cuadro 17. ANOVA de la Cobertura de líquenes en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo (Shapiro-Wilk= 0.1435).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	28337	9446	97.277	<0.001
Micrositio	1	943	943	9.716	0.0023
Zona x Micrositio	3	2980	993	10.231	<0.001
Error	112	10875	97		
Total	119				

Cuadro 18. ANOVA de Cobertura de cianobacterias en los tres micrositios en el potrero El Tanque (Transformación= x3.5, Shapiro-Wilk=0.7881).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	2	7061	3531	30.815	<0.001
Micrositio	2	122	61	0.533	0.5883
Zona x Micrositio	4	1444	361	3.151	<0.001
Error	124	14437	115		
Total	132				

Cuadro 19. ANOVA de Cobertura de líquenes en los tres micrositios en el potrero El Tanque (Shapiro-Wilk=0.185).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	2	31454	15727	123.971	<0.001
Micrositio	2	1474	737	5.811	0.0038
Zona x Micrositio	4	2954	739	5.821	<0.001
Error	124	15984	127		
Total	132				

Cuadro 20. ANOVA de la riqueza de cianobacterias en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo (Transformación= x3.5, Shapiro-Wilk= 0.006847).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	2654	884.8	5.739	<0.001
Micrositio	1	2134	2133.6	13.839	<0.001
Zona x Micrositio	3	969	322.9	2.094	0.1049
Error	112	17267	154.2		
Total	119				

Cuadro 21. ANOVA de la riqueza de líquenes en los micrositios de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo (Transformación= x3, Shapiro-Wilk= 0.1435).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	3.278e+12	1.093e+12	26.81	<0.001
Micrositio	1	5.447e+11	5.447e+11	13.37	<0.001
Zona x Micrositio	3	3.532e+11	1.177e+11	2.89	0.0386
Error	112	4.563e+12	4.074e+10		
Total	119				

Cuadro 22. ANOVA de riqueza de cianobacterias en los tres micrositios en el potrero El Tanque (Transformación= x3.5, Shapiro-Wilk=0.7881).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	2	7.17	3.585	8.345	<0.001
Micrositio	2	11.75	5.874	13.672	<0.001
Zona x Micrositio	4	0.21	0.052	0.121	0.9748
Error	126	54.13	0.430		
Total	134				

Cuadro 23. ANOVA de riqueza de líquenes en los tres micrositios en el potrero El Tanque (Shapiro-Wilk=0.151).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	2	30.00	15.00	8.777	<0.001
Micrositio	2	12.98	6.489	3797	0.0250
Zona x Micrositio	4	3.29	0.822	0.481	0.7495
Error	126	215.33	1.709		
Total	134				

Cuadro 24. ANOVA del coeficiente de rugosidad de biocostra en los micrositos de interespacio y bajo dosel de todas las intensidades de pastoreo (Shapiro-Wilk=0.5607).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	399.9	133.32	14.496	<0.001
Micrositio	1	96.4	96.41	10.483	<0.001
Zona x Micrositio	3	172.0	57.34	6.235	<0.001
Error	112	1030.0	9.20		
Total	119				

Cuadro 25. ANOVA Rugosidad de biocostra en los tres micrositos en el potrero El Tanque (Shapiro-Wilk=0.7503).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	2	368.9	184.44	25.55	<0.001
Micrositio	2	281.7	140.86	19.51	<0.001
Zona x Micrositio	4	106.0	26.49	3.67	<0.001
Error	126	909.5	7.22		
Total	134				

Cuadro 26. ANOVA de la cobertura de biocostra total en las simulaciones (Transformación X0.75, Shapiro-Wilk=0.01276).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	130	43	11.462	<0.001
Cobertura	2	9061	4531	1202.627	<0.001
Zona x Cobertura	6	209	35	9.242	<0.001
Error	60	226	4		
Total	71				

Cuadro 27. ANOVA de la cobertura de biocostra clara en las simulaciones (Transformación X0.75, Shapiro-Wilk=0.01276).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	130	43	11.462	<0.001
Cobertura	2	9061	4531	1202.627	<0.001
Zona x Cobertura	6	209	35	9.242	<0.001
Error	60	226	4		
Total	71				

Cuadro 28. ANOVA de la cobertura de biocostra oscura en las simulaciones (Transformación x^0.75, Shapiro-Wilks=0.06044).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	130	43	11.462	<0.001
Cobertura	2	9061	4531	1202.627	<0.001
Zona x Cobertura	6	209	35	9.242	<0.001
Error	60	226	4		
Total	71				

Cuadro 29. ANOVA del coeficiente de rugosidad de biocostra en las simulaciones (Transformación $x^{0.1}$, Shapiro-Wilks=0.2837).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	0.0348	0.0116	8.673	<0.001
Cobertura	2	0.9760	0.4880	364.440	<0.001
Zona x Cobertura	6	0.0726	0.0121	9.031	<0.001
Error	60	0.0803	0.0013		
Total	71				

Cuadro 30. ANOVA de la riqueza de biocostra en las simulaciones (Transformación $x^{0.85}$, Shapiro-Wilks=0.06562).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	5.49	1.83	5.729	<0.001
Cobertura	2	250.48	125.24	392.229	<0.001
Zona x Cobertura	6	5.17	0.86	2.698	<0.001
Error	60	19.16	0.32		
Total	71				

Cuadro 31. ANOVA del inicio de escorrentía por goteo (Shapiro-Wilk= 0.1066).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	57.4	19.1	1.573	0.205
Cobertura	2	902.2	451.1	37.097	<0.001
Zona x Cobertura	6	116.4	19.4	1.595	0.164
Error	60	729.6	12.2		
Total	71				

Cuadro 32. ANOVA de segundos de primer escorrentía (Shapiro-Wilk= 0.3209).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	794	264.8	0.894	0.450
Cobertura	2	303	151.7	0.512	0.602
Zona x Cobertura	6	4432	738.6	2.494	0.032
Error	60	17770	296.2		
Total	71				

Cuadro 33. ANOVA intensidad de precipitación (Shapiro-Wilk= 0.1109).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	12.5	4.150	0.150	0.929
Cobertura	2	2.7	1.340	0.049	0.953
Zona x Cobertura	6	8.9	1.478	0.054	0.999
Error	60	1655.9	27.599		
Total	71				

Cuadro 34. ANOVA de comienzo de escorrentía continua (Shapiro-Wilk= 0.1614).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	62.5	20.8	1.652	0.187
Cobertura	2	926.0	463.0	36.710	<0.001
Zona x Cobertura	6	130.7	21.8	1.728	0.130
Error	60	756.7	12.6		
Total	71				

Cuadro 35. ANOVA del promedio de escorrentía máxima (Shapiro-Wilk=0.247).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	6909	2302.9	97.06	<0.001
Cobertura	2	2372	1186.2	50	<0.001
Zona x Cobertura	6	4297	716.1	30.18	<0.001
Error	60	1424	23.7		
Total	71				

Cuadro 36. ANOVA del minuto de escorrentía máxima (Shapiro-Wilk=0.3467).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	312.2	104.05	4.163	<0.001
Cobertura	2	282.7	141.35	5.656	<0.001
Zona x Cobertura	6	140.6	23.44	0.938	0.47484
Error	60	1499.5	24.99		
Total	71				

Cuadro 37. ANOVA de promedio de concentración de sedimentos (Transformación=x0.1, Shapiro-Wilk= 0.05955).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	0.0003190	0.0001063	8.561	<0.001
Cobertura	2	0.0027648	0.0013824	111.313	<0.001
Zona x Cobertura	6	0.0003729	0.0000622	5.005	<0.001
Error	60	0.0007451	0.0000124		
Total	71				

Cuadro 38. ANOVA de porcentaje de escorrentía (Shapiro-Wilk= 0.4298).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	3778	1259	42.682	<0.001
Cobertura	2	7272	3636	123.235	<0.001
Zona x Cobertura	6	472	79	2.666	0.023
Error	60	1770	30		
Total	71				

Cuadro 39. ANOVA de densidad aparente de suelo (Shapiro-Wilk= 0.8309).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	0.4988	0.16626	9.217	<0.001
Cobertura	2	0.0878	0.04388	2.432	0.096
Zona x Cobertura	6	0.9112	0.15186	8.418	<0.001
Error	60	1.0824	0.01804		<0.001
Total	71				

Cuadro 40. ANOVA de profundidad de infiltración del suelo (Transformación=x0.02, Shapiro-Wilk= 0.06481).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Zonas	3	0.0005248	0.0001749	14.72	<0.001
Cobertura	2	0.0008389	0.0004194	35.30	<0.001
Zona x Cobertura	6	0.0021710	0.0003618	30.45	<0.001
Error	60	0.0007130	0.0000119		
Total	71				

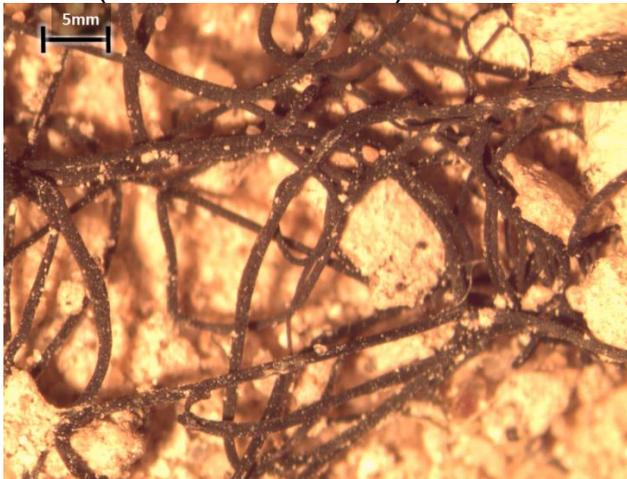
Cuadro 41. ANOVA de humedad gravimétrica (Transformación= $x0.3$, Shapiro-Wilk= 0.07365).

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrado medio	<i>F</i>	<i>P</i>
Zonas	3	0.1342	0.04473	8.672	<0.001
Cobertura	2	0.4310	0.21551	41.777	<0.001
Zona x Cobertura	6	0.6929	0.11548	22.386	<0.001
Error	60	0.3095	0.00516		
Total	71				

**ANEXO 8. LISTADO DE GRUPOS MORFOLÓGICOS DE CIANOBACTERIAS Y
ESPECIES DE LÍQUENES DE BIOCOSTRA**

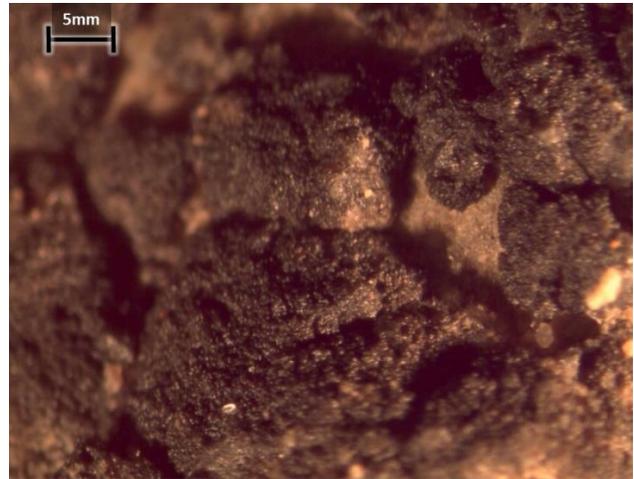
Especies y grupos morfológicos de cianobacterias

Nostoc flageliforme
(Bornet & Flahault) Elenkin

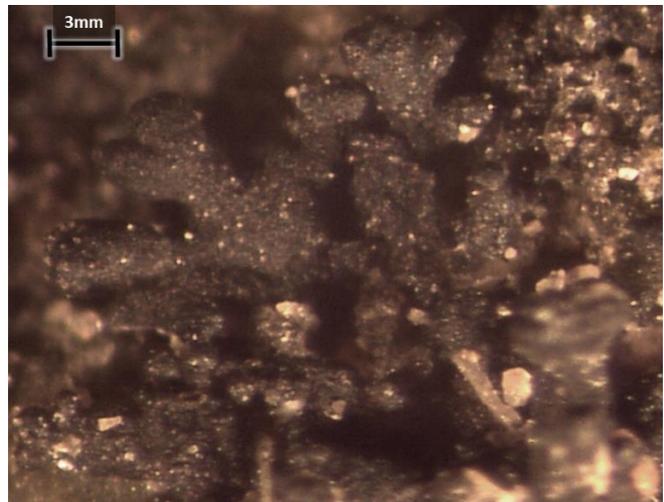
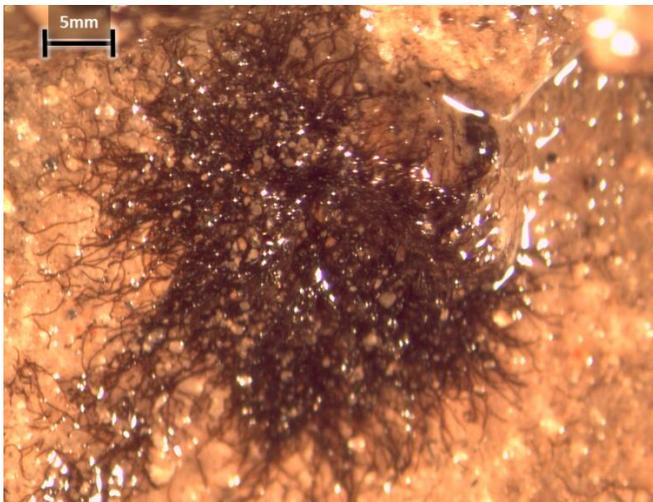


Filamentosa

Continua



Ramificada

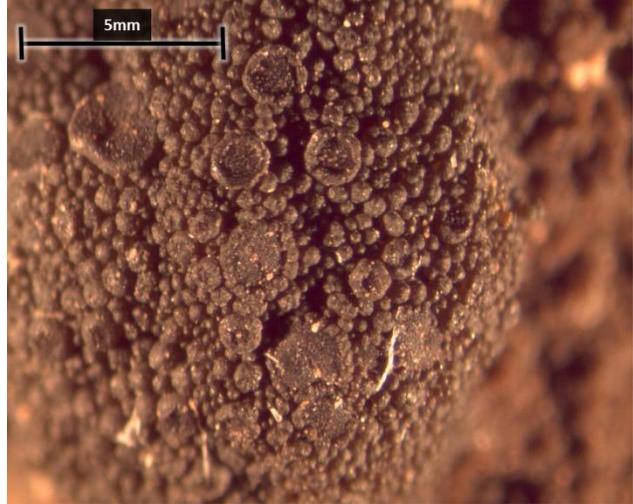


Especies de líquenes

Collema coccophorum Tuck



Collema tenax (Sw.) Ach.



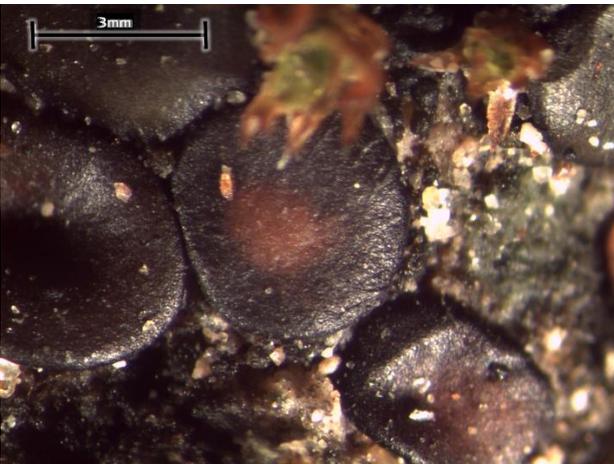
Endocarpon sp.



Peltula richardsii (Herre) Wetmore



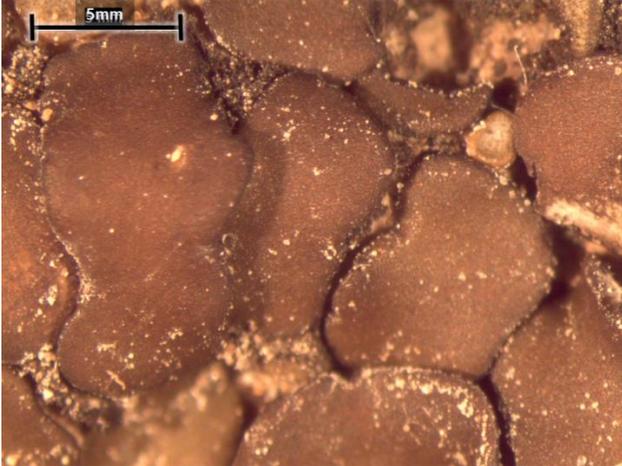
Peltula michoacanensis (B. de Lesd.)
Wetmore



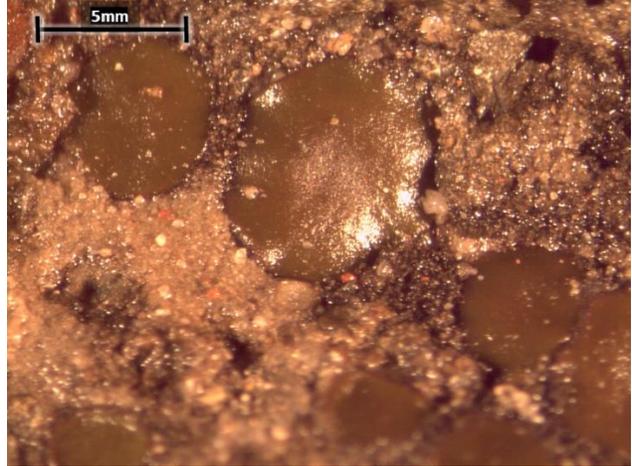
Peltula patellata (Bagl.) Swinscow &
Krog



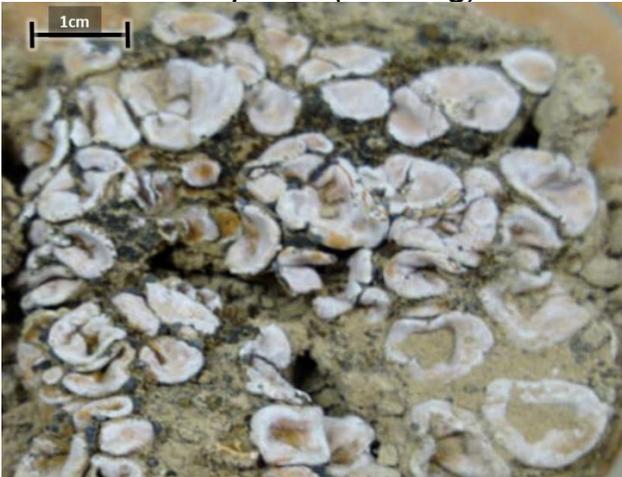
Placidium lacinulatum (Ach.) Breuss



Placidium squamulosum (Ach.) Breuss



Psora decipiens (Hedwig) Hoffm.



Psora crenata (Taylor) Reinke

