



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS



MAESTRIA EN CIENCIAS
EN
MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

“Importancia de los tapetes microbianos en ambientes extremos y propuesta de lineamientos para su conservación en México”

T E S I S

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

Diana Lilia Brito Jaime

Ensenada, B.C, México, octubre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

**“Importancia de los Tapetes Microbianos en Ambientes Extremos y Propuesta de
Lineamientos para su Conservación en México”**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

DIANA LILIA BRITO JAIME

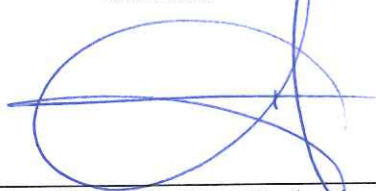
Aprobado por



Dr. Julio Enrique Valencia Suarez
Director



Dra. Mariana Villada Canela
Codirectora



Dra. Hortencia Silva Jiménez
Sinodal



Dra. Ma. del Refugio González Esparza
Sinodal

Ensenada, B.C a 18 de octubre de 2019

Dedicatoria:

Con todo mi amor a mi amado José por sus sacrificios y esfuerzos, por creer en mí y darme fuerzas, por los momentos difíciles y por alentarme en cada paso, por caminar junto a mí, por su apoyo, comprensión y amor incondicional.

Por todas nuestras aventuras a lo largo de estos dos años, por las que nos faltan y sobre todo por su compromiso infinito para conmigo en este posgrado y siempre.

Esposo, eres una gran inspiración, te amo y te admiro, gracias por todo.

A mis amados hijos Oliver y Omar por ser fuente de motivación para superarme cada día y luchar por un futuro mejor, por creer en mí.

A mi asombrosa madre por sus oraciones y su gran ejemplo.

Agradecimientos:

A Dios que me demuestra lo consentida que soy de Él cada día.

A mi esposo José por alentarme, apoyarme y estar siempre a mi lado, por su complicidad, su paciencia y amor.

A mis hijos por ser parte de mi vida.

A mi madre por sus oraciones.

A mis compañeros, amigos, mi familia en estos dos años, por compartir alegrías y tristezas, logros y sin sabores, por acompañarme. Gracias MEZA 2017. Krystal, Jesús, Dulce, Felipe, Paola, Laurita, Jhoselin, Luis Carlos, Andrea y Sergio.

A mis directores de tesis Julio y Mariana que me ayudaron hasta el último momento, por haberme escuchado, por su paciencia, apoyo, comprensión y su ejemplo.

A mis sinodales Dra. Hortencia y Dra. Ma. del Refugio con mucho cariño y admiración.

A Estrellita, por su apoyo, guía en el laboratorio, en el proyecto y por su amistad.

A Zayuri, por todas nuestras aventuras y complicidades, por una gran amistad.

A Soco, por su amistad y apoyo en las noches de desvelo en el laboratorio.

A la Dra. Ileana Espejel gracias por abrirme la oportunidad de superarme, por su invaluable guía y apoyo a lo largo de este posgrado y por su cariño.

Al Dr. Guillermo por ayudarme en mi estancia académica, por su apoyo y por todas sus atenciones.

A todos mis profesores, Dra. Evarista, Dr. Aldo, Dra. Paola, Dr. Eaton, Dr. Ulises, Dra. Claudia, todos han sido un gran ejemplo a seguir.

A la UABC por brindarme toda una estructura académica y la oportunidad de un posgrado y de superarme.

Al proyecto GEMex, en el cual pude integrarme para la investigación de tapetes microbianos

A los centros de investigación que me abrieron sus puertas y me apoyaron con las entrevistas, CICESE, IIO, CIBNOR, a la UANL, especialmente a todos los investigadores que me brindaron su tiempo para el desarrollo de la investigación social.

Les agradezco por haberme honrado con su invaluable tiempo y conocimiento.

Muy especialmente al Dr. Daniel Lluch Director General del CIBNOR por abrirme las puertas de tan reconocida institución.

Dr. Alejandro López, Dra. Yolanda Maya, Dr. Alfredo Ortega y Dra. Luz González de CIBNOR

Dr. Miguel Ángel Huerta del IIO

Dr. César Cantú, Dra. Elizabeth Chacón y M en C. Felipe Torres de la de la UANL

Dra. Zayre González de CICESE

M en C. Estrella Zarco de GEMex.

Dr. José de Jesús Sosa Director General de Auditoría a la Gestión y el Desempeño Gubernamental de la ASF

M en C. Andrés de los Ríos Subsecretario del Gobierno de BCS

Lic. Eustaquio Vega Director de Ecología del Gobierno Municipal de Chignahuapan, Puebla.

Ing. Cira Durán Coordinadora de Salud y Ecología del Gobierno Municipal de Linares N.L.

M en C. Daniela López de Pronatura noroeste

M en C. Jorge Andrade de Terrapeninsular

Resumen

El deterioro ambiental por actividades antropogénicas puede llevar a la pérdida a la degradación de los ecosistemas, alterando el equilibrio en los procesos fisicoquímicos e impactando en los servicios ambientales que estos ecosistemas prestan. Los ecosistemas de ambientes extremos, en particular los tapetes microbianos (TM), son especialmente vulnerables debido al desconocimiento por parte de la sociedad y a la falta de instrumentos diseñados para su conservación.

En este proyecto se presenta una metodología que puede servir como fundamento para el diseño de lineamientos para la conservación de estos ecosistemas microbianos en México, basada en la caracterización de un ambiente extremo, la evaluación de la importancia de los tapetes microbianos que se encuentran en la zona, y el análisis de la percepción de los actores sociales clave, con la finalidad de elaborar futuras políticas públicas para la conservación de los TM.

En primer lugar, mediante una revisión bibliográfica extensa se identificaron características de tapetes microbianos de ambientes extremos en México que incluyen: ubicación, origen de su ambiente extremo, su contribución científica o tecnológica, su estado ambiental y estatus de protección legal. Como caso particular, se estudiaron tapetes microbianos en un ambiente extremo, en la zona de “Los Azufres-El Potrero Colorado”, Chignahuapan, Puebla, en donde se caracterizaron los parámetros fisicoquímicos, así como la concentración de elementos y de nutrientes del sitio donde habitan.

En tercer lugar, se muestran los resultados del análisis de una entrevista semiestructurada a actores clave de los sectores académico, gubernamental y de la sociedad civil. Los actores fueron seleccionados con base en sus ámbitos de acción, estudio de tapetes microbianos de ambientes extremos, así como a su implicación en la toma de decisiones en normatividad ecológica y/o la conservación de ecosistemas o áreas naturales que contienen tapetes microbianos en México.

Finalmente, se integran todos los resultados obtenidos en una propuesta de lineamientos para la conservación de tapetes microbianos de ambientes extremos en México.

Palabras Clave

Tapetes microbianos, ecosistemas de ambientes extremos, extremófilos, bioindicadores, servicios ecosistémicos, conservación, política basada/informada en evidencia y lineamientos de política pública.

Listado de abreviaturas

AD Acuerdo Destino

ADN Ácido Desoxirribonucleico

ANP Área Natural Protegida

AP Área Protegida

CDB Convenio de la Diversidad Biológica

CVM Cinturón Volcánico Transmexicano

ECUSBE Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado

EIA Evaluación de Impacto Ambiental

EME Ecosistemas Microbianos Extremófilos

ENBM Estrategia Nacional de Biodiversidad Mexicana

EEB Estrategia Estatal de Biodiversidad

EPS Matriz Polimérica Extracelular

IPCC Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

LGEEPA Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

LGVS Ley General de Vida Silvestre

NOM Norma Oficial Mexicana

OMS Organización Mundial de la Salud

ONU Organización de las Naciones Unidas

PBE Política Basada en Evidencia

PND Plan Nacional de Desarrollo

PSA Pago por Servicios Ambientales

ARN Ácido ribonucleico

SEMARNAT Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales

SRB Bacterias Sulfato Reductoras

TM Tapetes Microbianos

TMAE Tapetes Microbianos de Ambientes Extremos

UE Unión Europea

UMA Unidad de Manejo Ambiental

ADVC Área Destinada Voluntariamente a la Conservación

Índice

1. Capítulo: Introducción.	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Antecedentes	3
1.2.1 Tapetes microbianos de ambientes extremos.	3
1.2.2 Importancia de conservación de tapetes microbianos de ambientes extremos	5
1.2.3 Política basada en evidencia y conservación de ecosistemas.	8
1.2.4 Lineamientos como herramienta de política pública	11
1.3 Hipótesis	13
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo General	13
1.4.2 Objetivos específicos.	13
2. Capítulo: Estado del arte	14
2.1 Revisión bibliográfica sobre tapetes microbianos de ambientes extremos.	14
2.1.1 Distribución global	14
2.1.2 Servicios ecosistémicos y tapetes microbianos	18
2.1.3 Tapetes microbianos y su relación con los ciclos biogeoquímicos.	19
2.1.4 Tapetes Microbianos de Ambientes Extremos como Bioindicadores	21
2.1.5 Tapetes microbianos en México	23
2.2 Estatus de protección legal	25
2.2.1 Marco	25
2.2.2 Marco internacional.	26
2.2.3 Declaración de Rio sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo	26
2.2.4 Convenio sobre Diversidad Biológica	27
2.2.5 Agenda 21.	27
2.2.6 Conferencia de Nagoya	28
2.2.7 Plan Estratégico para la Biodiversidad y Metas de Aichi	28
2.2.8 Conferencia sobre Desarrollo Sostenible	29
2.2.9 Marco nacional	30
2.2.10 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	30

2.2.11	<i>Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente</i>	30
2.2.12	<i>Ley General de Vida Silvestre</i>	31
2.2.13	<i>Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024</i>	31
2.2.14	<i>Estrategia Nacional sobre Biodiversidad en México (ENBM) y plan de acción 2016-2030</i>	32
2.2.15	<i>Estrategias Estatales sobre biodiversidad</i>	33
3.	Capítulo: Caracterización de tapetes microbianos de un ambiente extremo	37
3.1	Área de estudio	37
3.2	Muestreos	41
3.2.1	Tapete	41
3.2.2	Medio acuoso	41
3.2.3	Preparación de muestras	41
3.3	Análisis de parámetros in situ (conservativos)	42
3.4	Análisis de parámetros no conservativos	42
3.5	Preservación y siembra de tapetes microbianos en laboratorio	44
3.6	Metales	46
3.7	Microscopia de Chlorophyta, Cyanobacteria, Bacillariophyta y Euglenozoa	49
3.8	Resultados	57
4.	Capítulo: Perspectiva de actores clave sobre tapetes microbianos y su conservación	57
4.1	Identificación de actores clave (Matriz de identificación).....	61
4.2	Diseño de entrevista semi estructurada.....	61
4.3	Aplicación de la entrevista semiestructurada a los actores clave identificados.....	66
4.4	Análisis y resultados de la entrevista semiestructurada.....	66
4.4.1	Identificación de la problemática	66
4.4.1.1	Tapetes microbianos, ambientes extremos y su relación	66
4.4.1.2	TMAE candidatos importantes para la creación de un elemento de conservación	68
4.4.1.3	TMAE en la agenda pública	70
4.4.1.4	Perspectiva sobre la falta de conservación.....	70

4.4.1.5	Beneficios de la conservación de TMAE y carencia de acciones para la consolidarla.....	72
4.4.2	<i>Alcance de la conservación</i>	73
4.4.2.1	Investigaciones como sustento de elementos para la conservación de TMAE ..	73
4.4.2.2	Características importantes de los TMAE para la creación de políticas de conservación.	74
4.4.2.3	Actores implicados en la conservación de los TMAE	75
4.4.2.4	Perspectiva sobre la toma de decisiones para la conservación de TMAE ..	78
4.4.3	<i>Elementos para una política de conservación</i>	79
4.4.3.1	Carencia de normatividad aplicable.....	79
4.4.3.2	Acciones para la conservación.....	80
5.	Capítulo: Propuesta de lineamientos	83
5.1	Integración de resultados	83
5.1.1	<i>Importancia de los TMAE</i>	83
5.1.2	<i>Percepción de actores clave</i>	87
5.1.3	<i>Problemática de la conservación</i>	87
5.1.3.1	Investigación	87
5.1.3.2	Difusión vs. Divulgación	88
5.1.3.3	Sensibilización	89
5.1.3.4	Normatividad	89
5.1.3.5	Problemática por la falta de conservación de TMAE	90
5.1.3.6	Acciones para la conservación.....	91
5.2	Desarrollo del diseño de la propuesta de lineamientos de conservación para TMAE	93
6.	Capítulo: Conclusiones	103
7.	Bibliografía	106

Índice de figuras

Figura. 1. Microorganismos que conforman un tapete microbiano.....	3
Figura. 2. Funciones metabólicas de los microorganismos que conforman un tapete microbiano.....	4
Figura. 3. Mecanismo metodológico de pbe.....	9
Figura. 4. Servicios ecosistémicos.....	18
Figura. 5. Ciclo del azufre.. ..	20
Figura. 6. Mapa geológico del área de la caldera de tulancingo-acoculco.	38
Figura. 7. Ubicación del área de estudio.	39
Figura. 8. Fosas en los azufres- el potrero colorado	40
Figura. 9. Siembra y preservación de tapetes microbianos	46
Figura. 10. Microorganismos identificados por microscopía en la fosa I	50
Figura. 11. Microorganismos identificados por microscopía en la fosa II	52
Figura. 12. Microorganismos identificados por microscopía óptica en la fosa III.	53
Figura. 13. Microorganismos identificados por microscopía óptica en la fosa IV.....	53
Figura. 14. Microorganismos identificados por microscopía óptica en la fosa V.....	54
Figura. 15. Actores identificados.....	77
Figura. 16. Importancia y beneficios de los TMAE.	90
Figura. 17. Ruta de acción.. ..	99

Índice de Tablas

Tabla 1 Características de ambientes extremos.....	6
Tabla 2. Contribuciones de estudios realizados en tapetes microbianos de ambientes extremos.	7
Tabla 3. Evidencia para la PBE	9
Tabla 4. Caracterización de sitios con tapetes microbianos de ambientes extremos.	15
Tabla 5. Ciclo del Azufre	21
Tabla 6. Tapetes microbianos en México	24
Tabla 7. Marco legal y de planeación.....	25
Tabla 8. Principios de la Declaración de "La Cumbre de la Tierra"	27

Tabla 9. Objetivos y metas de Aichi sobre biodiversidad	29
Tabla 10. Estrategias Estatales sobre Biodiversidad	35
Tabla 11. Localización geográfica.....	41
Tabla 12. Parámetros conservativos	42
Tabla 13. Parámetros de medición	43
Tabla 14. Parámetros no conservativos.	43
Tabla 15. Formulación de medios de preservación	44
Tabla 16. Medios de preservación.....	45
Tabla 17. Elementos mayores.....	47
Tabla 18. Elementos traza I	48
Tabla 19. Elementos traza II.....	49
Tabla 20. Matriz de especies identificadas por microscopía óptica	55
Tabla 21. Criterios de calidad del agua para la protección de la vida	57
Tabla 22. Identificación de actores clave	62
Tabla 23. Identificación de tipos de ambientes extremos.....	68
Tabla 24. Orden de prioridad de acciones para la conservación	82

1. Capítulo: Introducción.

1.1 Introducción.

Los tapetes microbianos son comunidades de microorganismos que viven en la interfaz tierra agua agrupados en forma de láminas, adheridos entre sí por una matriz de exopolisacáridos que permite el transporte de materia y energía a través de las capas del tapete.

Estas comunidades incluyen microorganismos autótrofos y heterótrofos y entre las funciones que desempeñan están la fotosíntesis y los ciclos de nutrientes, además, por sus particularidades sinérgicas pueden habitar en ambientes con características extremas. Sin embargo, debido al desconocimiento de su existencia y a la falta de instrumentos de conservación pueden verse deterioradas su tasa y sus funciones.

Para prevenir el deterioro y la eficiencia de los tapetes microbianos de ambientes extremos, el objetivo del presente trabajo es valorar la importancia de su conservación y proponer los criterios que permitan conservar estos ecosistemas de ambientes extremos.

Los tapetes microbianos por sus características y por los diferentes beneficios ambientales que proporcionan, se enmarcan como candidatos dignos de conservación. Sin embargo, aunque se tienen estudios al respecto de su importancia, en México aún no se cuenta con instrumentos regulatorios o de políticas ambientales que directamente especifiquen la conservación de los tapetes microbianos de ambientes extremos.

Por lo anterior, el proyecto busca proponer lineamientos de política de conservación, basados en la importancia de los TMAE presentada por la evidencia científica que sustenta el estado del arte, la caracterización de un sitio con TMAE y la percepción de actores sociales clave obtenida mediante una entrevista semiestructurada.

A fin de conocer el estado que guardan los TMAE, en una primera fase, se realizó una la revisión de literatura especializada, en la que se incluye la descripción de sitios extremos globalmente y en México, los servicios ecosistémicos que prestan los tapetes microbianos, su relación con los ciclos biogeoquímicos, y como bioindicadores de contaminación.

Adicionalmente se revisó el marco regulatorio internacional y nacional para determinar cómo estos marcos prevén la protección de microorganismos y si se encuentran incluidos los TMAE.

Para producir evidencia científica respecto a los TM y considerando la relevancia de estos ecosistemas en México y de que no existe antecedente normativo al respecto, la siguiente fase refiere el trabajo de campo y laboratorio sobre los TMAE. En esta investigación se comparan tapetes microbianos de cinco fosas, dentro de un área de influencia geotérmica sin explotación en la zona conocida como “Los Azufres-El Potrero Colorado”, dentro del ejido de Cruz Colorada, en Chignahuapan, Puebla.

Para establecer las características del sitio estudiado, se contrastan parámetros conservativos (temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, carbono orgánico), y parámetros no conservativos (nitritos, nitratos, fosfatos, NH_4 y metales), así como la identificación de microorganismos por microscopia simple.

Así mismo se hace hincapié en los servicios ecosistémicos que permiten mostrar la importancia del microecosistema, su papel como bioindicadores y otros beneficios tecnológicos a partir de investigaciones sobre las enzimas de TMAE y de biorremediación a partir de los TMAE

Además, en una tercera fase, se realiza trabajo de campo mediante la aplicación de una entrevista semiestructurada para obtener la percepción de distintos actores clave y a partir de su análisis se consiguió la identificación de la problemática sobre la falta de conservación y la percepción de qué, de cómo y a quienes se deben dirigir la propuesta de lineamientos para la conservación de tapetes microbianos de ambientes extremos.

En la última fase se vinculan los resultados de la importancia señalada por el estado del arte, los resultados obtenidos in situ y en el laboratorio, con la percepción de actores clave sobre estos ecosistemas y la necesidad de su conservación, para elaborar la propuesta de lineamientos de política de conservación, mediante el enfoque de la política basada o informada en evidencias (PBE).

La PBE pretende facilitar la coordinación de la ciencia como generadora de evidencia, dentro de un marco o sistema de gobernanza que produzca una mejor articulación y mayor

eficiencia en la toma de decisiones informadas, y en este caso, exhibir la importancia de los TM y la necesidad de conservarlos.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Tapetes microbianos de ambientes extremos.

Los tapetes microbianos (TM) son comunidades de microorganismos que, por su estructura laminada, dan la apariencia de un tapete; cuentan con una matriz polimérica extracelular (EPS, por sus siglas en inglés) que mantiene la cohesión entre capas y permite el flujo de materia y energía (Gerdes, 2010). La EPS está compuesta principalmente de polisacáridos, aunque también por proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (Souza et al., 2014) (Abed, 2010).

Los microorganismos que conforman los tapetes microbianos de ambientes extremos (TMAE) dependen de relaciones simbióticas entre ellos, por lo que no pueden sobrevivir independientemente. Esto debido a que las condiciones extremas en las que se desarrollan requieren de una serie de procesos bioquímicos complejos para hacer disponibles los nutrientes necesarios para su supervivencia (Chacón, 2010).

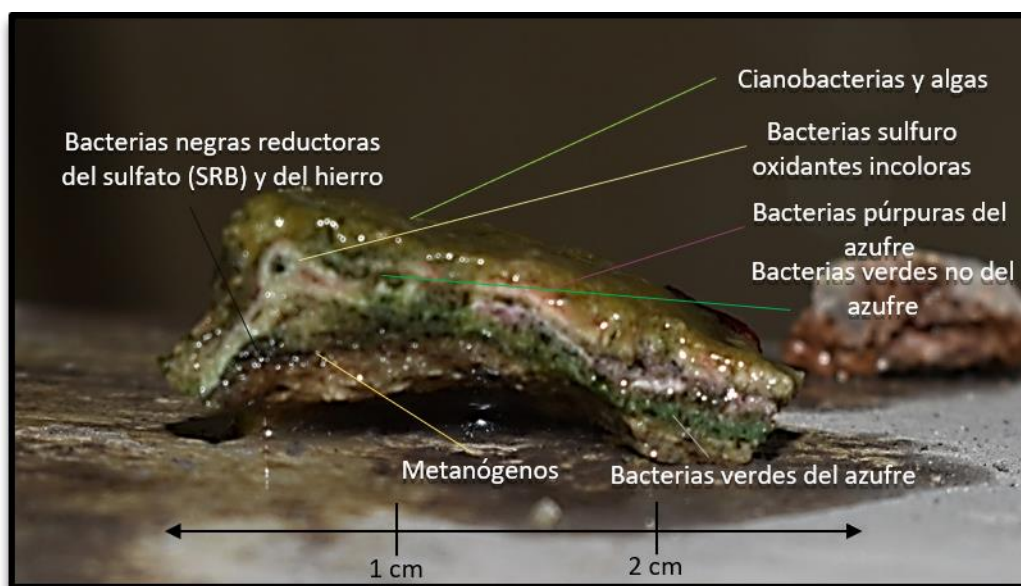


Figura. 1. Microorganismos que conforman un tapete microbiano, grupos de microorganismos presentes en el tapete microbianos. Fuente propia (El Avileño, N.L., México)

Los TMAE son complejos ecosistémicos integrados por fotoautótrofos, fotoheterótrofos, quimioautótrofos y heterótrofos, (Canfield & Maws, 1993), conformados por grupos funcionales básicos de: cianobacterias, bacterias fotosintéticas anóxicas, bacterias verdes del azufre y bacterias púrpuras, heterótrofos aeróbicos y anaeróbicos, bacterias sulfato-reductoras, sulfuro-oxidantes y arqueas metanogénicas (figura 1) (Prieto-Barajas et al., 2018) constituyendo todos los niveles tróficos lo que les confiere propiedades de ecosistema (Guerrero et al., 2002).

Los TMAE se desarrollan en la interfase agua-sustrato de ambientes extremos como los que se muestran en la tabla 1, y pueden ser de termófilos, halófilos, alcalinos, acidófilos, xerófilos, piezófilos, metalófilos, u oligótrofos.

Además, los TMAE realizan funciones fotosintéticas, de fijación del nitrógeno, desnitrificación, reducción de metales, reducción de sulfato y metanogénesis (figura 2), éstas se encuentran adaptadas a la particularidad del ambiente extremo en el que se desarrollan (Prieto-Barajas et. al 2017).

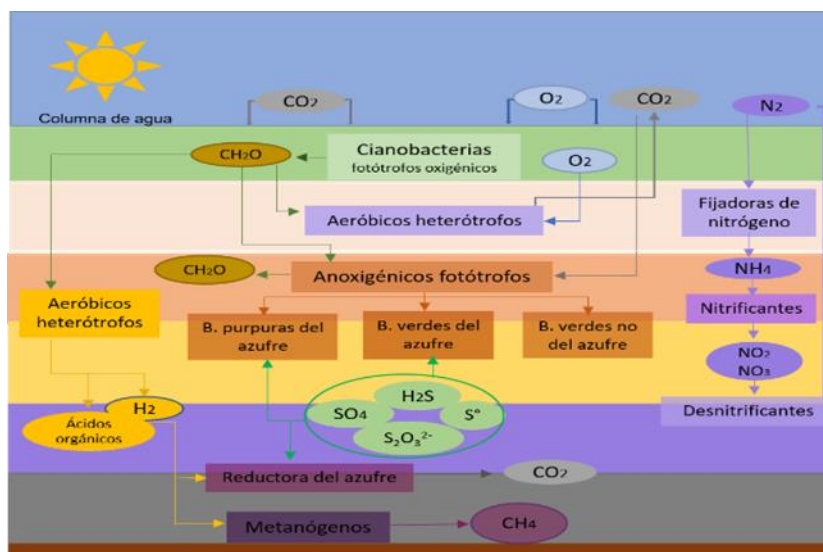


Figura. 2. Funciones metabólicas de los microorganismos que conforman un Tapete Microbiano. Adaptado de Prieto-Baraja et. al. 2017, Valencia-Cantero, y Santoyo 2018. Adaptado de: Ramírez et al., 2006, Cortés-López et al. 2014*

1.2.2 Importancia de conservación de tapetes microbianos de ambientes extremos

Los tapetes microbianos pueden destacar como ecosistemas por su resiliencia, su adaptación y diversidad en todos los niveles filogenéticos, ocupando nichos biogeoquímicos de gran importancia para la salud de los ecosistemas que habitan (Vardeh, 2016). Estas características les permiten colonizar ambientes tan extremos como los de altas concentraciones de metales o hidrocarburos, como es el caso del lago Brea en Trinidad y Tobago (Schulze-Makuch et al. 2011) (Tabla 1).

La Guía para la Conservación y Seguimiento de Ecosistemas Microbianos Extremófilos (Contreras & Farias, 2017), refiere que los ciclos geoquímicos de estos ecosistemas microbianos de ambientes extremos podrían ser el eslabón perdido en la geoquímica y además su estudio es importante para conservar la salud integral de los ambientes. Así mismo, el estudio científico de estos ecosistemas, sus interacciones y sus individuos (especies) han contribuido en múltiples ámbitos, por ejemplo, el estudio de las enzimas que producen estos extremófilos, ha generado grandes avances en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética (Ramírez, Serrano, & Sandoval, 2006).

Los TMAE han sido utilizados como bioindicadores ambientales (Schmitter-Soto, 2014), en aplicaciones biotecnológicas (López-Cortés & De-Bashan, 2015), en biorremediación de suelos (Giraldo, 2012), y biorrecuperación de zonas litorales contaminadas (Martinez-Alonso & Gaju, 2005). También se han realizado estudios sobre origen de la vida a partir de estos ecosistemas por sus condiciones ambientales semejantes a la tierra primitiva y a otros planetas como Marte (Des Marais, 2003) (Cortés-López et al., 2014), y han sido estudiados por su alto interés científico (Navarro, 2016).

Adicionalmente, Farías (2013) señala que la protección de ecosistemas compuestos por bacterias es fundamental para el desarrollo de biotecnología y es una condición importante para la explotación sustentable de recursos naturales (Farías & Contreras, 2013). La tabla 2. muestra algunas de las contribuciones que aporta el estudio de los TMAE a la industria, la ciencia y los ecosistemas.

Tabla 1 Características de ambientes extremos

Ambiente extremo	Característica extrema	Adaptabilidad de los organismos	Microorganismos característicos
Termófilos	Temperaturas entre 45°C y 65°C, con crecimiento óptimo entre 70°C y 80°C	Biomoléculas resistentes a las condiciones agresivas del entorno, enzimas extremas termorresistentes	Bacterias, arqueas y eucariotas
Hipertermófilos	Temperaturas de crecimiento entre 80 y 113°C		
Psicrófilos	Temperaturas de crecimiento debajo de 5°C y 20°C como máximo	Dentro de la estructura del tapete, ocurre una disminución de interacciones iónicas, enlaces de hidrógeno pierden rigidez y ganan estabilidad estructural para realizar sus funciones catalíticas, membrana con mayor cantidad de ácidos grasos o saturados	Bacterias, arqueas, hongos, levaduras y eucariotas
Psicrófilos Facultativos	Temperatura de crecimiento entre 15°C y 20°C, pero pueden crecer por debajo de los 0°C		
Alcalófilos	pH mayor que 9	Pared celular de peptidoglucano en las bacterias que lo conforman, polímeros cargados negativamente, reducción de densidad de carga y estabilidad de la membrana.	Bacterias aeróbicas, cianobacterias, arqueas, protistas y rotíferos
Acidófilos	pH menor que 5	Superficie de membrana cargada positivamente, capacidad reguladora interna con sistemas únicos de transporte, actividades biogeoquímicas con gases sulfurosos de emanaciones volcánicas	Bacterias, arqueas y eucariotas
Xerófilos	Condiciones extremadamente secas	Contienen sustancias osmoprotectoras como la sacarosa que protege de la desecación	Hongos y algas
Metalófilos	Altas concentraciones de metales	Plásmidos con resistencia a metales pesados, enzimas catalizadoras en reacciones redox, metilación y alquilación	Bacterias Gram negativas no esporuladas
Piezófilos (barófilos)	Profundidades de 5000-6000m	Aumento en la concentración de ácidos grasos no saturados de la membrana plasmática, efectos de presión en los procesos bioquímicos con bajas temperaturas, hay disminución en las velocidades de reacción.	Bacterias y arqueas
Barófilos extremos	Profundidades de 10,000 m		
Halófilos	Salinidad elevada arriba de 20% en concentraciones de sal	Membrana citoplasmática con modificaciones en los fosfolípidos y ácidos grasos de los lípidos, estrategia de acumulación masiva de compuestos en el citoplasma compensando la presión osmótica del medio con solutos compatibles	Bacterias, actinomicetos arqueas y eucariotas
Oligotróficos*	Ambientes con nutrientes limitados	Algunos organismos identificados presentan optimización del uso del fósforo, la membrana produce sulfolípidos en lugar de fosfolípidos	Bacterias y arqueas

Adaptado de: Ramírez et al., 2006, Cortés-López et al. 2014*

Tabla 2. Contribuciones de estudios realizados en tapetes microbianos de ambientes extremos.

Ambiente extremo	Contribución
Termófilos^a	Procesos industriales, industria alimenticia, biología molecular (replicación de ADN) y tratamientos de residuos
Hipertermófilos^a	
Psicrófilos^a	Alimentos, detergentes, biosensores y cosméticos
Psicrófilos^a Facultativos^a	
Alcalófilos^a	Detergentes, alimentos, industria farmacéutica y estabilización de sustancias volátiles
Acidófilos^b	Aplicaciones en la minería, procesos de desulfuración de carbón, bioprocesos en corrosión
Xerófilos^c	Formación de suelos
Metalófilos^{d, e}	Biorremediación y bioindicadores
Piezófilos^a (barófilos)	Envasado y esterilización de alimentos
Barófilos extremos^a	
Halófilos^f	Biotecnología, estudios sobre condiciones ambientales semejantes a la tierra primitiva y a otros planetas como Marte
Oligotróficos^g	Estudios de condiciones ambientales semejantes a la tierra primitiva y a otros planetas como Marte, Bioindicadores

Tabla 2. Bibliografía: ^a : (Ramírez et al., 2006), ^b : (López-Cortés & De-Bashan, 2015), ^c : (Giraldo, 2012), ^d : (Schmitter-Soto, 2014), ^e : (Nies, 2000), ^f : (Des Marais, 2003), ^g : (Cortés-López et al., 2014)

Las anteriores contribuciones no son las únicas razones de importancia para conservarlos, los ecosistemas de ambientes extremos (AE), al igual que cualquier otro ecosistema, tienen un papel de equilibrio homeostático en la naturaleza. Retomando, su importancia radica en las condiciones extremas en que las especies de estos hábitats proliferan, en los procesos de degradación biológica, interacciones biogeoquímicas y las características específicas de cada ecosistema con los que tendrán una interacción, asegurando el buen funcionamiento de los ecosistemas y el flujo de los demás servicios ecosistémicos (provisión, regulación y culturales) que determinan el bienestar humano (Balvanera & Cotler, 2009). Adicionalmente, la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA-2005), señala que la carencia de los servicios ecosistémicos o ambientales incluso puede ocasionar conflictos sociales.

La falta de conservación puede traducirse en pérdidas de conocimiento científico, en el quiebre de equilibrio ecológico al fracturar las interacciones de los servicios de soporte que prestan estos ecosistemas, y sus servicios básicos e interacciones con los servicios de provisión y regulación que las poblaciones requieren para subsistir, de aquí la importancia de conservar los ecosistemas y en general las Áreas Naturales Protegidas (Conanp, 2017).

A pesar de su importancia ambiental, tecnológica y científica, los tapetes microbianos tienen poca visibilidad en comparación con otros ecosistemas (por ejemplo, un bosque), siendo común que se les reste importancia, lo cual incide en la falta de mecanismos o instrumentos de conservación.

La conservación de estos microecosistemas, en algunos casos, se da bajo el amparo de un área natural protegida (ANP), como el caso de los TM localizados en la Reserva Ecológica de Cuatro Ciénegas (Navarro, 2016), gracias a lo cual han sido preservados aunque de manera indirecta, es decir, sólo por encontrarse dentro del ANP.

En México, no todos los ambientes extremos donde habitan estos ecosistemas microbiológicos cuentan con un mecanismo de protección como las ANP, o de algún elemento legislativo, de normatividad, reglamento, planes o lineamientos de conservación, y, de hecho, no existe un marco que sustente directamente la conservación de los TM en ambientes extremos.

El riesgo que se produciría, tanto por el desconocimiento de estos ecosistemas, como por su falta de conservación, puede provocar cambios estructurales, de función y deterioro en estos ecosistemas y del medio donde se desarrollan (Souza et al., 2014).

1.2.3 Política basada en evidencia y conservación de ecosistemas

El enfoque de las Políticas Basadas en Evidencias (PBE) es ayudar a la toma de decisiones informadas en las políticas, programas y proyectos, al proporcionar la evidencia que las investigaciones pueden ofrecer sobre un determinado campo en el desarrollo e implementación de las políticas públicas (Davies, 2004), dicho de otro modo, es usar el conocimiento para mejorar la relación entre las políticas y la investigación (Weyrauch, 2009).

Aunque el tipo de evidencia que se propone tomar en cuenta es científica, la llamada evidencia dura, a veces, para los diseñadores de políticas resulta un enfoque estrecho, y se sugiere establecer otras fuentes de evidencia como “sabiduría basada en la práctica” o “las voces de los pobres” (ciudadanos) (Sutcliffe, 2006), pero el uso de la ciencia en la toma de decisiones aboga por un enfoque más racional, riguroso y sistemático (Torres, 2015).

Las políticas tradicionales han debido cambiar, o renovarse para incrementar su probabilidad de éxito, utilizando o incorporando procedimientos científicos para reforzar el

proceso democrático y pretende aportar un soporte técnico a la toma de decisiones (Pinilla, 2006), el camino para realizarlo puede ser explicado en la figura 3 donde se esquematiza un modelo de mecanismo para la PBE (Diez, 2011) (Pinilla, 2006), y señala la ruta propuesta para la toma de decisiones informada o basada en evidencia con el fin de enriquecer los procesos de políticas.

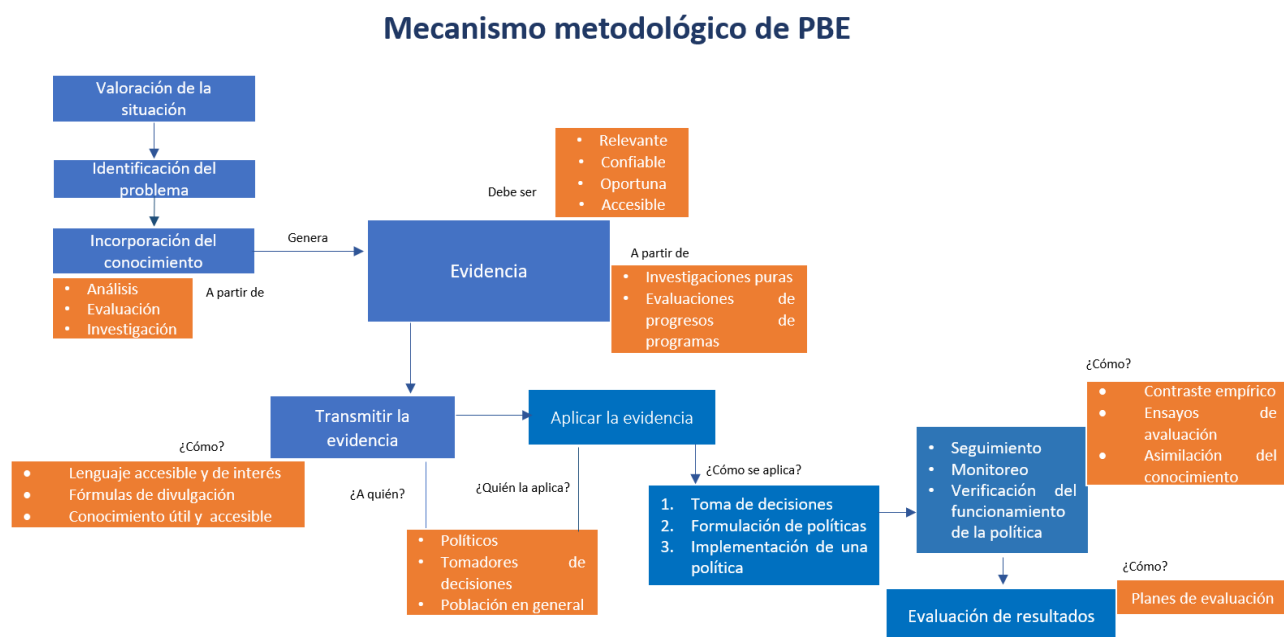


Figura. 3. Mecanismo metodológico de PBE, Adaptado de (Diez, 2011) (Pinilla, 2006), Los recuadros azules indican el seguimiento del mecanismo, los recuadros naranjas complementan el mecanismo.

La evidencia que es el factor principal para el nuevo esquema de política debe ser rigurosas y provenir de procesos sistemáticos (Pinilla, 2006), en la tabla 3 se indican fuentes de evidencias para enriquecimiento de toma de decisiones.

Tabla 3. Evidencia para la PBE

Evidencia	Bibliografía
- Conocimiento especializado - Investigaciones nacionales e internacionales - Datos estadísticos - consultas a actores interesados - Evaluaciones de políticas - Fuentes secundarias	(Diez, 2011)
- Investigaciones y evaluaciones críticas - Construcción de teorías - Recolección de datos - Análisis y codificaciones relacionadas con las prácticas - Políticas sobre desarrollo	(Sutcliffe, 2006)

Sin embargo, a pesar de las diversas fuentes y de la utilidad que aportan las evidencias a las políticas, la PBE muestra ciertas complicaciones: para los diseñadores de políticas (policymakers), las evidencias científicas no siempre son el camino más corto y apropiado para lo que pretenden en un determinado caso. En este sentido, los problemas más comunes pueden ser: disponibilidad y acceso a la información, claridad, relevancia, veracidad de la investigación encontrada y costos, esto aunado a que los diseñadores de políticas no siempre pueden contar con lo anterior ni entenderlo del todo, así como no le darán la misma importancia o enfoque a la evidencia científica como lo haría el científico que la produjo (Cairney, 2016).

Aunque la PBE presenta ciertas limitaciones, se ha desarrollado en diversos campos y se ha globalizado, generando políticas traducidas en beneficios para la población; por ejemplo, en México, se encuentran los casos de la educación (Flores-Crespo, 2013), y el monitoreo y evaluación de la gestión pública (Grupo Banco Mundial, IIEG - Jalisco, 2016).

También se encuentra el caso de diseñadores de políticas en Escocia, en el que a partir de un estudio en el que se aplicó un control de pruebas aleatorias, se identificaron las mejores prácticas basadas en evidencia (de dicho estudio) y se implementaron políticas para niños de preescolar y sus padres, así como para adultos mayores (Cairney, 2017). El anterior es un ejemplo de cómo la PBE se ha utilizado en diferentes ámbitos y ha sido exitoso.

Además, dentro del campo de las políticas públicas medioambientales, las PBE se han generalizado a partir de estudios sobre cambio climático. En 1988 se crea un Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) el cual presenta informes sobre el estado que muestra el cambio climático global, basados en investigaciones científicas (OMM-PNUMA, 2017). Así, sobre bases científicas se toman y ratifican acuerdos por los países miembros de la ONU, quienes se comprometen a generar políticas públicas, por lo que deberán ser políticas basadas en evidencias (CMNUCC, 2010).

En el ámbito de la conservación, el proceso de toma de decisiones para elegir áreas naturales protegidas y la planificación de objetivos basados en estudios científicos previos incrementa el éxito de conservación según se incorporen simultáneamente en las necesidades biológicas de especies, comunidades y ecosistemas, por ejemplo; la conservación de la biodiversidad deberá tomar en cuenta amenazas, heterogeneidad biológica-genética, rareza

natural, procesos ecológicos, planes de restauración si fuesen requeridos para el área, distribución espacial del hábitat, calidad de las tierras circundantes, las distribuciones actuales en relación con las históricas, y la variabilidad de asociaciones especie-hábitat a través del paisaje (Svancara et al., 2005).

Finalmente y después de mostrar diversos ámbitos en los que las PBE se han implementado, es importante señalar un ejemplo significativo, el plan de conservación de “el ecosistema mayor de Yellowstone”, en el cual, se emplearon las tres rutas de protección de los elementos especiales, la representación de la variación ambiental y el aseguramiento del hábitat (áreas críticas) para especies focales, se identificaron sitios desprotegidos que son biológicamente irremplazables y vulnerables a la degradación, y especies altamente en peligro de desaparecer de este lugar (Noss et al., 2002).

Además del anterior, la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad y las Estrategias para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad (ECUSB) de los diferentes estados de la República Mexicana, se basadas en los estudios (evidencia) de diversidad biológica de cada estado.

1.2.4 Lineamientos como herramienta de política pública

Los instrumentos para la protección del ambiente se dividen en dos grupos: 1) de enfoque directo, que abarca instrumentos de comando y control y 2) los de enfoque indirecto, que son los económicos o de mercado (Pérez et al, 2010; Dietz y Vollebergh, 2002; CEPAL et al., 1998, Howlett, 2007). Dentro del primer grupo, es decir los instrumentos de control, enfocaremos la propuesta de lineamientos de política pública.

Los lineamientos describen las etapas, fases y pautas para desarrollar actividades o tareas específicas (Garduño, 2009) cuando no se cuenta con otro tipo de regulaciones, no obstante, ayuda a guiar la creación de éstas.

Debe notarse que el proceso de política pública es por definición integral ya que implica todos los elementos de propósito, acción y resultado, y todas las acciones y recursos que se requieren para hacerla realidad, en tal sentido los lineamientos constituyen una pieza central en el proceso de la política pública, pero no la definen, ni la substantian en un sentido integral (Sosa, 2015).

No obstante, lo anterior, de acuerdo con Provencio (2018), las políticas de nuevo cuño, especialmente las de carácter ambiental y las relativas al cumplimiento de los ODS, han tendido a dar un mayor peso y un mayor protagonismo a los lineamientos como piezas centrales para la promoción de nuevos objetivos y metas social y ambientalmente deseables (Cordera & Provencio, 2018). Esto quiere decir que, a diferencia de los esquemas tradicionales de política pública en los que los lineamientos vienen a ser un instrumento que desagrega y hace más específicos los propósitos de la política pública más general, ahora los nuevos formuladores de política han encontrado en la emisión de lineamientos y de otro tipo de normas los mecanismos idóneos para substanciar procesos de acción colectiva que generan políticas públicas a partir de la identificación de problemas y necesidades que no pueden ser abordados desde una perspectiva sistémica o más global (ibidem).

Se da entonces una nueva manera de formular políticas públicas que ya no es el patrón general que deriva de la agenda pública o sistémica. El cambio de siglo fue el escenario en el que los esquemas de política pública tradicionales, basados en la idea de la agenda sistémica, son ahora acompañados y complementados por esquemas alternativos que van de lo particular o lo general, de lo concreto a lo abstracto y de sectores y regiones específicos al estado como un todo y a la sociedad civil como una noción globalizadora (Sosa, 2015), así, son estos nuevos esquemas emergentes, una herramienta de gran valor instrumental que permite justamente definir una política de orientación específica o particularista es el diseño y aprovechamiento de los lineamientos de política pública o de programa público.

1.3 Hipótesis

El diseño de una propuesta para la conservación de tapetes microbianos de ambientes extremos puede basarse en su importancia, establecida por el estado del arte y la caracterización de un sitio, así como con la opinión de actores sociales clave cuyo interés reside en su estudio y conservación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Proponer lineamientos para la conservación de tapetes microbianos sustentados en la importancia de los TMAE, su caracterización y la percepción de actores sociales clave en la materia.

1.4.2 Objetivos específicos.

1. Determinar el estado del arte que presentan los tapetes microbianos de ambientes extremos.
2. Caracterizar un sitio con tapetes microbianos de ambientes extremos.
3. Indagarla perspectiva sobre tapetes microbianos y su conservación de los actores sociales clave identificados.
4. Diseñar la propuesta de lineamientos de conservación para tapetes microbianos de ambientes extremos.

2. Capítulo: Estado del arte

2.1 Revisión bibliográfica sobre tapetes microbianos de ambientes extremos

Sobre los siguientes puntos se determinó la importancia por la cuál es debida la conservación de los TMAE.

- Distribución global
 - Localización, caracterización del sitio, tipo de estructura y característica fisicoquímica del tapete, diversidad microbiana dominante, técnicas analíticas empleadas para la determinación de diversidad
- Servicios Ecosistémicos y tapetes microbianos
- Tapetes microbianos y su relación con los ciclos biogeoquímicos
- Tapetes microbianos como bioindicadores
- Tapetes microbianos de ambientes extremos en México

2.1.1 Distribución global

Los ecosistemas de ambientes extremos, aunque no siempre son los más visibles, tienen una distribución amplia en el mundo, algunos de los más estudiados son: el Río Tinto España (Amils, 2012), lagos en la Antártida (Camacho, 2018), el Salar de Llamará en Chile (Demergasso et al., 2003), la Puna Andina (Contreras & Farias, 2017), Yellowstone USA (Ward et al., 2006).

Estos ambientes han sido estudiados, principalmente a partir de técnicas avanzadas de metagenómica, así como microscopía y técnicas dependientes de cultivos, obteniendo como resultado una gran diversidad microbiana. En la tabla 3 se ha integrado información referente a algunos de los principales lugares en el mundo donde se encuentran localizados TMAE, las características que hacen propicio al sitio para albergarlos, sus características fisicoquímicas, los microorganismos dominantes que lo integran y las técnicas empleadas para identificar las especies del TM

Tabla 4. Caracterización de sitios con tapetes microbianos de ambientes extremos.

Nombre y localización del TM	Caracterización del sitio	Tipo de estructura y característica fisicoquímica del tapete	Diversidad microbiana dominante	Técnica empleada
Tíbet central y central oriental ^{a, b, c, d}	Tíbet, localizado en el este central mediterráneo de la zona tectónica del Himalaya, presenta una de las más activas áreas geotérmicas en el mundo y posee muchas fuentes termales con muchas gradientes medioambientales.	Termófilos fototróficos	Firmicutes, Proteobacteria, Cianobacteria, Chloroflex, Bacteroidetes, bacterias acidófilas, Nitrospirae, Planctomicetos, Thermodesulfobacteria, Acuíficia.	Biblioteca de clones.16S ARNr
Porcelana, Cahuelmó, Norte de la Patagonia, Chile ^{d, e}	Las aguas termales y el geiser Porcelana están localizadas en la península de Huequi, en un área poco profunda de eventos geotérmicos que vierten rocas volcánicas originadas en el periodo cuaternario y son rodeadas por actividad volcánica como el volcán Huequi. Las rocas son formadas principalmente por silicatos y carbonatos y son ricas en minerales metálicos y elementos como la pirita, calcopirita, arsenopirita y antimonio.	Termófilos fototróficos	Cianobacteria, Bacteroidetes, Deinococcus-Thermus, Proteobacteria (β, γ, ε), Acidobacteria	DGGE
Boekleung, oeste de Tailandia ^d	Zona cercana a la de contacto entre la placa tectónica Indo-australiana y la placa Euroasiática. Tailandia se encuentra a 600-800 km de la zona de subducción de la placa India bajo la Euroasiática. Existen alrededor de 140 fuentes termales con temperaturas de 32 a 99°C. El 62% con temperatura arriba de 50°C, la mayoría localizadas al noroeste del país. El 22% presentan valores de pH neutros (pH 6-7.5) y el 70% moderadamente alcalinos (pH 7.5-9). Un 8% presentan pH alcalino extremo (pH 9-10). Las fuentes termales situadas al norte contienen un alto contenido en sílice y hierro.	Termófilos fototróficos	Cianobacteria, Chloroflexi, Bacteroidetes, OP10, Actinobacteria, Planctomicetos	DGGE
Lago Maravilla, isla Luzón, Filipinas ^{f, d, g}	Fuente geotermal tropical profunda, la oscilación en el nivel del agua y turbidez la dan las lluvias monzónicas comprometiendo la eficiencia de la fotosíntesis junto con los tapetes más profundamente sumergidos. Los tapetes flotantes pueden mantener su posición en la superficie del agua, con ventajas de crecimiento sobre los de crecimiento epilítico. Los tapetes encontrados son oxigénicos posiblemente por los espacios de aire que mantienen la aireación a través del tapete.	Termófilos fototróficos	Cianobacteria, Bacteroidetes, Chlorobi, Chloroflex, Firmicutes, Proteobacteria (γ)	Microscopía, determinación de pigmentos y DGGE
Mina ácida Drainage, Montaña de hierro, California ^{h, d}	Aguas de residuo de minas con un pH entre 0.5 y 0.9 y oxidación aproximada entre 13105 a 23105 moles. La pirita como parte de este ambiente, por día contiene arriba de 24 g/l Fe, muchos más miligramos por litro de Zn y cientos de miligramos por litro de Cu. Las condiciones geoquímicas cambian marcadamente a través del tiempo y son reflejadas en los cambios de las poblaciones microbianas.	Acidófilos no fototróficos	Nitrospirae (Leptospirillum), Euryarchaeota (Thermoplasmatales), Actinobacteria (Acidimicrobium, Ferrimicrobium),	Biblioteca de clones 16S ARNr y microscopía RFLP

Tabla 4. Caracterización de sitios con tapetes microbianos de ambientes extremos. Continuación

Nombre y localización del TM	Caracterización del sitio	Tipo de estructura y característica fisicoquímica del tapete	Diversidad microbiana dominante	Técnica empleada
Cuenca de Geiser Norris, Yellowstone, USA ^{d, i, j, k}	El geiser Norris es uno de los más notables y dinámicos de la caldera de Yellowstone y de los más grandes y activos del mundo. Los disturbios de esta piscina pueden significar cambios relativamente rápidos en la temperatura del agua y en su contenido de sedimentos renovando su actividad de inactivo y cambiar a intervalos de erupciones como un geiser regular.	Acidófilos termófilos no fototróficos	Aquificae (<i>Hydrogenobaculum</i>), Crenarchaeota (<i>Metallosphaera yellowstonensis</i>), Geoarchaeota	Tasa de incremento de Hierro, SEM, FISH, secuencia de genes 16S ARNr
Desierto de Atacama, Salar de Llamará, Chile ^{d, l}	Depósito salino clasificado entre los salares de la Depresión Central La historia geológica de la cuenca se inicia en el Terciario Superior y su desarrollo corresponde a cuencas menores emplazadas sobre depósitos salinos más antiguos con evolución lacustre.	Hipersalinos	<i>Synechococcus</i> , <i>Cyanothece</i> , <i>Microcoleus</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Gloeocapsa</i> , <i>Gloeobacter</i> . fotosintéticos anoxigénicos Descripción bacterias y cocos y bacilos indefinidos	Descripción macroscópica y microscópica
La Salada de Chipriana, España ^{d, m}	Laguna de aguas permanentes hipersalinas de composición dominante sulfatado magnésica, cuenta con varias lagunillas con profundidad superior a 5 m. Las lagunillas de mayor profundidad, de carácter anóxico y rico en sulfuro de hidrógeno. ambiente idóneo para bacterias fototróficas que forman un «Bloom» prácticamente permanente, como tapizando los sedimentos en zonas de escasa pendiente dando lugar a tapetes microbianos.	Comunidades de TM bentónicos	Cianobacterias dominantes, fototróficos anóxicos, heterótrofos aerobios, bacterias incoloras del sulfato y sulfato reductoras	Microscopia y análisis de dilución serial, DGGE
Poza Nimelah, Hamelin, Australia ^{d, n}	Poza situada en la parte suroeste de la bahía Shark en Australia. Bordeada por planos intermareales, que pasan a estantes poco profundos de hasta 2 km de ancho y 6 m de profundidad, con profundidad máxima de 11m, es considerada como un ejemplo clásico de una cuenca con barrotes, por la circulación restringida, combinada con una precipitación anual baja y una evaporación anual alta el agua es hipersalina (entre 55% y 70%), razón principal por la que los estromatolitos y el pequeño bivalvo, <i>Fragum erugatum</i> , pueden prosperar.	Hipersalinos fotosintéticos	Proteobacteria, Chloroflexi, Planctomycetes, Cyanobacteria, Bacteroidetes, Spirochaetes, Caldithrix, Firmicutes, GN04, OP8, PM: Proteobacteria, Bacteroidetes, Planctomycetes, Chloroflexi, Cyanobacteria, Acidobacteria, Spirochaetes, GN04, Verrucomicrobia, Gemmatimonadetes, Actinobacteria	Biblioteca de secuencias de SSU ARNr
Isla Schiermonnikoog, Holanda ^{d, o, p}	Situada en la costa del mar del norte de Holanda, está cubierta por tapetes microbianos que inician una sucesión de comunidades resultado de una densa vegetación de marisma salado. La playa del mar del norte tiene una elevación natural que corre desde la baja marca de agua, este gradiente es la entrada del agua de mar a la baja marca del agua y de agua dulce que surge del agua subterránea a las dunas y del agua de lluvia. El resultado es un natural y dinámico gradiente salino que depende de la marea, el agua de lluvia y el viento.	TM fotosintéticos de costa	ST1 (zona de agua dulce): Proteobacterias (α , γ , β , δ), Bacteroidetes, Cyanobacteria, Actinobacterias, Firmicutes, Chloroflexi ST2 (zona intermedia): Proteobacterias (α , β , δ), Bacteroidetes, Cyanobacteria, Actinobacterias, Verrucomicrobia ST3 zona intermareal): Proteobacteria (α , γ , δ), Bacteroidetes, Actinobacterias, Verrucomicrobia, Planctomycetes	Secuencias masivas de 16S ARNr (región V6)

Tabla 4. Caracterización de sitios con tapetes microbianos de ambientes extremos. Continuación

Nombre y localización del TM	Caracterización del sitio	Tipo de estructura y característica fisicoquímica del tapete	Diversidad microbiana dominante	Técnica empleada
Marisma Great Sippewissett, Massachussets, USA d, q	Marisma de baja salinidad (2.5-20%) por influencia del agua dulce de las lluvias. Distribuido en tres asociaciones indicadas por su régimen de salinidad inundación y características del sedimento. Se asocia con la entrada de agua dulce (filtración, vertida a la superficie y agua de lluvia) y una leve influencia marina, resultando valores bajos de salinidad (2.5-20%). La asociación <i>J. macrescens</i> caracteriza a la marisma medio donde la salinidad es controlada por filtración de mar, agua de lluvia y evaporación, con valores de salinidad mayores a 20%, puede incrementarse al extremo de altos valores durante periodos sin inundación y altas tasas de evaporación (44%). Lo demás de la marina se llena de las inundaciones diarias de la marisma Edge donde la salinidad tiene valores de 28%.	Hipersalinos	Cianobacteria, Proteobacteria (particularmente Chromatiales), Chloroflexi, Spirochaetes, Acidobacteria, Verrucomicrobia, Caldithrix, Actinobacteria	Biblioteca de secuencias de SSU ARNr y metagenómica de secuencias directas
Lago Ward Hunt, Alto Ártico Canadiense d, r, s, t	La plataforma de hielo Ward Hunt es un remanente de la nieve compactada y antiguo mar de hielo que se extendía a lo largo de la costa norte de la isla de Ellesmere, en el norte de Canadá, abarca la isla Ward Hunt, y la boca del Fiordo Disraeli. Es de agua fresca por la fusión del hielo tiene 43 metros de profundidad en los lagos Fiordo y Epishelf, la relativamente dañada agua por frescos de los 3.000 años de la plataforma de hielo se convirtió en la base de un ecosistema, de tapetes microbianos.	TM bentónicos fototróficos	Cianobacteria Clorofitas, Bacterias heterótrofas	CLSM, SEM, EDS y LTSEM
Continente Antártico y península d, u	Las costas de la península Antártica son muy accidentadas, abundando los fiordos, ríos y bahías, por la actividad erosiva glacial y por la presencia de vulcanismo activo. Al este de la Península Antártica convergen en el mar de Weddell, la Barrera de Hielos Larsen, una barrera glacial que se encuentra en retroceso debido al calentamiento global.	TM acuáticos psicofílicos	Actinobacteria, Bacteroidetes, Proteobacteria, Firmicutes, <i>Deinococcus-Thermus</i>	Cultivo microbiano, Rep-PCR, Secuenciación de gen 16ARNr
Ady Entre y Roşiori, Rumania d, v, w	Fuente termal en medio alcalino, resultado de perforaciones geológicas formadas en los 1970s–1980s. Las aguas termales del acuífero Pontian muestran ser originadas por la combinación de agua meteórica y la sinergia de fluido salino. El desuso y el fluido continuo de agua geotérmica con la iluminación natural permitieron la formación de tapetes microbianos que colonizaron estas perforaciones.	Termófilos fototróficos	Cianobacteria, Chloroflexi, Proteobacteria	Biblioteca de construcción de clones SEM, 16S ARNr, Análisis de secuencia y filogenética.

Fuente: modificado de: Prieto-Barajas, Valencia-Cantero y Santoyo 2018, Bibliografía: ^a: Jiang et al. 2012, ^b: Yim et al. 2006, ^c: Huang et al. 2011, ^d: Prieto-Barajas et al., 2018, ^e: Mackenzie, Pedrós-Alió, and Díez 2013, ^f: lacap et al., 2007, ^g: lacap et al., 2005, ^h: Shean, 2006, ⁱ: Druschel et al., 2004, ^j: Noss et al., 2002, ^k: Nugent et al., 2015, ^l: C. Demergasso et al., 2003, ^m: Montes, 1991, ⁿ: Suosaari et al., 2018, ^o: Bolhuis & Stal, 2011, ^p: Bolhuis et al., 2014, ^q: De Rijk & Troelstra, 1997, ^r: de los Ríos et al., 2015, ^s: Aguilera et al., 2010, ^t: Vincent et al., 2000, ^u: A. Camacho, 2005, ^v: Coman et al., 2013, ^w: Hurst, 2007, Abreviaturas: DGGE Denaturing Gradient Gel Electrophoresis; FISH Fluorescence in situ Hybridization; RFLP Terminal-Restriction Fragment Length Polymorphism; Rep-PCR Repetitive element sequence-based PCR; SSU-rRNA Small subunit ribosomal RNA; CLSM Confocal Laser Scanning Microscopy, SEM Scanning Electron Microscopy; EDS X-ray Energy, Dispersive, Spectroscopy; LTSEM Low Temperature Scanning Electron Microscopy.

2.1.2 Servicios ecosistémicos y tapetes microbianos

Los servicios ecosistémicos son los beneficios tangibles e intangibles, generados por los ecosistemas, necesarios para la supervivencia del sistema natural y biológico en su conjunto, y para que proporcionen beneficios al ser humano (LGEEPA, 2012)

Las funciones que prestan los ecosistemas según Espejel (2017) son las siguientes:

- Función de regulación: regulación de gases, regulación del clima, regulación de disturbio, regulación del agua, tratamiento de desechos, control biológico, control de la erosión, retención de sedimentos.
- Función de soporte: reciclado de nutrientes, formación de suelo, producción de alimentos.
- Función de provisión: materiales crudos, albergues de especies, suministros de aguas, recursos genéticos, recursos científicos.

Los servicios ecosistémicos o servicios ambientales se agrupan en la figura 4 en las siguientes categorías (Balvanera, 2012) (Millenium Ecosystem Assesment, 2005):

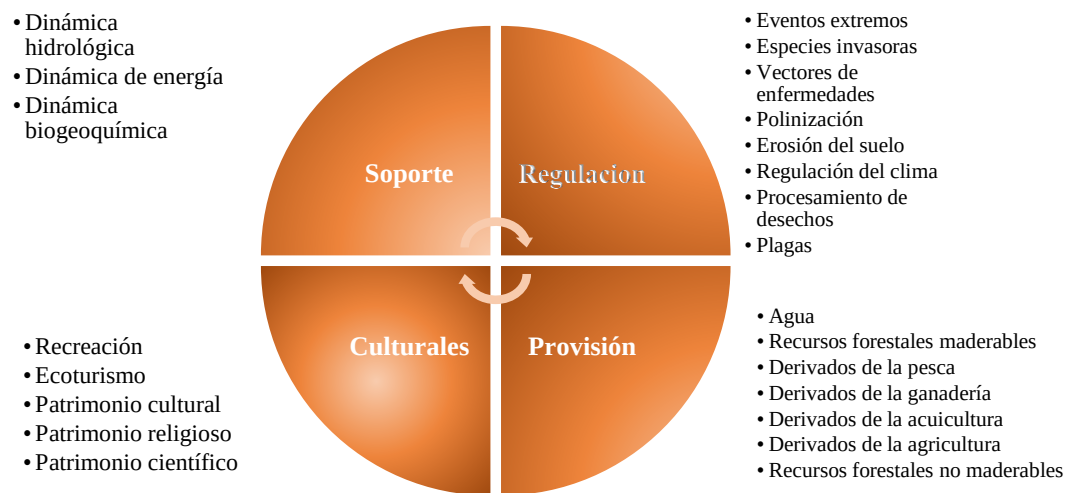


Figura. 4. Servicios ecosistémicos. Las palabras resaltadas refieren los servicios ecosistémicos que pueden prestar los tapetes microbianos

En ese sentido los tapetes microbianos, producen una matriz polimérica extracelular que contribuye a la fertilización, estabilización y retención de agua en el suelo por lo que pueden ser empleados como herramienta en el acondicionamiento de suelos y estimuladores del crecimiento en plantas superiores (Giraldo, 2012), además los TMAE entre los servicios ecosistémicos que proveen incluyen regulación del clima, resiliencia y resistencia, producción de oxígeno, ciclos de nutrientes (ciclos biogeoquímicos) (Franks & Stolz, 2009), captura de carbono a través de la fotosíntesis, diversidad de especies y función de hábitat (Pepper, Gerba, & Gentry, 2007) (Paterson et al., 2010).

Dentro de los servicios culturales puede incluirse que los TMAE como los existentes en el Manantial hidrotermal Baño de San Ignacio (Linares, NL), Cuatro Ciénegas (Coahuila) o Guerrero Negro, (Baja California) tienen un gran potencial (Chacon-Baca et al. 2015), debido a la información que pueden aportar como biomarcadores, por su origen y por la información que han guardado a través del tiempo.

2.1.3 Tapetes microbianos y su relación con los ciclos biogeoquímicos

Por su naturaleza de microecosistema, en los TMAE se ensamblan todos los ciclos biogeoquímicos desarrollados por los diferentes metabolismos de los microorganismos que conforman el tapete. (Souza et al., 2014). Dicho de otro modo, los procesos biogeoquímicos que desempeñan los TMAE son el resultado directo de la composición del tapete, y se encuentran directamente relacionados con el metabolismo de los microorganismos que lo integran (Guerrero et al., 2002).

En ambientes extremos, los microorganismos no pueden desarrollarse por sí mismos, dependen de las interacciones que establecen unos con otros para vivir y desempeñar su papel dentro del microecosistema (Wong et al., 2016). Su disposición dentro del TMAE es proporcional al requerimiento de oxígeno de cada especie, por lo que en la superficie se encuentran cianobacterias y microalgas conforme se va aumentando la profundidad se van presentando bacterias rojas, blancas, verdes, negras y arqueas, dependiendo del ambiente extremo donde se desarrolle (Abed, 2010). Por lo anterior, dentro de los ciclos de mayor importancia, se encuentra el ciclo del oxígeno, pero en igualdad de importancia están el del carbono e hidrógeno, que se reciclan por procesos opuestos interrelacionados, fotosíntesis y respiración.

Los TM reciclan nutrientes minerales como nitrógeno, azufre, fósforo y otros metales traza, contribuyen en su captación, asimilación y producción, así los tapetes microbianos son parte

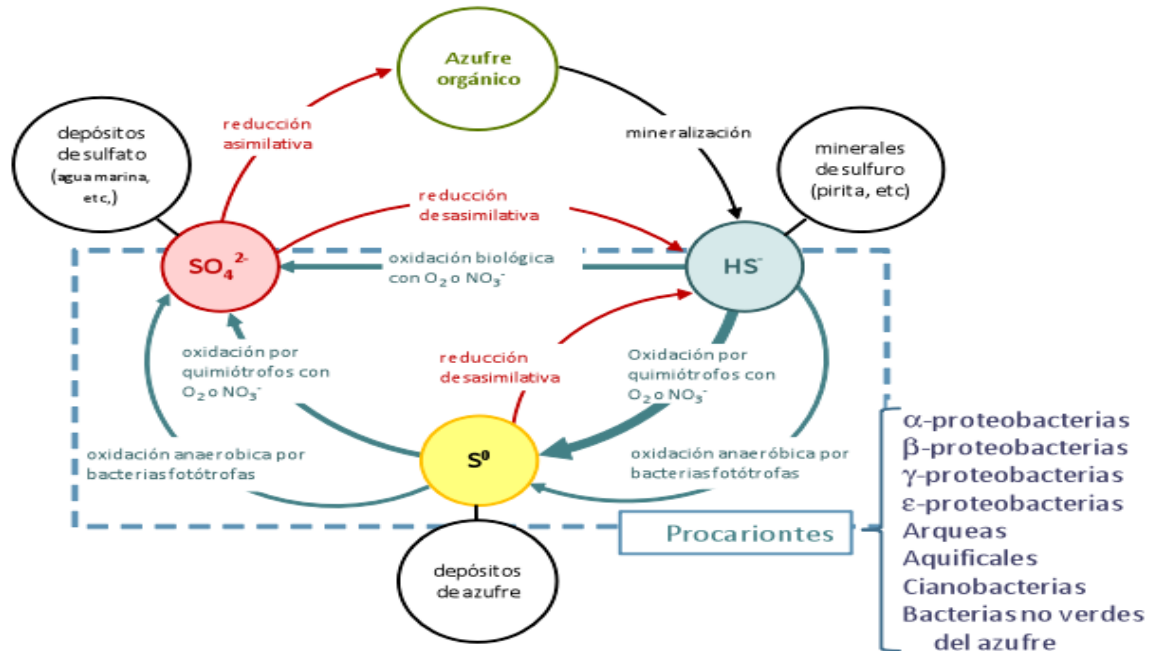


Figura. 5. Ciclo del azufre. Adaptado de Espinosa et al., (2010).

importante para el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos (Pepper et al., 2007). Un ejemplo es el ciclo del azufre mostrado en la figura 5 y la tabla 5.

Tabla 5. Ciclo del Azufre

Puntos de importancia	Descripción
Ambientes extremos donde se realiza	En la cercanía de aguas termales, zonas volcánicas, minas y agua de mar, ejemplo Río Tinto en España
Formas en las que se encuentra	Minerales de sulfato (yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), minerales de sulfuro (pirita, FeS_2), azufre elemental (S_0) y sulfato (SO_4^{2-}), como gases o disueltos en líquidos
Microorganismos involucrados	Las bacterias oxidantes de azufre y sulfuros producen SO_4^{2-} mientras que las bacterias sulfato-reductoras lo consumen utilizándolo como aceptor de electrones en su respiración anaerobia y produciendo H_2S , también intervienen en el ciclo arqueas y bacterias no verdes del azufre
Rutas metabólicas	Las bacterias quimiolitotóxicas obtienen su energía de la oxidación de donadores de electrones inorgánicos y fijan el CO_2 por el ciclo de Calvin. Las fuentes de donadores de electrones inorgánicos pueden ser de origen geológico, biológico y antropogénico. La agricultura, minería, quema de combustibles fósiles y actividades industriales liberan compuestos inorgánicos reducidos de azufre al medio ambiente, que pueden ser donadores de electrones por las bacterias quimiolitotóxicas sulfoxidantes
Hábitats	Altas temperaturas y condiciones ácidas (exclusivamente termófilos Gram positivos del género <i>Sulfobacillus</i>) y en condiciones mesofílicas a pH ácido, neutro o alcalino para todas las demás bacterias (Proteobacterias)
Importancia	Elemento abundante en todos los organismos, se encuentra en compuestos orgánicos como aminoácidos, proteínas, hormonas, lípidos y vitaminas. Los compuestos azufrados circulan entre el suelo, los océanos, la atmósfera y la materia viva, a través del ciclo biogeoquímico del azufre
Riesgos potenciales	Desequilibrio del ciclo biogeoquímico natural, por emisiones antropogénicas excesivas de compuestos azufrados rebasando la capacidad de la naturaleza de degradarlos. Compuestos emitidos a la atmósfera: dióxido de azufre (SO_2), el sulfuro (H_2S) y el disulfuro de carbono (CS_2). La agricultura, minería, quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales liberan compuestos inorgánicos reducidos de azufre al medio ambiente. Cerca de un tercio de los compuestos de azufre, y 99% del SO_2 , que llegan a la atmósfera provienen de las actividades humanas.
Contribución	Tratamiento de la contaminación de aguas y de emisiones gaseosas por compuestos de azufre y nitrógeno, aplicación de bioprocesos en corrosión de metales y concreto, drenaje ácido de minas, extracción de metales en minería, tratamiento de biogás.

Tabla. 5 Basado en: Espinosa et al., (2010).

2.1.4 Tapetes Microbianos de Ambientes Extremos como Bioindicadores

Los bioindicadores son utilizados como método para determinar la salud y cambios del ambiente a través de la presencia, ausencia o mediante cambios en la abundancia o la relevancia ecológica de ciertas especies. Pueden advertirnos sobre ciertos estresores ambientales a través del tiempo, impactos ecológicos, o la sobreexplotación de recursos (Bellinger & Sigeo, 2010), también

permiten conocer la biodisponibilidad de los contaminantes, ayudando a establecer los efectos aditivos, sinérgicos y antagónicos de los contaminantes (González-Zuñiga et al., 2014).

Las especies bioindicadoras se definen como aquellas que por sus características reflejan el estado biótico y abiótico del medioambiente, representando el impacto o cambio ambiental de un hábitat, una comunidad o un ecosistema (Heink & Kowarik, 2010); pueden ser usadas para estimar la condición de otras especies o del ambiente que presenten dificultades de medir, costos altos o que por sus características presenten inconvenientes para ser medibles directamente (Ortiz & Ortega, 2014).

Entre las características que debe enmarcar un bioindicador, Bellinger (2010) menciona:

- Tener un estrecho rango ecológico
- Responder rápidamente a cambios del medioambiente
- Buena definición taxonómica
- Identificación fiable
- Amplia distribución geográfica

Los tapetes microbianos han sido utilizados como bioindicadores de salud en ecosistemas extremos, tal es el caso de Cuatro Ciénegas, en donde la desaparición de TM ha sido un indicio de contaminación antropogénica, debido a la introducción de nutrientes y pérdida de su agua profunda rica en azufre (Souza et al., 2006). Otro ejemplo es la Laguna Honda en Andalucía, España, donde los TM fungieron como bioindicadores de calidad y salud (Consejería del Medio Ambiente y Territorio, 2015), o en Delta de Ebro donde se han estudiado los TM como bioindicadores de plomo, en especies tales como *Oscillatoria* sp., *Chroococcus* sp. (Maldonado 2011), y *Spirulina* sp. y cromo en *Geitlerinema* sp., *Scenedesmus* sp. (Millach et al., 2015).

Las comunidades de diferentes organismos que conforman TM han sido utilizados como bioindicadores, tal es el caso de diatomeas que han servido como indicadoras de características ambientales, y en el monitoreo de cambios en la salinidad, el estado de nutrientes, la acidez y la perturbación hidrológica general en lagos (Guamán & González, 2016) las cianobacterias como

indicadores de condiciones oligotróficas o mesotróficas, o las algas verdes que se pueden encontrar en ambientes estresados, ácidos o contaminados por metales (Bellinger & Sigee, 2010). Ejemplos de estos ambientes son: manantiales termales (Baño de San Ignacio), ambientes fríos y secos (como los del Polo Sur, Antártida) (Navarrete et al., 2000; Che et al., 2001; Wieland et al., 2003), hipersalinos (Guerrero Negro) (Ley et al., 2006; Paerl y Yannarell, 2010)(Souza et al., 2014), alcalinos (lagos) o de escasos nutrientes, como es el caso de Cuatro Ciénegas (Souza et al., 2006).

2.1.5 Tapetes microbianos en México

México por sus características, cuenta con una gran diversidad de ambientes, de ecosistemas, de especies, y por esto, se encuentran ambientes extremos de diversas características que albergan tapetes microbianos, termófilos, halófilos, oligotróficos, acidófilos o alcalófilos, de diversos orígenes, como fuentes termales, marinos, geotérmicos, volcánicos.

La bibliografía consultada para la tabla 6 refiere a estos TMAE en las entidades de Baja California Sur, Michoacán, Coahuila, Nuevo León, Puebla y Yucatán, sin embargo, debido a la gran cantidad de sitios con ambientes extremos en México, muy probablemente existen otros lugares no identificados aún.

En la tabla 6, se identifican los estudios realizados a estos TMAE. Entre los más comunes están los parámetros fisicoquímicos, la microscopía y la metagenómica, así como otros como el estrés ambiental, los efectos de la estacionalidad, la dinámica de comunidades, la fijación de nitrógeno y los cultivos en laboratorio.

Así mismo, como se muestra en la tabla 6, se han identificado diversas contribuciones de importancia científica, ambiental e industrial, a pesar de eso, estos ambientes se encuentran con estado ambiental modificado incluso a pesar de encontrarse dentro de una ANP, solamente los TM ubicados dentro de la Reserva de la Biósfera del Vizcaino han sido, junto con el ANP, exitosos en su conservación, según lo refiere la CONABIO (tabla 6).

Tabla 6. Tapetes microbianos en México

Origen del ambiente extremo	Entidad Federativa	Lugar	Características extremas	Estudios realizados	Contribución	Estado ambiental	Área de protección
Fuentes termales ^a	Michoacán	Araró	Termófilos	Efectos de la estacionalidad y parámetros fisicoquímicos, metagenómica	Bacterias con potencial de biodegradación (petróleo) y biorremediación por contaminación con metales	Altamente modificadas por usos recreativos	Ninguna
Marinos ^{a, b}	Baja California Sur	Guerrero Negro	Halófilos	Microscopía de contraste de fases, electrónica de barrido, metagenómica, metales.	Usos biotecnológicos y contribución en el estudio de vida en otros planetas	No se afecta el ecosistema.	Reserva de la Biósfera el Vizcaíno
Marinos ^{b, c}	Baja California Sur	laguna ojo de liebre	Halófilos	Microscopía de luz, espectrometría de masas con relación isotópica, inhibición de fotosíntesis, estudio de ciclo de Diel, metagenómica	Analogías entre los modernos ambientes microbianos y los ambientes marinos de estromatolitos	No se afecta el ecosistema.	Reserva de la Biósfera el Vizcaíno
Fuentes termales ^{b, d}	Coahuila	Cuatro ciénegas	Oligotróficas	Estrés ambiental con diversidad bacteriana (Radiación UV con temperatura), metagenómica	Modelo de respuesta de los ecosistemas a perturbaciones ambientales rápidas, modelos experimentales de los ecosistemas para comprender mejor la evolución de la vida en la Tierra facilitando la búsqueda de vida en otros lugares (Foster y Mobberley, 2010)	Contaminación: industria minera y actividad humana. Deforestación y modificación del entorno y de los cuerpos de agua por uso turístico	ANP
Hidro geoquímico ^e	Nuevo León	Baño de San Ignacio	Termófilos	Microscopía de contraste diferencial, de emisión de campo y electrónica de barrido	Identificación de factores ecológicos determinantes en la distribución y estructura de comunidades microbianas. Vía para estudiar interacciones microbio-mineral dentro de una matriz orgánica tan compleja como el EPS. Reservorios dinámicos de biosignaturas microbianas útiles en paleontología y astrobiología.	Presuntas modificaciones para usos recreativos (Fuente propia: lugareños)	ANP
Marinos ^f	Yucatán	Laguna Uaymitúm	Halófilos	Dinámicas de las comunidades microbianas en tres estadios, técnicas de microscopía clásica, electrónica de barrido y diversidad por métodos moleculares metagenómicos (DGGE y Amplicotecas de ADN ribosomal)	Procesos tróficos, biogeoquímicos y productivos	No se encontraron registros de impacto	Ninguna
Geotérmico	Puebla	Los Azufres-El Potrero Colorado	Acidófilos	Microscopía clásica, análisis de metales, metagenómica	Indicadores ambientales, servicios ecosistémicos (próximamente)	Poco impacto debido a los usos tradición-culturales	Ninguna
Volcánico ^{b, g}	Puebla	Lago Alchichica	Alcalófilo	Ficológicos, fijación de nitrógeno en tapetes microbianos, hidro geoquímica del cráter, microscopía, metagenómica, cultivos en laboratorio	Vestigios paleontológicos, laboratorio natural para procesos de mineralización microbiana y de interacciones microbio mineral, análogo moderno de la vida microbiana, estudios potenciales de astrobiología,	Vulnerable y prioritaria en categoría de protección especial	Sin tipo de área para conservación

Tabla 6. Realización propia, Bibliografía: a: Prieto-Barajas et al., 2018, b: CONABIO (2019 b-c) , c: Javor & Castenholz, 1981, n d: González-Zuarth et al., 2014, e: Chacon-Baca et al., 2015, f: Castell-Gonzalez, 2010, g: Chacon-Baca, Arana-Gómez, & Torrez de la Cruz, 2015

2.2 Estatus de protección legal

2.2.1 Marco

La revisión de instrumentos jurídicos internacionales vinculantes y nacionales, así como el marco político de planeación que incluye las estrategias de acción para la conservación de la biodiversidad y medioambiente de México, tiene por objeto demostrar que no existen instrumentos de política que consideren a los TMAE para su conservación, así como establecer el sustento de acciones, mecanismos o elementos para el desarrollo de lineamientos para la conservación de TMAE.

Debido a que los marcos internacional y nacional no son específicos sobre tapetes microbianos de ambientes extremos, el estatus de protección descrito refiere la protección de microorganismos dentro del término de biodiversidad, por esta razón la revisión del marco refiere a la exploración sobre biodiversidad y no específicamente sobre TMAE. En la tabla 7 se muestra el marco legal y de planeación consultado.

Tabla 7. Marco legal y de planeación

Marco Internacional		Marco Nacional Mexicano		Marco de planeación
Cumbre de la tierra-Declaración sobre el medioambiente y desarrollo		Constitución Mexicana		Plan Nacional de Desarrollo (2019-2024)
Cumbre de la tierra-Convenio de Diversidad Biológica		LGEEPA		Estrategia Nacional sobre biodiversidad en México (ENBM), plan de acción 2016- 2030
Cumbre de la tierra-Agenda 21		LGVS		Estrategias Estatales sobre biodiversidad (11 Estados)
Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 Metas de Aichi				
Río +20				
Objetivos de desarrollo del milenio (objetivos de desarrollo sostenible)				

2.2.2 Marco internacional

La revisión tiene por objeto demostrar que no existen instrumentos de política que consideren a los TM para su conservación, así como establecer el sustento de acciones, mecanismos o elementos para el desarrollo de lineamientos para la conservación de TMAE en el marco internacional, comprende los acuerdos y convenios establecidos en las conferencias de la ONU (tabla7), Río 1992 “La Cumbre de la Tierra”, Nagoya 2010, y Río +20 (2012) “El Futuro que queremos”.

2.2.3 Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo

Principios de “La Cumbre de la Tierra”

La reunión celebrada en Río de Janeiro (Brasil) en 1992, llamada “La Cumbre de la tierra”, tuvo por objetivo alcanzar acuerdos internacionales a partir de la cooperación entre Estados, sectores de las sociedades y personas que respeten sus intereses, protejan el medio ambiente y reconozcan la naturaleza integral e interdependiente de la tierra.

En esta reunión se establecieron la Declaración sobre Medioambiente y Desarrollo, el Convenio de Diversidad Biológica y la Agenda 21.

La declaración sobre el medioambiente y desarrollo sostenible, para establecer niveles de cooperación en los que se respeten los intereses y se proteja íntegramente el medioambiente y el desarrollo global, establece 27 principios que sientan las bases para llegar al desarrollo sostenible, así como el marco para todos los derechos y obligaciones individuales y colectivas en el campo del medio ambiente y el desarrollo.

Cuatro de estos principios son sustento de este proyecto, refiriendo al desarrollo sostenible del medioambiente, a su conservación y protección, al fortalecimiento del saber científico y a la aplicación de la evaluación de impacto ambiental, como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Principios de la Declaración de "La Cumbre de la Tierra"

Principio	Establece	Sustenta
4	A fin de alcanzar el desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente deber constituir parte integrante del proceso de desarrollo y no podrá considerarse en forma aislada.	Importancia del medio ambiente
7	Los Estados deberán cooperar con espíritu de solidaridad mundial para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra.	Protección del medio ambiente
9	Los Estados deberían cooperar en el fortalecimiento de su propia capacidad de lograr el desarrollo sostenible, aumentando el saber científico mediante el intercambio de conocimientos científicos y tecnológicos, e intensificando el desarrollo, la adaptación, la difusión y la transferencia de tecnologías, entre éstas, tecnologías nuevas e innovadoras.	Política Basada en Evidencia
17	Deber emprenderse una evaluación del impacto ambiental, en calidad de instrumento nacional, respecto de cualquier actividad propuesta que probablemente haya de producir un impacto negativo considerable en el medio ambiente y que esté sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente.	Vinculante con la ley nacional sobre la aplicación de la EIA

Tabla 8. Solamente se citan los principios que pueden resultar vinculantes al presente trabajo.

2.2.4 Convenio sobre Diversidad Biológica

Es un acuerdo vinculante, en el que se establecen tres ejes principales, la importancia sobre conservar la biodiversidad, el mantenimiento del uso sostenible de sus componentes y el reparto justo y equitativo de los beneficios que aportan los recursos genéticos.

El convenio explica con detalle en 14 de sus 42 artículos, la ruta para lograr cumplir con los objetivos de conservación y mantenimiento sostenible de la biodiversidad (*Convenio sobre la Diversidad Biológica*, 1992), en su artículo dos de términos utilizados, se establece que, los microorganismos son parte de los ecosistemas y a su vez de la diversidad biológica.

2.2.5 Agenda 21

Es un plan de acción en el que se elaboran estrategias y un programa de medidas integradas para detener e invertir los efectos de la degradación ambiental y para promover un desarrollo compatible con el medio ambiente y sostenible en todos los países.

La agenda sustenta la promoción del desarrollo compatible con el medio ambiente, de cualquier medio ambiente, aunque no refiere específicamente los ambientes extremos ni sus ecosistemas microbianos.

2.2.6 Conferencia de Nagoya

En 2010 es celebrada la conferencia de las partes en Nagoya, Japón, en esta reunión se revisó el plan Estratégico para la Biodiversidad 2011-2020 y se suscribieron como parte del plan las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica.

Los tapetes microbianos conformados por microorganismos son parte de la diversidad biológica, por tanto y aunque no exista una referencia específica sobre tapetes microbianos, la protección para microorganismos se incluye dentro del plan estratégico y en las metas de Aichi.

2.2.7 Plan Estratégico para la Biodiversidad y Metas de Aichi

El Plan Estratégico tiene la visión de “Vivir en armonía con la naturaleza” y su finalidad es promover la aplicación eficaz del Convenio de Nagoya, enfocado estratégicamente a partir de su visión, misión, objetivos y metas.

A pesar de su marco de acción decenal, el Plan Estratégico cuenta con una visión hacia 2050 sobre la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de sus servicios ecosistémicos.

Las metas para la Diversidad Biológica se han organizado en cinco objetivos estratégicos a partir de los cuales se desarrollan las 20 metas.

- Objetivo estratégico A incluye metas de la 1 a la 4 y aborda las causas profundas sobre la pérdida de diversidad biológica mediante la incorporación de la diversidad biológica en todos los ámbitos gubernamentales y de la sociedad.
- Objetivo estratégico B, incluye metas de la 5 a la 10 e indica la reducción de las presiones que recaen directamente sobre la biodiversidad, así como promueve su utilización sostenible
- Objetivo estratégico C, incluye metas de la 11 a la 13 y establece la mejora de la situación de la diversidad biológica protegiendo los ecosistemas, las especies y la diversidad genética
- Objetivo estratégico D, incluye metas de la 14 a la 16, este objetivo insta al aumento de los beneficios obtenidos por la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos.
- Objetivo estratégico E, incluye metas de la 17 a la 20, para mejorar la aplicación de instrumentos de conservación de la biodiversidad a través de la planificación participativa, la gestión de los conocimientos y la creación de capacidad.

Tabla 9. Objetivos y metas de Aichi sobre biodiversidad

Objetivo estratégico	Meta	Vínculo
A	Meta 1: Para 2020, a más tardar, las personas tendrán conciencia del valor de la diversidad biológica y de los pasos que pueden seguir para su conservación y utilización sostenible.	Sensibilización sobre la importancia de la biodiversidad
B	Meta 5: Para 2020, se habrá reducido por lo menos a la mitad y, donde resulte factible, se habrá reducido hasta un valor cercano a cero el ritmo de pérdida de todos los hábitats naturales, incluidos los bosques, y se habrá reducido de manera significativa la degradación y fragmentación	Protección de la biodiversidad
D	Meta 14: Para 2020, se han restaurado y salvaguardado los ecosistemas que proporcionan servicios esenciales, incluidos servicios relacionados con el agua, y que contribuyen a la salud, los medios de vida y el bienestar, tomando en cuenta las necesidades de las mujeres, las comunidades indígenas y locales y los pobres y vulnerables.	Importancia de los servicios ecosistémicos
E	Meta 17: Para 2015, cada Parte habrá elaborado, habrá adoptado como un instrumento de política y habrá comenzado a poner en práctica una estrategia y un plan de acción nacionales en materia de diversidad biológica eficaces, participativos y actualizados.	Vinculante con los planes estratégicos de conservación y uso sustentable de la biodiversidad
F	Meta 19: Para 2020, se habrá avanzado en los conocimientos, la base científica y las tecnologías referidas a la diversidad biológica, sus valores y funcionamiento, su estado y tendencias y las consecuencias de su pérdida, y tales conocimientos y tecnologías serán ampliamente compartidos, transferidos y aplicados.	Sustento de PBE y de investigaciones científicas

Tabla 9. Solamente se citan los objetivos estratégicos y las metas que pueden resultar vinculantes al presente trabajo.

2.2.8 Conferencia sobre Desarrollo Sostenible

En junio del 2012, fue celebrada en Río de Janeiro, Brasil la Conferencia sobre Desarrollo Sostenible conocida como Río +20 “El futuro que queremos”, en ella se trata la protección de la diversidad biológica y el uso sostenible de los ecosistemas, además se creó un grupo de trabajo para desarrollar un conjunto de objetivos con la finalidad de reafirmar la agenda de desarrollo sostenible, y de los compromisos en materia económica, social y ambiental.

Este grupo ha sido el encargado de proponer 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) con 169 metas que pretenden trazar el horizonte de 2015-2030.

Los ODS son vinculantes con las estrategias nacionales de conservación y uso sostenible de la diversidad biológica, y a su vez en el caso de México con las estrategias estatales.

En lo referente a microorganismos, y ya que se encuentran enmarcados dentro de la definición de ecosistema y se pueden considerar como recursos, los objetivos 14 y 15 pueden vincular su sostenibilidad, estableciendo “*Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos,*

mares y recursos marinos para lograr el desarrollo sostenible” y “Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra, y frenar la pérdida de diversidad biológica”, respectivamente.

2.2.9 Marco nacional

Se revisó el marco jurídico nacional que incluye la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Ley General de Vida Silvestre, El Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, la Estrategia Nacional sobre biodiversidad en México (ENBM) su plan de acción 2016- 2030 y las Estrategias Estatales sobre biodiversidad (11 Estados), dentro de este marco legal se inspeccionó la inclusión de microorganismos que son los constituyentes de los tapetes microbianos.

2.2.10 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) en su artículo 4, párrafo 5 dice que *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar”*. además, se afirma que el Estado garantizará el respeto a este derecho y que los daños o deterioro al ambiente son susceptibles de responsabilidad de quien los provoque en los términos que dispone la ley.

En general la CPEUM refiere al bienestar de la sociedad, sin embargo, refiere que este bienestar se encuentra vinculado a la salud y cuidado del medioambiente el cual incluye la biodiversidad en la que se incluyen los microorganismos.

2.2.11 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente tiene por objeto la preservación y restauración del equilibrio ecológico, el mejoramiento y protección al ambiente, a la biodiversidad y el desarrollo sustentable.

Es en esta ley que se encuentra establecida la política ambiental, sus principios e instrumentos, la evaluación de impacto ambiental, las áreas naturales protegidas (ANP), sus tipos y características, las declaratorias para el establecimiento de su administración y vigilancia, las

investigaciones de educación ecológicas, establece los planes de manejo, lineamientos, la participación social e información ambiental y los convenios para la conservación.

Esta Ley puede sustentar la creación de lineamientos de conservación para los TMAE, aunque en el sentido estricto no incluye el término microorganismos, ni tapetes microbianos, pero sí refiere la protección a la biodiversidad y dentro de esta se incluyen a los microorganismos como organismos vivos de cualquier especie.

2.2.12 Ley General de Vida Silvestre

Se revisó la Ley General de Vida Silvestre, pero salvo algunos conceptos generales como conservación, se encuentra enfocada a fauna silvestre y su aportación no es enfocada a efectos de microorganismos. Esto implica que no se tiene ninguna referencia sobre ellos y no es aplicable para microorganismos ni mucho menos para tapetes microbianos de ambientes extremos.

2.2.13 Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024

El Plan Nacional de Desarrollo en su estrategia integral trata la parte ambiental que incluye biodiversidad y el desarrollo sostenible, en la revisión se identificaron los apartados y objetivos que tratan estos temas.

En la tercera (III) parte, el eje transversal de Territorio y desarrollo sostenible, tiene un enfoque que articula el quehacer con el desarrollo basado en la sostenibilidad económica, social y ambiental.

El objetivo 2.5 suscribe la garantía sobre el derecho a un medioambiente sano orientado hacia la sostenibilidad de los ecosistemas, la biodiversidad, el patrimonio y los paisajes bioculturales.

El objetivo 2.5.2, trata sobre el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la biodiversidad.

El 2.5.7 habla sobre impulsar la investigación y la cultura ambiental para la sustentabilidad y sobre el fomento de mecanismos e instrumentos para motivar la corresponsabilidad de todos los actores sociales en materia de desarrollo sostenible.

Así mismo la parte seis (VI), vincula el PND con acuerdos internacionales como los objetivos de desarrollo sostenible y la agenda 2030.

2.2.14 Estrategia Nacional sobre Biodiversidad en México (ENBM) y plan de acción 2016-2030

Siguiendo con el marco nacional, abordamos la Estrategia Nacional sobre biodiversidad en México (ENBM) y su plan de acción 2016- 2030

Esta estrategia establece que el capital natural o biodiversidad es el conjunto de ecosistemas y los organismos que éstos contienen: plantas, animales, hongos, microorganismos y sus procesos naturales, son la base del bienestar social, y es sobre esta base que se desarrollan los demás capitales (humano, social, manufacturado y financiero).

Dentro del estado del conocimiento de las especies, se afirma que existen grupos taxonómicos prácticamente desconocidos en México, como los virus y otros microorganismos. Así mismo, se indica que en lo que respecta a diversos grupos de invertebrados, en particular los marinos, hongos y sobre todo microorganismos, los vacíos de información son evidentes, aunque hay algunos órdenes, familias o géneros que están mejor estudiados que otros.

Por otro lado, esta estrategia suscribe que los ecosistemas proporcionan servicios y hace referencia a su manejo y uso sustentable, debido a la importancia que esto representa en cualquier ecosistema, como los que albergan los ambientes extremos, aunque no tengan referencia específica en este ámbito.

El Plan de acción de la estrategia tiene como objetivo estratégico que para el 2030, deberá de haberse incrementado el conocimiento sobre la biodiversidad y la valoración de los servicios ecosistémicos, así como el impulso a la investigación científica interdisciplinaria, rescatando e integrando los conocimientos tradicionales e involucrando a la sociedad, con el fin de contribuir a una cultura de aprecio a la biodiversidad y al fomento del desarrollo sustentable del país. Además, señala que este conocimiento es útil para la toma de decisiones que garantizan la conservación, manejo y uso sustentable de la biodiversidad ante el cambio global.

Así se puede decir que, aunque no se encuentra el término de tapetes microbianos dentro de este plan de acción ni en la ENBM, estos proporcionan una vía de sustento para la conservación de estos TMAE y la creación de lineamientos con este fin.

2.2.15 Estrategias Estatales sobre biodiversidad

En un esfuerzo por cumplimentar los acuerdos internacionales y en apoyo al marco de planeación federal sobre biodiversidad y desarrollo sustentable, las entidades federativas hacen un esfuerzo y se integran con planteamientos estratégicos para sumarse al compromiso de los acuerdos internacionales suscritos por México.

A partir del 2003 y hasta el momento, un estado cuenta con estrategias sobre la biodiversidad, y once más con Estrategia para la Conservación y uso Sustentable de la Biodiversidad (tabla 10), que pretenden ser integrales, implementando los mecanismos para el beneficio del socio ecosistemas.

En lo referente a microorganismos en ocho Estados los refieren dentro la definición como en biodiversidad, sólo algunos reconocen dentro de este grupo a algas (microalgas) hongos, bacterias y arqueobacterias, sólo los Estados de Campeche y Puebla citan especies específicas de bacterias, Jalisco hace referencia de filos y junto con Michoacán y Chiapas, refieren el número de especies de microorganismos que se encuentran en dichas entidades.

El estado actual que guardan las entidades sobre los microorganismos en general es pobre, es decir la carencia de información y falta de listados taxonómicos e investigaciones básicas sobre microorganismos es recurrente, incluso cuatro de estas estrategias no hacen mención sobre microorganismos.

La generalidad sobre la problemática sobre la identificación de microorganismos, ha sido el enfoque limitado a algunas zonas específicas en las entidades, la carencia de información, que sólo se da importancia a especies que afectan al hombre y en específico en el estado de Hidalgo se identificó una problemática en general sobre biodiversidad esta precedida por “La falta de interés y de capacidad de los tomadores de decisiones y de la sociedad, que desvincula el tema de la biodiversidad con los diferentes sectores, quienes devalúan el tema ambiental como superficial o

no importante”, según señala la Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Hidalgo en la tabla 10.

A pesar de lo anterior, como se menciona en la tabla 10, existen algunas estrategias que señalan la importancia de microorganismos, como la del estado de Campeche, donde los microorganismos se utilizan en la elaboración de aditivos para alimentos, solventes, biocombustibles, agroquímicos, farmacéuticos y reactivos de laboratorio; en Guanajuato mencionan que especies de microorganismos (diatomeas) son utilizadas como bioindicadores de la calidad de los ambientes; en Michoacán se utilizan las bacterias y hongos como inoculantes y en Puebla afirman que existen alrededor de 50 productos naturales poblanos (algunos de origen microbiano) con denominación de origen y con certificación de productos ecológicos u orgánicos, además de que en particular las bacterias son de importancia agrícola, médica y por ser fijadoras de nitrógeno.

Por lo tanto aunque no sean un tema prioritario, los microorganismos no sólo representan utilidad e importancia biológica o científica, también pueden ser una fuente económica según lo señalan las ECUSBE, además el desarrollo de investigaciones sobre microorganismos se encuentra en una fase inicial por lo que los tapetes microbianos aún no son tomados en cuenta como tales pero ya están estableciéndose según se puede observar en las ECUSBE las bases para investigaciones más a fondo sobre microorganismos, esto también puede sustentar el diseño de lineamientos para la conservación de TMAE.

Tabla 10. Estrategias Estatales sobre Biodiversidad

Entidad Federativa	Estrategia	Año	Estado actual sobre microorganismos	Especies de microorganismos citadas	Tipos de microorganismos	Problemática sobre identificación de microorganismos	Utilidad de microorganismos
Aguascalientes	Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Aguascalientes.	2010	Falta de listados taxonómicos e investigaciones básicas de grupos biológicos como bacterias, protistas e invertebrados artrópodos,	Ninguna	No incluyen	La riqueza de especies se enfoca solo en una localidad o región. Ausencia de información ecológica, estado de conservación y principales amenazas de las especies.	Ninguna mencionada
Campeche	Estrategia para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad en el estado de Campeche.	2016	Se han reportado 64 géneros de microorganismos (cianobacterias, algas, hongos, bacterias). Faltan estudios para conocer la composición de las comunidades microbianas, estudios de diversidad genética microbiana (sólo bacterias marinas) y patrones de distribución	<i>Pleurocapsa</i> , <i>Chroococcidiopsis</i> , <i>Gloeocapsa</i> , <i>Nostoc</i> y <i>Lyngbya</i> .	Microorganismos incluidos en la definición de biodiversidad. Cianobacterias, algas, hongos, bacterias, arqueobacterias.	Carencia de información por muestreo realizados sólo en áreas muy específicas en el estado.	Elaboración de aditivos para alimentos, solventes, biocombustibles, agroquímicos, farmacéuticos, reactivos de laboratorio.
Chiapas	Estrategia para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad del estado de Chiapas.	2013	Cyanobacteria incluida dentro de las 81 especies de algales	Ninguna	Microorganismos incluidos en la definición de biodiversidad y de ecosistema y cianobacteria dentro de la definición de líquenes	No menciona	No menciona
Chihuahua	Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Chihuahua	2015	No presenta	Ninguna	microorganismos incluidos en la definición de biodiversidad	No menciona	No menciona
Guanajuato	Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Guanajuato.	2015	No presenta	Ninguna	microorganismos y bacterias, incluidos en la definición de biodiversidad	No menciona	Especies de microorganismos (diatomeas) son utilizadas como bioindicadores de la calidad de los ambientes
Hidalgo	Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del estado de Hidalgo	2019	No menciona	No menciona	No menciona	La falta de interés y de capacidad de los tomadores de decisiones y de la sociedad, desvincula el tema de la biodiversidad con los diferentes sectores, quienes devalúan el tema ambiental como superficial o no importante.	No menciona

Tabla 10. Estrategias Estatales sobre Biodiversidad. Continuación.

Entidad Federativa	Estrategia	Año	Estado actual sobre microorganismos	Especies de microorganismos citadas	Tipos de microorganismos	Problemática sobre identificación de microorganismos	Utilidad de microorganismos
Jalisco	Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del estado de Jalisco	2017	No se identifican sus potenciales de aprovechamiento y no se tienen suficientes estudios que permitan una evaluación del estado de conservación de sus poblaciones	Los filos: Cyanobacteria (120 Especies), Chlorophyta (175 especies), Bacillariophyta (119 especies), Euglenophyta (36 especies), Miozoa (148 especies)	Microorganismos incluidos en la definición de biodiversidad. Microalgas	Carencia de información	Poseen un valor estético, recreativo e incluso cultural
Michoacán	Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de Michoacán.	2007	Carencia de información sobre protistas y bacterias, cuya riqueza es mayor a la que se ha reportado.	Microalgas marinas, en lagos, en presas (555 especies)	Microorganismos incluidos en la definición de biodiversidad, y de bacterias	Las investigaciones sobre bacterias y protistas sólo han sido de las especies que revisten algún tipo de importancia para el hombre	Inoculantes (hongos y bacterias)
Morelos	Estrategia estatal sobre biodiversidad de Morelos	2003	No menciona	No menciona	No menciona	No menciona	No menciona
Oaxaca	Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de Oaxaca	2018	Próxima elaboración de estudios de prospección consensuada de bacterias	No menciona	No menciona	Poca información	No menciona
Puebla	Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del Estado de Puebla.	2013	165 protistas y 30 bacterias	<i>Rhizobium leguminosarum</i> var. <i>phaseoli</i> , <i>R. etli</i> y <i>R. gallicus</i> , <i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> y <i>Escherichia coli</i>	microorganismos incluidos en la definición de recursos genéticos	No menciona	Aproximado de 50 productos naturales poblanos (algunos de origen microbiano) con denominación de origen y certificación de productos ecológicos u orgánicos. Bacterias de importancia agrícola y médica, y fijadoras de nitrógeno.
Veracruz	Veracruz	2013	No menciona	No menciona	microorganismos incluidos en la definición de biodiversidad y biorremediación	No menciona	No menciona

Tabla 10. Elaboración Propi

3. Capítulo: Caracterización de tapetes microbianos de un ambiente extremo

3.1 Área de estudio

La determinación del papel funcional de los TM como bioindicadores y servicios ecosistémicos se realizó como parte de un grupo de trabajo de GEMex: “Cooperación México-Europa para la investigación de sistemas geotérmicos mejorados y sistemas geotérmicos supercalientes”, específicamente en el grupo de trabajo PT-9: “Evaluación de Impactos Ambientales, Sociales y Económicos de Sistemas Geotérmicos Mejorados y Supercalientes”, dentro del grupo de microbiología ambiental.

El proyecto GeMEX, pretende evaluar dos zonas de actividad geotérmica en el estado de Puebla, Los Humeros en Chignautla (zona impactada) y las localidades de Cruz Colorada, Jonuco Pedernales, San Francisco Terrerillos, y San José Corral Blanco en Chignahuapan.

El Ejido de Cruz Colorada está dentro del municipio de Chignahuapan en el estado de Puebla. Ubicado geográficamente en $98^{\circ} 7'18'' W$ y $19^{\circ} 55'14''$, a una altura de 2830 metros sobre el nivel del mar y cuenta con 464 habitantes. Cruz Colorada es una localidad situada en un área de actividad geotérmica en el cinturón volcánico Trans-Mexicano dentro del complejo de La Caldera Volcánica de Acoculco (López-Hernández et al., 2009).

La Caldera de Acoculco (figura 4), es un sistema geotermal que se localiza en los límites de los estados de Puebla e Hidalgo, en el extremo oriental del Cinturón Volcánico Trans-mexicano, a nivel regional queda comprendida en los límites de la Sierra Madre Oriental y el CVM. La caldera volcánica de 18 km de diámetro y área de 1290 km² aproximadamente, tiene una actividad volcánica representada por domos riolíticos, conos de escoria y derrames andesíticos (Quinto et al., 1995).

Las manifestaciones superficiales son escasas y consisten en descargas de gases (ricas en CO₂) y manantiales de sulfato ácido de baja temperatura, mientras que la actividad explosiva hidrotérmica se manifiesta en cráteres a escala metro y montículos de restos hidrotermales y brechas (Peiffer et al., 2014).

La Caldera de Acoculco

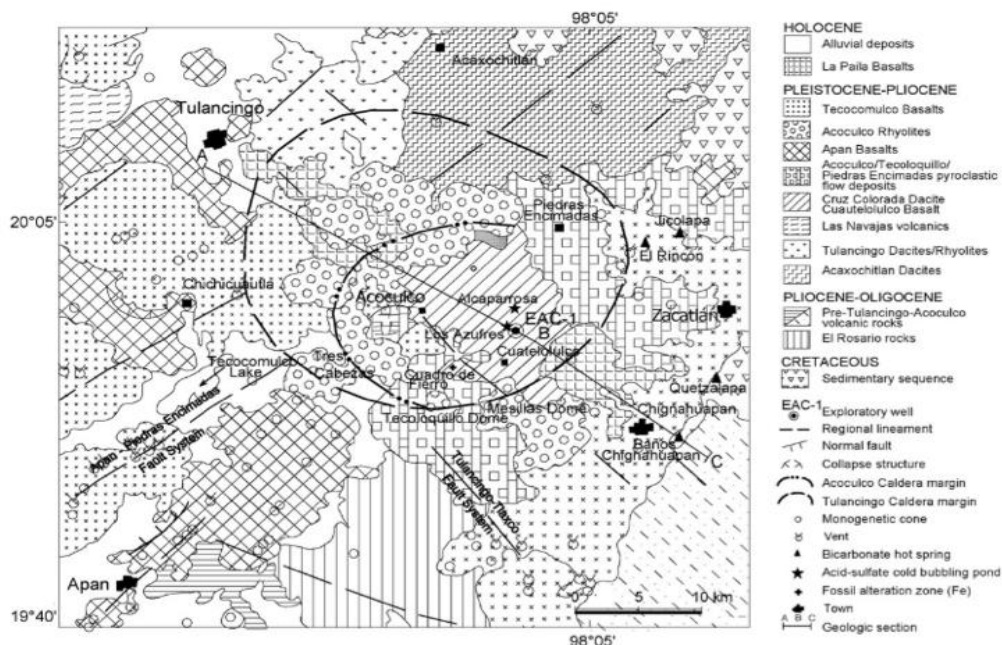


Figura. 6. Mapa geológico del área de La Caldera de Tulancingo-Acoculco. Fuente Peiffer et al. 2014

En el sistema geotermal Acoculco, en el ejido de Cruz Colorada en la zona “Los Azufres-El Potrero Colorado” se ubica un conjunto fuentes geotermiales, 5 fosas en las cuales se encontraron tapetes microbianos.

Por algunas de sus características fisicoquímicas extremas se determinó como el área de estudio.

Las fosas en “Los Azufres-El Potrero Colorado” (figura 5), se encuentran localizadas aproximadamente a dos kilómetros hacia el oeste del poblado de Cruz Colorada y siete kilómetros al noreste se encuentra el poblado de Acoculco (figura 6-A).

La figura 6-B, muestra la zona de muestreo que se encuentra en un valle, son cinco fosas contiguas, con un área aproximada de 11,400m², cada fosa con características fisicoquímicas diferentes, por ejemplo: pH de 3.4 a 6.5, y temperaturas de entre 19 a 28 °C en primavera y 17 a 19 °C en otoño. (Fuente propia E. Núñez).

Las fosas de “Los Azufres-El Potrero Colorado”

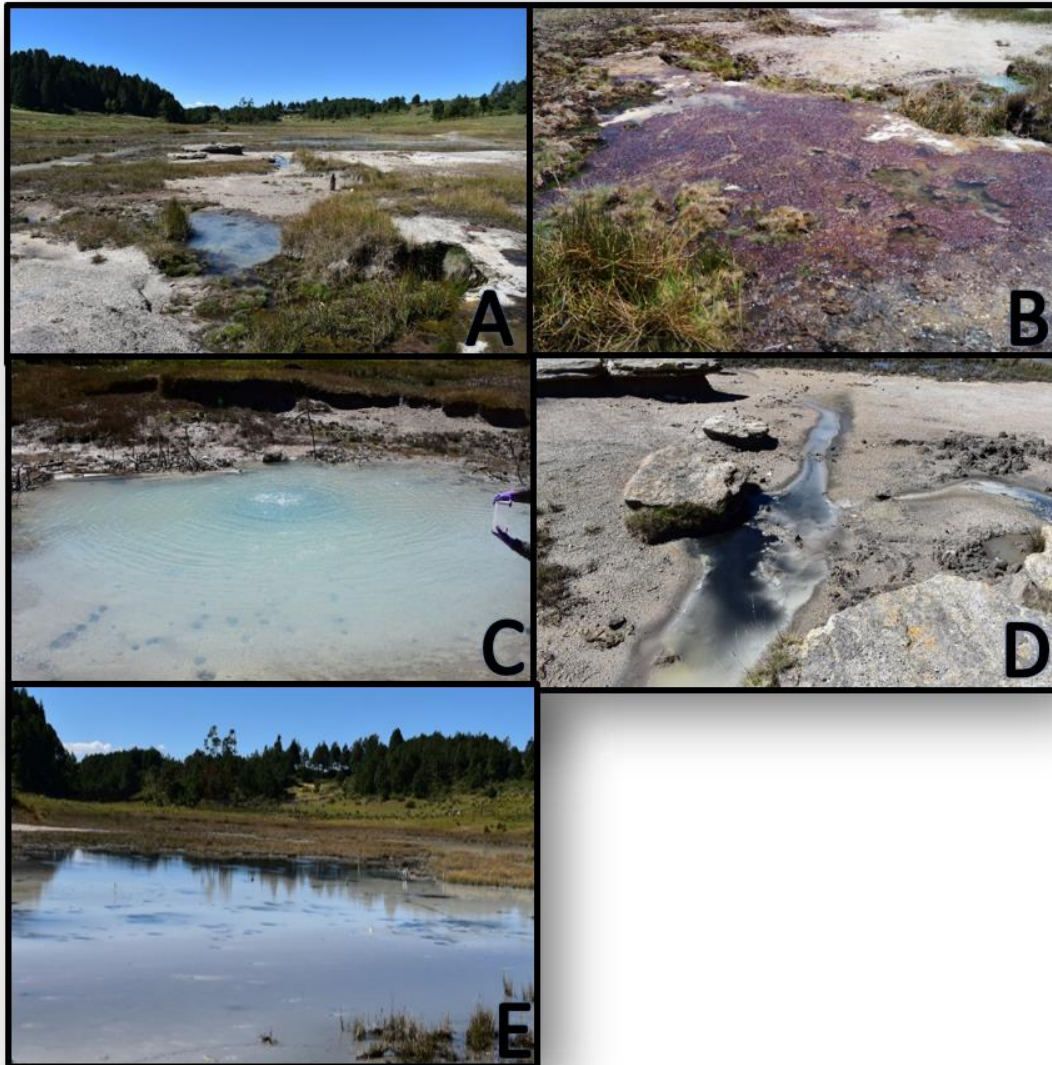


Figura. 8. Fosas en los Azufres- El Potrero Colorado, ejido Cruz Colorada. A- Fosa Blanca (1), B-Fosa Roja (2), C- Fosa Azul (3), D Fosa Gris (4), E-Fosa Negra (5). Fuente propia.

Dentro de la caldera de Acoculco, en “Los Azufres-El Potrero Colorado” se encuentran un valle en el cual emanan 5 fosas contiguas con características físicas diferentes, los colores se aprecian en la figura 7, su localización geográfica es referida en la tabla 10. Además, estas fosas presentan diferentes características fisicoquímicas como indican los parámetros conservativos y no conservativos de las tablas 11 y 13 respectivamente, y algunos de los microorganismos identificados por microscopía también difieren de una fosa a otra.

3.2 Muestreos

3.2.1 Tapete

Para la toma de muestra se utilizó una espátula y un recipiente previamente desinfectados, el tamaño de la alícuota fue determinado con base al tamaño del tapete encontrado, se cortó el tapete con la pala y se colocó en el recipiente de plástico (material del que está hecho y medidas de los recipientes) con su medio acuoso. Cada muestra tomada se cerró y se selló el recipiente con cinta roja y se rotuló.

3.2.2 Medio acuoso

Para la toma de muestra se requirieron botes de plástico. Se sumergió el bote en el medio acuoso donde se tomó la muestra del tapete y se almacenó en hieleras a temperatura ambiente. Cada muestra tomada se cerró y se selló el recipiente con cinta roja y se rotuló. La muestra se rotuló con la clave de muestreo, fecha y tipo de muestra, y se preservó a 4°C., la tabla 11 muestra la localización geográfica de las fosas donde se realizó la toma de muestra.

Tabla 11. Localización geográfica

Fosa	Clave	Identificación	Altura	Localización geográfica
1	AC06.1	Blanca	2841 m	19° 55' 22.16" N 98° 8' 39.16" W
2	AC06.2	Roja	2834 m	19° 55' 22.08" N 98° 8' 38.13" W
3	AC06.3	Azul	2846 m	19° 55' 20.56" N 98° 8' 38.45" W
4	AC06.4	Gris	2838 m	19° 55' 20.60" N 98° 8' 38.96" W
5	AC06.5	Negra	2836 m	19° 55' 21.25" N 98° 8' 39.47" W

Tabla 11. Localización geográfica de las fosas muestreadas

3.2.3 Preparación de muestras

Se tomaron muestras de 200 ml por triplicado, estas muestras se prepararon filtrando el medio a través de un filtro de celulosa de 0.2 micrómetros.

El líquido filtrado se dividió en muestras para medir parámetros no conservativos y metales. Después de dividirse se guardaron a 4°C durante hasta su traslado al laboratorio, una vez en el

laboratorio las muestras de metales y parámetros se conservaron a -4°C hasta su posterior determinación.

De cada muestra de tapete microbiano se tomó una alícuota en recipientes de 8 oz, se almacenaron a -80°C para su posterior procesamiento de ADN, las muestras rotuladas para conservación se muestran en la figura 8 (B).

3.3 Análisis de parámetros *in situ* (conservativos)

Se midieron los parámetros de pH, OD, temperatura, conductividad y sólidos disueltos, con el sistema multiparamétrico HACH modelo MP6P (previamente calibrado), el cual contiene un electrodo que se sumerge en el medio (medio acuoso) de cada muestra. La tabla 12 muestra los parámetros conservativos medidos en cada fosa.

Tabla 12. Parámetros conservativos

Fosa	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	TDS $\mu\text{S/cm}$	Oxígeno disuelto mg/l	pH
1	14.33	226	5.8	4.8
2	28	574	6.22	3.4
3	24.9	504	6.09	3.9
4	26.2	462	5.86	4.5
5	31.8	634	5.4	5.1

Tabla 12. Las muestras se tomaron por triplicado, los parámetros obtenidos fueron similares en cada muestra.

Las fosas presentan pH ácido con rango de 3.4 a 5.1, los valores del oxígeno disuelto muestran un rango de 5.4 a 6.22 mg/l, los datos obtenidos para conductividad y sólidos disueltos totales (TDS) oscilan entre 14.3 $\mu\text{S/cm}$ a 31.8 $\mu\text{S/cm}$ y 226 $\mu\text{S/cm}$ a 634 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente.

3.4 Análisis de parámetros no conservativos

Se analizaron las muestras por triplicado, en un colorímetro de campo marca HACH modelo DR900 (tabla 13). Para cada parámetro (nitrito, nitratos, fosfatos, amonio, sulfatos) se tomaron 10 ml de muestra en un tubo cónico de 15 ml, y se procedió según la técnica específica del colorímetro. Las tablas 13 y 14 indican los parámetros de medición del colorímetro y los parámetros obtenidos por muestra respectivamente.

Tabla 13. Parámetros de medición

DR900 y DR1900	Programa	Método	Rango (mg/L)	Estandar (mg/L)	Precisión (mg/L)	Sensibilidad (mg/L)	Longitud de onda (nm)
Nitritos	373	8153	2-250	200	191-209	1.4	585
Nitratos	344	10020	0.2-30	10	9.5-10.5	0.2	410
Fosfatos	490	8048	0.02-2.50	2	1.98-2.02	0.02	880
Amonio	385	8155	0.01-0.50	0.4	0.38-0.42	0.004	655
Sulfatos	680	8051	2-70	40	30-50	0.4	450
Cloro libre	80	8021	0.02-2	1.25	1.23-1.27	0.02	530
Cloro total	80	8167	0.02-2	1.25	1.23-1.27	0.02	530

Tabla 13. los parámetros de medición del colorímetro de campo marca HACH modelo DR900

Tabla 14. Parámetros no conservativos.

Fosa	Muestra	Fosfatos	Nitritos	Nitratos	Amonio	Sulfatos
1	A	0.01	-	0	0	47
	B	0.01	-	0	0.31	49
	C	0.01	-	0.6	0.52	49
2	A	0	52	1.1	0	86
	B	0	-	0	0	92
	C	0	38	0.4	0	80
3	A	0	-	0	0.51	98
	B	0	-	0.7	0.49	108
	C	0	-	1.9	0.73	94
4	A	0	48	0	0.66	126
	B	0	-	0.3	0.63	118
	C	0	55	0	0.6	112
5	A	0	62	0.4	0.75	106
	B	0	34	1.1	0.62	114
	C	0	17	1.5	0.05	108

Tabla 14. Las unidades de los parámetros son en mg/l

Los parámetros no conservativos (tabla 14) muestran rangos diversos, en lo que respecta al nitrógeno y sus diversas presentaciones, los rangos entre fosas son variables, como la fosa uno que no mostró presencia de nitritos, sólo se obtuvo un valor de 0.6 mg/l de nitratos, valores para las muestras b y c de 0.31 mg/l y 0.52 mg/l respectivamente y un rango poco variable de sulfatos con

valores de 47 mg/l a 49 mg/l, contrastando con la fosa 5, la cual tuvo valores en todas las muestras tomadas con rangos variados, en nitritos de 17 mg/l a 62 mg/l, en nitratos de 0.4 mg/l a 1.5 mg/l, en amonio de 0.05 mg/l a 0.75 mg/l, y en azufre el rango tiene menos variabilidad con valores entre 106 mg/l a 114 mg/l.

3.5 Preservación y siembra de tapetes microbianos en laboratorio

Se elaboró medio f/2, (1 ml de cada solución de nitratos, silicatos, fosfatos, vitaminas y metales traza para aforar a 1 litro de solución, todas las soluciones se elaboraron con agua destilada y esterilizada en autoclave y se guardan en refrigeración) para preservar las muestras, y específicamente para el pH de cada muestra cómo se indica en la tabla 15, la tabla 16 muestra los medios de preservación utilizados por muestra.

Las muestras se mantuvieron con medio f/2, colocadas a la luz 16 horas y 8 de obscuridad, a una temperatura de entre $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ en un cuarto especial cerrado (rango promedio de temperatura del medio del lugar de muestreo).

Tabla 15. Formulación de medios de preservación

Medio	Buffer	pH
Guillard F/2-3	Glicina	3
Guillard F/2-4	Glicina, titulado hasta 4 con NaOH	4
Guillard F/2-5	Citrato-fosfato titulado hasta 5 con HCl	5
Guillard F/2-6	Citrato-fosfato	6
Guillard F/2-8	Sin buffer	8

Tabla 15. Cada medio se llevó al pH indicado

Tabla 16. Medios de preservación

Muestra	Medio	Muestra	Medio
B18AC06 a	Guillard F/2-5	B18AC06.3c	Guillard F/2-3
B18AC06 b	Guillard F/2-4	B18AC06.4a	Guillard F/2-6
B18AC06 c	Guillard F/2-5	B18AC06.4b	Guillard F/2-5
B18AC06.1a	Guillard F/2-5	B18AC06.4c	Guillard F/2-5
B18AC06.1b	Guillard F/2-6	B18AC06.5a	Guillard F/2-4
B18AC06.1c	Guillard F/2-5	B18AC06.5b	Guillard F/2-5
B18AC06.2a	Guillard F/2-6	B18AC06.5c	Guillard F/2-3
B18AC06.2b	Guillard F/2-6	B18AC06.6	Guillard F/2-4
B18AC06.2c	Guillard F/2-5	B18AC12a	Guillard F/2-8
B18AC06.3a	Guillard F/2-4	B18AC12b	Guillard F/2-8
B18AC06.3b	Guillard F/2-4	B18AC12c	Guillard F/2-8

Tabla 16. Medios basados en Guillard F/2 (para elaborar el medio de preservación se añade un ml de solución de fosfatos, un ml de solución de nitratos, un mililitro de solución de silicatos, un mililitro de solución de vitaminas y un mililitro de solución de metales y se afora con agua desmineralizada y esterilizada a un litro) con doble de metales traza excepto F/2 pH-8.0, buffer preparados al 10x

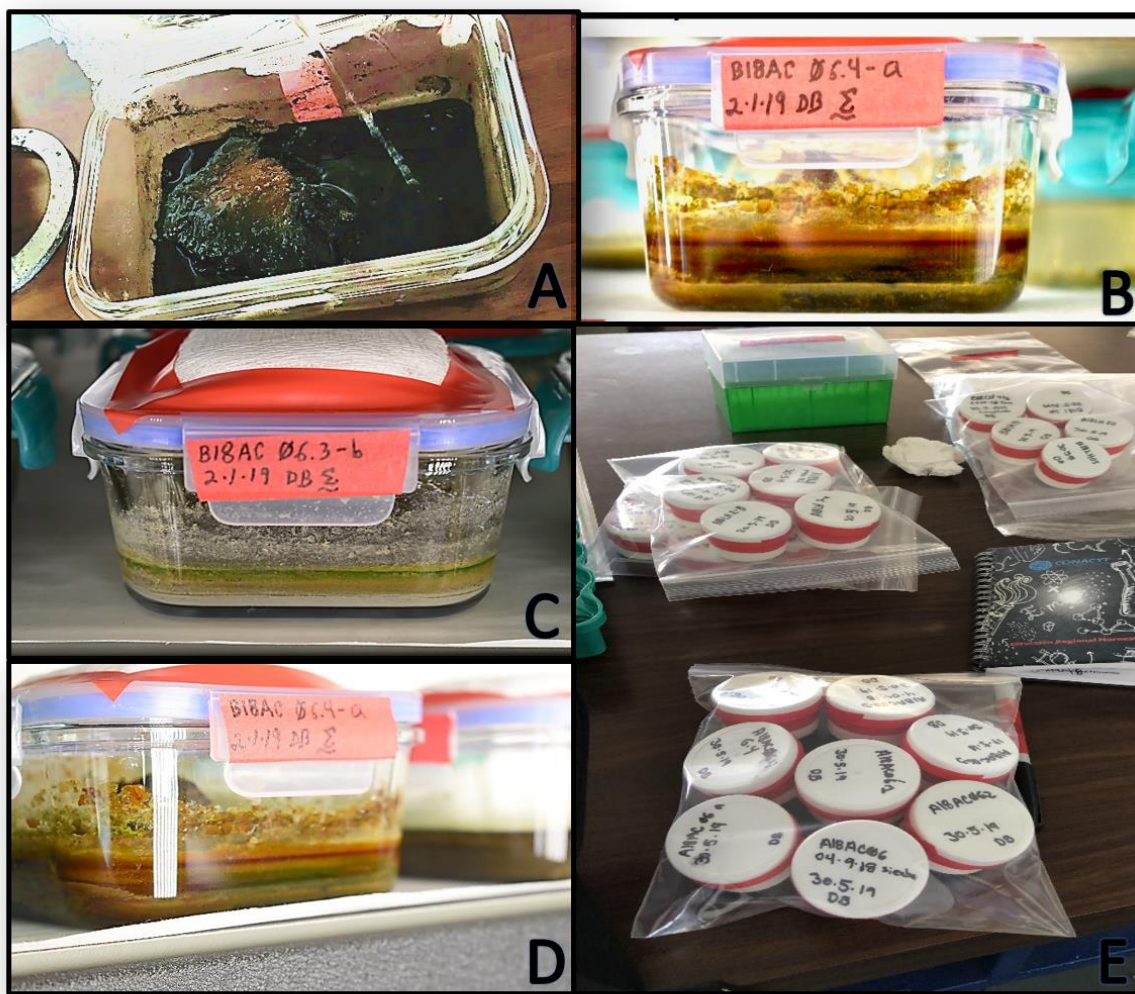


Figura. 9. Siembra y preservación de Tapetes Microbianos A, B, C y D, E- Muestras para ADN

Las muestras de TM se sembraron y preservación con los medios indicados en las tablas 15 y 16 para su observación en el microscopio simple y para posibles análisis posteriores como se muestra en la figura 8 (A, B, C y D).

3.6 Metales

Las muestras asignadas para la determinación de metales disueltos en el medio acuoso de los tapetes microbianos se acidificarán con 50 μL de H_2NO_3 , siguiendo el procedimiento de preparación de muestras para la medición de cationes, como sugiere el manual de isótopos hidrológicos (IAEA, 2014).

Los elementos mayores (Ca, K, Mg, Na, S) se analizaron con un espectrómetro de emisión atómica acoplado a un plasma por microondas (MP-AES, por sus siglas en inglés) con límite de detección de 0.01 ppm. Mientras los elementos menores (*elementos traza*: As, B, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sr, U, V, Zn) se analizaron con un espectrómetro de masas triple cuádruplo acoplado a un espectro de plasma inducido (ICP-MS triple cuádruplo), ambos equipos de la marca Agilent.

El análisis químico fue realizado por el laboratorio de la Universidad de Alberta, Canadá, con ICP-MS de SWAMP, como parte del proyecto *“Cooperación Internacional de Investigación y Desarrollo entre México y La Unión Europea en Energía Geotérmica”*. Grupo de trabajo PT-9: *“Evaluación de Impactos Ambientales, Sociales y Económicos de Sistemas Geotérmicos Mejorados y Supercalientes”*.

Tabla 17. Elementos mayores

Fosa	Muestra	Na	Mg	K	Ca	S*
1	a	21.895	4.296	11.730	17.196	47.847
1	b	24.280	4.622	12.120	19.057	53.582
1	c	25.684	4.799	12.357	19.549	55.868
2	a	13.275	9.161	9.432	34.932	98.503
2	b	12.341	8.088	8.751	32.529	92.348
2	c	12.802	8.256	8.831	31.113	92.791
3	a	33.517	9.900	11.724	46.224	102.623
3	b	22.272	9.876	11.553	41.206	107.638
3	c	22.640	9.674	11.890	40.229	104.047
4	a	23.741	10.165	12.703	41.654	106.909
4	b	23.793	10.145	12.430	39.797	102.072
4	c	23.699	9.975	12.763	41.652	104.885
5	a	35.354	11.984	14.820	48.228	108.719
5	b	35.920	12.412	14.921	47.824	109.838
5	c	41.984	13.626	16.570	51.575	124.675

Tabla 17. Las unidades de los parámetros son en mg/l, S* no es metal, pero se encuentra en cantidades elevadas.

Los elementos presentes en mayor proporción se muestran en la tabla 17, las muestras de una misma fosa presentan rangos con poca variación, no así las concentraciones de metales, un ejemplo es la fosa 1 en la cual con respecto al Na el rango es de 21.895 mg/l a 25.68 mg/l, con

respecto del S el rango es de 47.847 mg/l a 55.868 mg/l, estos parámetros muestran como la fosa 1 contiene mayor concentración de S que de Na, razón por la cual se explica que cada fosa cuenta con características químicas particulares.

Como se puede observar en la tabla 17, para las fosas en general el elemento que se encuentra en mayor proporción es el S, seguido del Ca, el de menor proporción es el Mg.

Tabla 18. Elementos traza I

Fosa	Muestra	Al	As	B	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Ga
1	a	452.7	34.2	8343.1	237.2	0.8	0.4	0.7	2.6	1868.4	60.0
1	b	369.2	50.0	8054.7	506.6	1.0	0.4	0.4	1.5	3225.1	124.4
1	c	212.7	171.0	6976.2	814.1	0.4	0.2	0.6	0.3	5747.5	297.4
2	a	13282.1	6.8	426.9	38.8	14.1	9.5	0.3	1.6	3917.4	9.1
2	b	12119.3	6.4	398.9	37.7	13.4	9.0	0.3	0.9	3722.5	8.7
2	c	11759.8	6.1	389.4	35.4	13.4	8.8	0.3	0.9	3643.7	7.8
3	a	11186.7	77.8	8899.6	37.6	18.1	5.4	0.4	0.5	3256.2	8.3
3	b	11885.5	59.2	7572.6	38.6	20.1	5.8	0.5	0.3	3440.8	8.4
3	c	10811.6	99.2	9762.3	31.6	18.2	5.3	0.3	0.1	3240.3	6.8
4	a	10696.5	136.7	10865.9	34.0	17.8	5.3	0.3	0.4	3172.3	7.3
4	b	9672.9	150.2	10554.5	36.7	17.0	5.1	0.3	0.4	3068.6	7.7
4	c	10088.9	152.2	10820.7	36.5	17.8	5.2	0.2	0.6	3141.0	7.7
5	a	4803.3	280.8	32672.9	47.7	16.8	4.9	0.2	0.2	2961.3	10.1
5	b	4925.7	278.6	32352.1	42.7	17.3	4.9	0.2	0.2	3082.5	9.0
5	c	6964.3	281.7	32393.8	63.5	19.3	5.7	0.3	0.4	3204.3	13.1

Tabla 18. Las unidades de los parámetros son en µg/l

Los elementos trazan con mayor concentración para la fosa 1 se presentan en el siguiente orden B>Fe>Ba>Al>Mn>Sr>Ga>As>Rb>Zn>Ti>Cu>V>Ni>Se>Ce>Y>Cr>Co>Pb, indicando que el elemento traza con mayor concentración es le B y el de menor es el Pb.

Con respecto de la fosa 2, el orden de concentración para estos elementos es Al>Fe>Mn>B>Sr>Zn>Ba>Rb>Y>Ti>Ce>Se>Co>Ga>Ni>As>Cu>V>Cr>Pb, en la fosa 3 la concentración mayor comienza con Al y el menor dato es de Pb una concentración de B>Al>Fe>Mn>Sr>Zn>As>Ba>Rb>Y>Ce>Ti>Se>Ga>Co>V>Ni>Cr>Cu>Pb, para la fosa 4 el orden se establece iniciando nuevamente con B y con una concentración menor de Pb, Al>B>Fe>Mn>Sr>Zn>As>Ba>Rb>Y>Ce>Ti>Se>Ga>Co>V>Ni>Cr>Cu>Pb y la fosa 5 cuenta

con una concentración de elementos traza similar a la de las fosas 2 y 4, así mismo con respecto del metal menor referimos al Pb, como a continuación se indica Al>B>Fe>Mn>Sr>As>Zn>Ba>Rb>Y>Ti>Ce>Se>Ga>Co>Ni>V>Cu>Cr>Pb.

Tabla 19. Elementos traza II

Fosa	Muestra	Mn	Ni	Pb	Rb	Se	Sr	Ti	V	Y	Zn
1	a	242.1	1.2	0.2	31.1	0.9	236.2	7.6	1.1	0.8	25.9
1	b	258.1	1.0	0.6	32.0	1.2	252.0	8.6	1.3	0.9	14.7
1	c	273.2	0.5	0.1	33.9	0.8	270.9	11.3	1.0	0.3	7.9
2	a	1521.1	7.8	0.2	20.8	11.3	175.1	14.4	0.5	16.7	171.7
2	b	1430.0	7.3	0.2	19.6	10.6	165.1	13.7	0.5	15.8	158.0
2	c	1393.4	7.2	0.2	19.0	10.7	161.5	13.1	0.4	15.7	153.7
3	a	1484.4	4.6	0.1	26.7	16.7	268.4	17.1	0.5	19.8	116.7
3	b	1547.6	5.1	0.0	26.3	18.2	268.4	17.9	0.5	21.2	127.0
3	c	1476.9	4.6	0.0	27.4	15.8	276.3	16.9	0.4	19.6	111.0
4	a	1426.7	4.5	0.1	28.4	15.8	278.6	16.4	0.8	19.1	114.5
4	b	1393.3	4.3	0.0	27.8	14.7	273.0	16.3	0.6	18.1	107.6
4	c	1424.7	4.5	0.0	28.5	15.4	281.3	16.1	0.7	19.0	113.2
5	a	1400.7	4.3	0.0	32.2	14.1	426.1	18.2	0.6	18.3	98.3
5	b	1401.1	4.4	0.1	32.9	14.4	431.5	18.5	0.6	18.8	101.1
5	c	1576.7	4.9	0.0	35.8	15.9	454.7	20.2	0.7	20.6	117.0

Tabla 19. Las unidades de los parámetros son µg/l

3.7 Microscopia

De las muestras originales se tomaron alícuotas diluidas en una gota de agua destilada en un medio estéril por medio de mecheros Bunsen, se introdujo un asa (previamente esterilizada en autoclave) y con la punta se tomó una pequeña alícuota que posteriormente se colocó en porta objetos para su observación con microscopio óptico ZEISS AXIO star plus con iluminación Kohler, todas las muestras se observaron con objetivo 100x, las fotografías se tomaron con la cámara Acope modelo Mu 500, de 18 Mega pixeles y resolución de 4000x3000 (Máxima).

Las fotos fueron comparadas con las especies encontradas en Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía (Ayma, 2013), Catálogo de Microalgas y Cianobacterias de Agua Dulce del Ecuador: Biodiversidad de los Principales Géneros de Microalgas y Cianobacterias Encontradas en Sistemas Lacustres de Áreas Protegidas de los Andes

y Amazonía del Ecuador (Guamán & González, 2016) y Freshwater Algae Identification and Use as Bioindicators (Bellinger & Sigeo, 2010), para identificación de microorganismos así, las especies identificadas de Chlorophyta, Cianobacteria, Bacillariophyta y Euglenozoa se muestran en la tabla 20. Las fotografías de las muestras de tapetes microbianos por fosa se muestran en las figuras de la 9 a la 13.

Fosa I

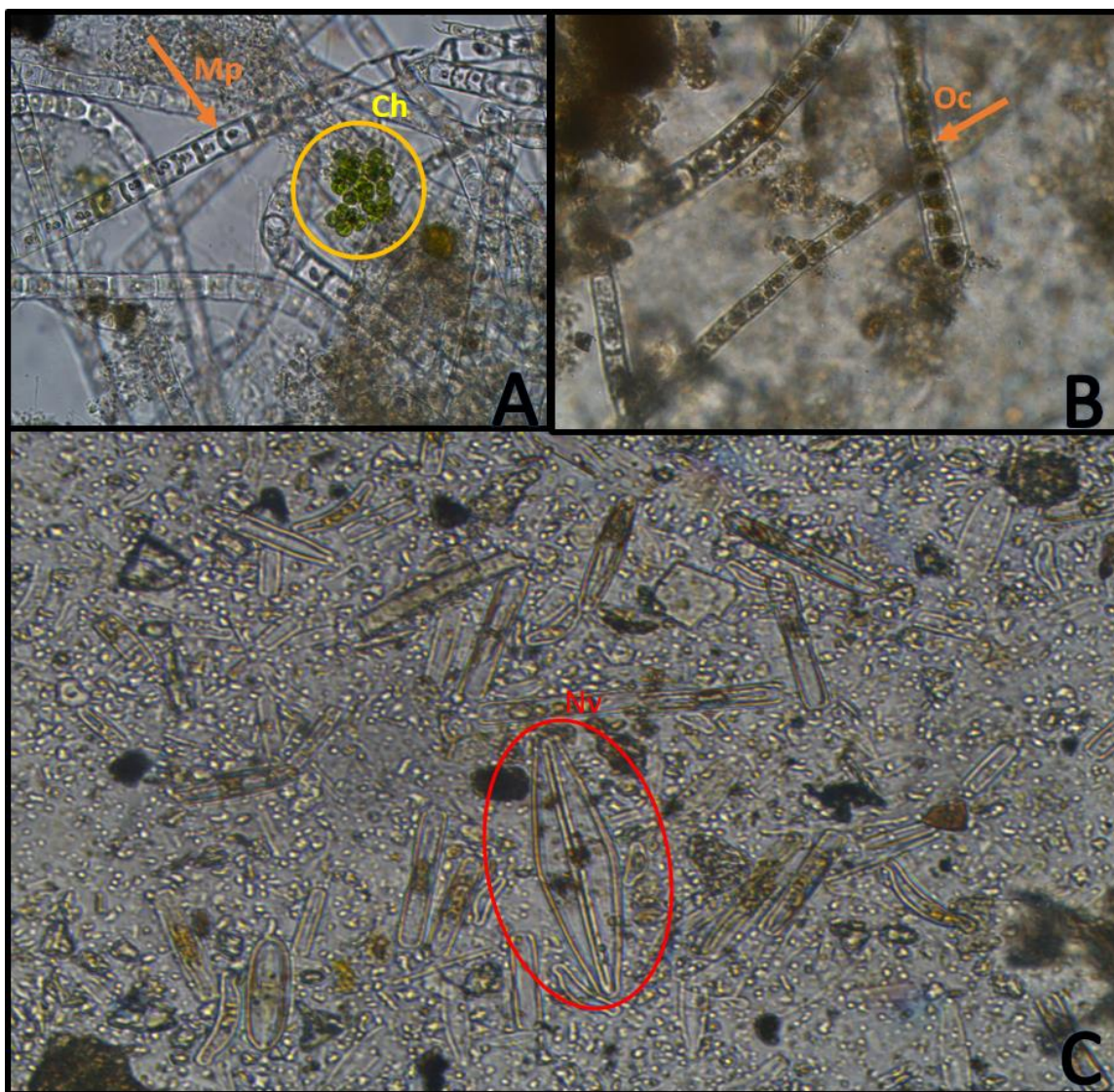


Figura. 10. Microorganismos identificados por microscopía en la fosa I.- A.- En amarillo- (Ch) *Chlorella* sp., flecha naranja- (Mp) *Microspora* sp., B.- flecha naranja-(Oc)*Oscillatoria* sp., C.- Círculo rojo- (Nv)*Navicula* sp. Fuente Propia

Fosa II

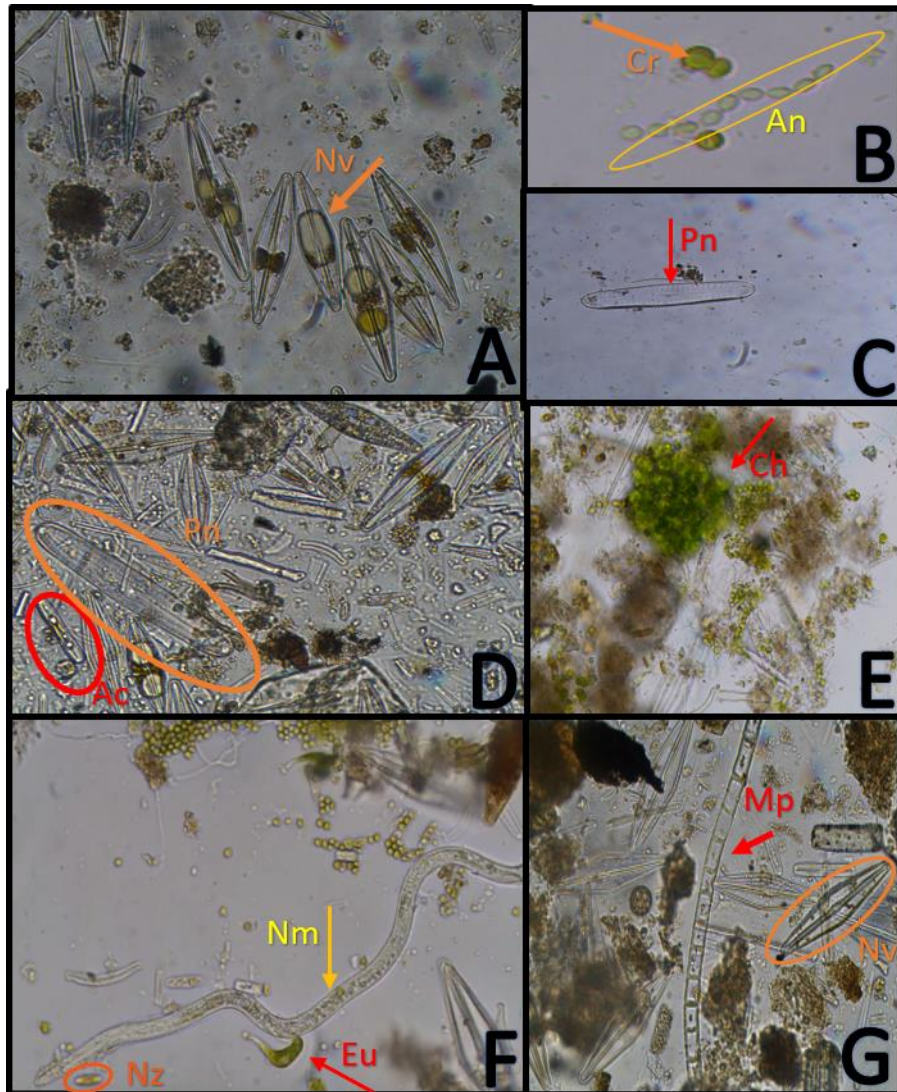


Figura. 11. Microorganismos identificados por microscopía en la fosa II. A.- Flecha naranja- (Nv) *Navicula* sp. Con lípidos en su interior. B.-Círculo amarillo- (An) *Anabaena* sp. Flecha naranja- (Cr) *Chroococcus* sp. C.- Flecha roja- (Pn) *Pinnularia* sp. D.- Círculo rojo- (Ac) *Achnanthidium* sp., Círculo naranja- (Pn) *Pinnularia* sp. E.- Flecha roja- (Ch) *Chlorella* sp. F.- Círculo naranja- (Nz) *Nitzschia* sp., Flecha amarilla- (Nm) *Nemátodo*, Flecha roja- (Eu) *Euglena* sp. G.-Flecha roja- (Mp) *Microspora* sp., Naranja- (Nv) *Navícula* sp. Fuente Propia.

Fosa III

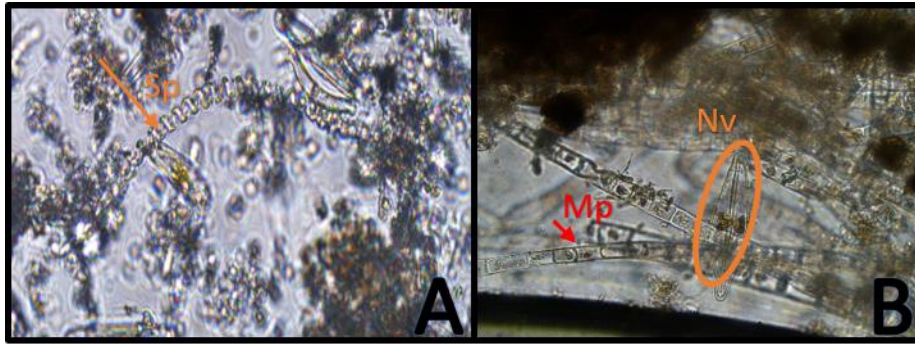


Figura. 12. Microorganismos identificados por microscopía óptica en la fosa III. A.- Flecha naranja- (Sp) *Spirulina* sp. B.- Flecha roja- (Mp) *Microspora* sp., Flecha naranja- (Nv) *Navicula* sp. Fuente Propia

Fosa IV

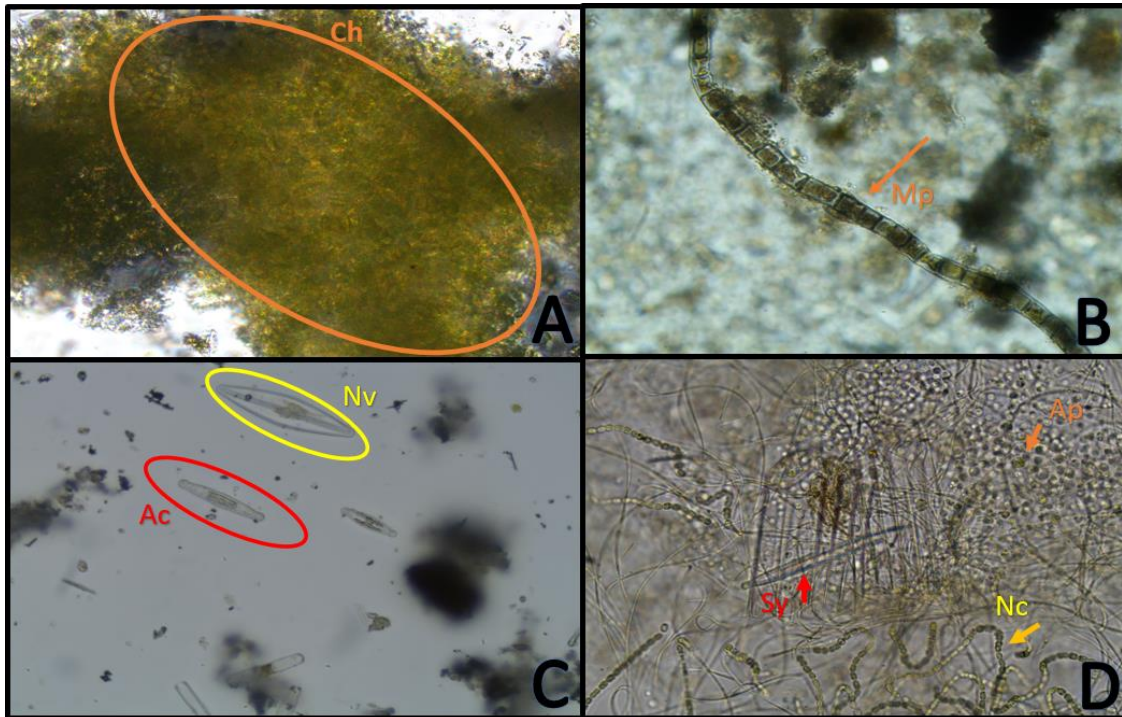


Figura. 13. Microorganismos identificados por microscopía óptica en la fosa IV. A.- Flecha naranja- (Ch) *Chlorella* sp B.- Flecha naranja- (Mp) *Microspora* sp. C.- Amarillo- (Nv) *Navicula* sp., Rojo- (Ac) *Achnanthes* sp., D.- Flecha amarilla- (Nc) *Nostoc* sp., Flecha naranja- (Ap) *Aphanocapsa*, Flecha roja- (Sy) *Synedra* sp. Fuente Propia

Fosa V

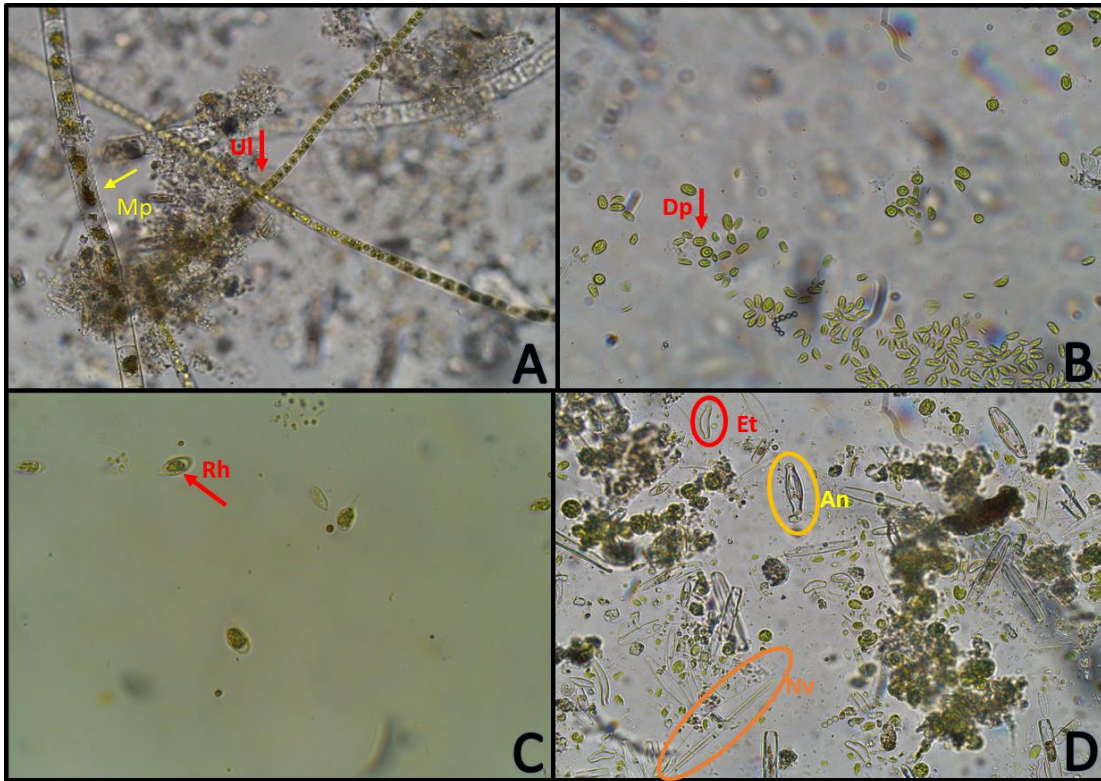


Figura. 14. Microorganismos identificados por microscopía óptica en la fosa IV. A.-Flecha amarilla- (Mp) *Microspora* sp., Flecha roja- (Ul) *Ulothrix* sp, B.- Flecha roja- (Dp) *Diploneis* sp., C.- Flecha roja- (Rh) *Rhodomonas* sp., D.- Amarillo- (Ac) *Achnanthes* sp., Rojo- (Et) *Eunotia* sp., Naranja- (Nv) *Navicula* sp. Fuente Propia.

Tabla 20. Matriz de especies identificadas por microscopía óptica

Phylum	Especie	Hábitat	Ciclo Biogeoquímico	Servicio Ecosistémico	Aplicaciones	Fosa
Chlorophyta	<i>Chlorella sp.</i> ^{a, b, c}	De vida libre, ampliamente distribuidas en agua dulce autrópicas y salada, en el suelo y hábitats subaéreos como planctónicas, edáficas o endosimbióticas con invertebrados de agua dulce y con muchas clases de protozoarios.	C, O y N	Fotosíntesis/ Fijadoras de nitrógeno	Biorremediación y para productos cosméticos y médicos y como bioindicador de ambientes eutróficos	1, 2, 4
	<i>Microspora sp.</i> ^b	Estanques de agua dulce, pantanos; y en aguas ácidas.	C y O	Fotosíntesis		1, 2, 3, 4, 5
	<i>Ulothrix sp.</i> ^{b, d}	Generalmente asociadas al sustrato	C, O, metales Zn, Mn y Ni	Fotosíntesis/Biorremediación de agua y suelo	Biorremediación/Bioindicador de ambientes con metales	5
Cyanobacteria	<i>Oscillatoria sp.</i> ^{e, f, g, h}	Comunes en los tapetes microbianos en ambientes marinos y de agua dulce con altas cargas orgánicas, pueden ser encontradas tricomas con Euglena Ehrenberg en aguas con altos niveles de nitrógeno.	N/ P	Fotosíntesis/ Fijadoras de nitrógeno y fósforo	Producten cianotoxinas, ocasionan lesiones hepáticas y efectos cancerígenos. Tolerantes a altos niveles de contaminación orgánica y bioindicador del incremento progresivo de eutrofización de ambientes acuáticos.	1
	<i>Anabaena sp.</i> ⁱ	Cuerpos de agua dulce de poca profundidad, ambientes marinos y ambientes terrestres húmedos. Toleran ciertos niveles de acidez, también habitan en ambientes termales alcalinos.	C, O y N	Fotosíntesis/ Fijadoras de nitrógeno	Indicadores de ambientes con alto contenido de nitrógeno	2
	<i>Nostoc sp.</i> ^{j, k}	Amplia distribución tanto en sistemas acuáticos como en terrestres y tolerancia a ambientes extremos de temperatura, deshidratación, limitación de nutrientes, incluyendo las regiones polares, aguas termales, páramos, zonas de desglaciación y desiertos.	C, O y N	Fotosíntesis/ Fijadoras de nitrógeno	Fertilizante biológico al aportar nitrógeno al ambiente/ recurso biológico valioso para estudios fisio ecológicos y para la producción de biomasa de interés en biotecnología.	4
	<i>Spirulina sp.</i> ^{l, m, n}	En suelo, agua dulce, marismas, aguas salobres, de mar y fuentes termales.	C, O y N	Fotosintética/Fijadora de nitrógeno/Biorremediación por contaminación de arsénico y metales pesados en el agua comida y medioambiente.	Importante económica y comercialmente como fuente de alimentación humana, como farmacéuticos, colorantes, polisacáridos y en la industria cosmética. Usada también en biorremediación	3

Tabla 20. Matriz de especies identificadas por microscopía óptica. Continuación.

Phylum	Especie	Hábitat	Ciclo Biogeoquímico	Servicio Ecosistémico	Aplicaciones	Fosas
Bacillariophyta	<i>Achnanthes</i> sp. o, p, q	Ambientes ácidos y distróficos, aguas saladas, dulces y salobres	C, O y metales	Fotosíntesis/Fijación del carbono	Bioindicador para la calidad del agua, y de ambientes con contaminación ácida o por metales.	5
	<i>Eunotia</i> sp. o, p, q	Ambientes ácidos y distróficos, en lagos y ríos sólo de agua dulce.	C, O y metales	Fotosíntesis	Bioindicador para la calidad del agua, y de ambientes con contaminación ácida o por metales. Reconstrucción paleolimnológica.	5
	<i>Navicula</i> sp. b, c	Aguas dulces y saladas de ambientes desde oligotróficos hasta eutróficos, en plancton o Benton puede estar en biofilms o sumergida en sustratos o sedimentos dentro de un tubo de mucílago que ellas secretan.	C, O y metales	Fotosíntesis	Bioindicador para la calidad del agua, y de ambientes con contaminación ácida o por metales. Reconstrucción paleolimnológica.	1, 2, 3, 4, 5
	<i>Pinnularia</i> sp. o, p, q	Abundante en aguas con baja conductividad y ligeramente ácidas.	C, O y metales	Fotosíntesis	Bioindicador para la calidad del agua, y de ambientes con contaminación ácida o por metales.	2
	<i>Achnantheidium</i> sp. o, p, q	Restringida a aguas dulces o salobres. Condiciones oligo-mesotróficas, aunque también en aguas eutróficas y ricas en materia orgánica, de vida libre	C, O y metales	Fotosíntesis	Bioindicador para la calidad del agua, y de ambientes con contaminación ácida o por metales.	2, 4
	<i>Nitzschia</i> sp. r	Alto contenido de contaminación orgánica, en agua salobre, de mar, dulce y debajo del sedimento, es un microorganismo nitrógeno heterótrofo.	N	Fijadora de nitrógeno	Algunas producen ácido domoico que causa Amnesic Shellfish Poisoning (ASP), lo cual tiene consecuencias de negativo impacto económico/Bioindicadores de enriquecimiento de nutrientes o contaminación del agua	2
Euglenozoa	<i>Euglena</i> sp. s, b	Nadador libre de amplia variedad de hábitats en agua dulce, salobre, en piscinas, charcos, lagos, ríos, arroyos, los ambientes pueden ser contaminados o enriquecidos de desechos orgánicos, también puede vivir en sedimentos orgánicos y prefiere las temperaturas altas.	C, O, N y P	Fotosíntesis/photoauxotrophs, metabolismo nitrógeno y fosforo	Indicador de calidad del agua y aguas contaminadas, tratamiento de aguas residuales	2

Tabla 20. Elaboración propia. Bibliografía: a: Ortiz-Moreno et al., 2012, b: Prasanna et al., 2011, c: Giraldo, 2012 Ayma, 2013, d: Massocato et al., 2018, e: Fuenmayor et al., 2009, f: Mackenzie et al., 2013, g: Luna & Issn, 2015, h: Lacap et al., 2005, i: Hattori, 1962, j: Cadena et al., 2013, k: Pringault et al., 2001, l: Lopez-Cortés, 1990, m: Ahsan et al., 2008, n: Huarachi-Olvera et al., 2015, o: Guamán & González, 2016, p: Bellinger & Sigee, 2010, q: Ayma, 2013, r: Bouchouicha et al., 2014, s: Rosowski,

3.8 Resultados

De acuerdo con los análisis se ha demostrado que las fosas de “Los Azufres-El Potrero Colorado” presentan características de ambiente extremo ácido, cualidad comprobada por el pH que oscila entre 5.1 y 3.4, los metales mayores y los metales traza encontrados son propios de las escorrentías que presenta el sitio por ser de origen volcánico y geotérmico con cantidades altas de Al, Fe, Mn, K, Ca, Na, y la presencia de otros elementos como Ti.

Sin embargo, aunque la composición que muestran los análisis es propia del sitio, es destacable que las cantidades detectadas de algunos metales exceden los criterios ecológicos de calidad de agua para la protección de la vida (CECA) tabla 21, (Chirinos, 1989), razón por la cual se explica que pocos organismos sean aptos para este ambiente, entre ellos se encuentran los microorganismos que integran tapetes microbianos en estas fosas.

Tabla 21. Criterios de calidad del agua para la protección de la vida

Parámetros	Límite máximo permisible mg/l		
	Agua dulce	Agua marina	Agua potable
Al	0,5	0,5	0,5
Fe	1,0	0,05	0,3
Oxígeno Disuelto (OD)	No menor a 6	no menor a 5 mg/l	no menor a 5 mg/l
pH	5-9	5-9	5-9
PO ₄	0,1	0,002	0,1
P	0,0001	0,0001	-
Mn	0.1	-	0.1
Na ⁽¹⁾	-	-	200
Sulfuros como H ₂ S	0.002	0,002	0.2
NO ₃	-	.04	5.0
NO ₂	-	0.002	0.05
NH ₄	0.06	0.01	-
N _{Tt} ⁽²⁾	25	-	60
P _{Tt} ⁽²⁾	10	-	30
SO ₄	0.005	-	500

Tabla 21. Adaptado de Criterios ecológicos de la calidad del agua (D.O.F. 13 de diciembre de 1989), (1) Diario Oficial de la Federación, 1994, (2) Diario Oficial de la Federación, 1996.

Así, algunos parámetros destacables en las fosas para la caracterización del sitio, se describen por fosa:

En la fosa 1 se midió un pH de 4.8, un promedio de temperatura entre 17 y 22 °C, el oxígeno disuelto fuera del límite con 5.8 mg/l (tabla 21), 49 mg/l de sulfatos (0.005mg/l CECA), la cantidad de nitrógeno como nitrógeno amoniacal oscila entre los 0.31 mg/l y 0.52 mg/l arriba de límite para la vida, se detectaron fuera de CECA metales traza como Fe 3.61mg/l, Al 0.34 mg/l y Mn 0.257 mg/l (CECA establece 1mg/l, 0.05mg/l, y 0.1mg/l respectivamente).

En la fosa 2 se midió un pH de 3.4, un promedio de temperatura entre 17 y 22 °C, el oxígeno disuelto arriba del límite con 6.22 mg/l (tabla 21), 86 mg/l de sulfatos (0.005mg/l CECA), alta cantidad de nitrógeno como nitritos 52 mg/l y metales traza fuera de CECA como Al 12.387mg/l, Fe 3.761mg/l y Mn 1.341 mg/l (CECA establece 0.05mg/l, 1mg/l y 0.1mg/l respectivamente).

En la fosa 3 se midió un pH de 3.9, un promedio de temperatura entre 17 y 22 °C, el oxígeno disuelto arriba del límite con 6.09 mg/l (tabla 21), 100 mg/l de sulfatos (0.005mg/l CECA), alta cantidad de nitrógeno como amonio 0.57 mg/l y metales traza fuera de CECA como Al 11.294 mg/l, Fe 10.152 mg/l y Mn 1.502 mg/l (CECA establece 0.05mg/l, 1mg/l y 0.1mg/l respectivamente).

En la fosa 4 se midió un pH de 4.5, un promedio de temperatura entre 17 y 22 °C, el oxígeno disuelto fuera del límite con 5.86 mg/l (tabla 21), 120 mg/l de sulfatos (0.005mg/l CECA), alta cantidad de nitrógeno como amonio 0.63 mg/l y metales traza fuera de CECA como Al 10.152 mg/l, Fe 3.127 mg/l y Mn 1.414 mg/l (CECA establece 0.05mg/l, 1mg/l y 0.1mg/l respectivamente).

En la fosa 5 se midió un pH de 5.1, un promedio de temperatura entre 17 y 22 °C, el oxígeno disuelto fuera del límite con 5.4 mg/l (tabla 21), 110 mg/l de sulfatos (0.005mg/l CECA), alta cantidad de nitrógeno como nitritos en un rango de 17-62 mg/l y metales traza fuera de CECA como Al 5.564 mg/l, Fe 3.082 mg/l y Mn 1.459 mg/l (CECA establece 0.05mg/l, 1mg/l y 0.1mg/l respectivamente).

Los análisis permiten establecer el perfil de vida de cada fosa, la alta cantidad de concentración de los metales señalados, los parámetros no conservativos en los que se incluyen sulfatos, nitritos y nitratos, y el pH ácido les confieren la calidad de ambiente extremo y la hace hábitat susceptible de tapetes microbianos, por otro lado, por ejemplo no es extraño encontrar

phylum como *Cyanobacterias*, *Bacillarophytas* y *Chlorophytas* en la fosa 1, 3 y 4 (tabla 19), o, *Bacillarophytas* y *Chlorophytas* en la fosa 5, y *Bacillarophytas*, *Chlorophytas* y *Euglenozoas* en la fosa 2, esto debido a las características geoquímicas de cada fosa que les confieren hábitat a estos microorganismos, también se espera la presencia de bacterias del azufre, reductoras de Fe y arqueas como metanógenos, por las características descritas y propias del sitio en general. Cabe destacar que las diferencias físicas, químicas y biológicas diferentes que presenta cada fosa les confiere la cualidad de sitio de importancia de conservación.

Resumiendo, el pH ácido es característico de un ambiente extremo, los bajos parámetros de oxígeno disuelto detectados y la falta de fosfatos en el medio sugiere alta actividad microbiana por consumo metabólico, aunado a que, la microscopía muestra microorganismos fotosintéticos como microalgas y cianobacterias las cuales requieren fósforo para su metabolismo, lo que confirma que había, pero el metabolismo de estos microorganismos puede ser la causa por la que no se detectó este nutriente.

Por otro lado, las cantidades elevadas de metales mayores como Ca y Na, de metales traza como Al, Fe y Mn, los elevados valores de nitritos y sulfatos, son propias de un sitio de origen volcánico-geotérmico, pero también son características de un ambiente extremo, así mismo, pocos organismos son aptos para establecerse bajo estas condiciones extremas, por lo tanto, es de esperarse que los microorganismos que se desarrollan en este ambiente se encuentren asociados en tapetes microbianos, como *Chlorella sp.*, *Microspora sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Navícula sp.*, *Euglena sp.*, los cuales fijan nitrógeno, son fotosintéticos, de hábitat ácido y algunos especialmente tolerantes a niveles altos de metales, así, el conjunto de parámetros obtenidos le confieren la definición al sitio “Los Azufres-El Potrero Colorado” de ambiente extremo para la vida.

Finalmente, es destacable que este sitio por sus características extremas alberga formas de vida particulares como los TMAE encontrados en el sitio, pero sustentados en las determinaciones de parámetros conservativos y no conservativos, los cuales indican características extremas para la vida como pH ácido, altas cantidades de nutrientes y de metales como Al, Fe y Mn, que propician el hábitat de microorganismos fotosintéticos como *Chlorophyta* y *Cyanobacterias*, bioindicadores de eutrofismo (altas cantidades de nutrientes) como *Bacillariophytas*, y *Euglenozoa*, cabe destacar

que los microorganismos pertenecientes a estos *phylos* que conforman los TMAE no pueden vivir independientes en este tipo de ambiente.

Las características descritas del sitio se pueden ampliar con investigaciones ecológicas de interacción entre los microorganismos que conforman los tapetes microbianos encontrados, así como de servicios ecosistémicos que prestan como fotosíntesis, ciclos biogeoquímicos, o ampliar las investigaciones sobre la importancia que algunos de estos microorganismos guardan como bioindicadores de contaminación (*Bacillariophytas* y *Euglenozoa*) (tabla 20).

4. Capítulo: Perspectiva de actores clave sobre tapetes microbianos y su conservación.

4.1 Identificación de actores clave (Matriz de identificación)

La matriz de actores clave está construida a partir de siete líneas de identificación, las primeras cuatro construidas por un mapeo basado en unidades básicas (tipo de ambiente), identificando subunidades (tipo de ambiente extremo), ubicación geográfica del ambiente extremo y el vínculo con el actor clave, las siguientes tres líneas refieren a atributos de los mismos actores, como se muestra en la tabla 22.

4.2 Diseño de entrevista semi estructurada

La entrevista se estructuró en tres apartados principales, el primero relativo a la identificación de la problemática de ecosistemas de ambientes extremos, el siguiente sobre los elementos de su preservación, y uno final sobre los componentes de una potencial política pública o mecanismo de conservación.

El diseñado fue realizado a partir de las cuatro esferas de acción de los actores clave, investigadores especialistas en tapetes microbianos de ambientes extremos, investigadores especialistas en conservación y actores gubernamentales y no gubernamentales, aunque para efectos de la construcción de la evidencia (análisis de percepción) los actores gubernamentales y no gubernamentales se congregaron en un mismo grupo.

Tabla 22. Identificación de actores clave

Unidad	Subunidad	Lugares geográficos	Vinculación	Actor	Cargo	Adscripción
Ambientes Extremos	Termófilos Geotérmicos	Baño de San Ignacio, Linares, NL	Co autor artículo TM Baño de San Ignacio	Dr. César Cantú Ayala	Profesor Investigador	UANL
Ambientes Extremos	Termófilos Geotérmicos	Baño de San Ignacio, Linares, NL	Co autor artículo TM Baño de San Ignacio	Dra. Elizabeth Chacón Baca	Profesor Investigador	UANL
Ambientes Extremos	Termófilos Geotérmicos	Baño de San Ignacio, Linares, NL	Coordinador de Salud y Ecología	Ing. Cira Durán	Coordinador de Salud y Ecología	Gobierno Municipal de Linares, NL
Ambientes Extremos	Acidófilos Geotérmicos	Cruz Colorada, Chignahuapan, Puebla	Directora proyecto GEMEX	Dra. Zayre González Acevedo	Profesor Investigador	CICESE-GEMEX
Ambientes Extremos	Acidófilos Geotérmicos	Cruz Colorada, Chignahuapan, Puebla	Técnico investigador GEMEX, especializado en microbiología ambiental	M en C. Estrella Nuñez Zarco	Profesor Investigador	GEMEX
Ambientes Extremos	Acidófilos Geotérmicos	Cruz Colorada, Chignahuapan, Puebla	Director Ecología en Gob. Chignahuapan	Lic. Eustaquio Vega López	Director	Gob. Municipal Chignahuapan
Ambientes Extremos	Escasos Nutrientes	Cuatro Ciénegas, Coahuila	Investigaciones y artículos de TM en Cuatro Ciénegas	Dra. Valeria Souza Saldívar	Profesor Investigador	UNAM
Ambientes Extremos	Hipersalinos	Guerrero Negro, BCS	Investigaciones y artículos de TM en Guerrero Negro	Dr. Jacob Valdivieso	Profesor Investigador	IIO
Ambientes Extremos	Hipersalinos	Guerrero Negro, BCS	Investigaciones y artículos de TM en Guerrero Negro	Dr. Miguel Ángel Huerta	Profesor Investigador	IIO
Ambientes Extremos	Hipersalinos Acidófilos	Guerrero Negro, BCS	Investigador de TM, encargado del acervo de TM en CIBNOR, profesor de ecología microbiana	Dr. Alejandro López Cortés	Profesor Investigador	CIBNOR
Ambientes Extremos	Hipersalinos	Guerrero Negro, BCS	Vinculación con ecología y conservación	M en C. Andrés De los Ríos	Subsecretario	Subsecretario Gob. B.C.S.
Ambientes Extremos	Hipersalinos	Guerrero Negro, BCS	Entrevista sobre conservación de ambientes extremos	Dr. Roberto Vázquez Meza	Profesor Investigador	IA-UNAM-E

Tabla 22. Identificación de actores clave. Continuación.

Unidad	Subunidad	Lugares geográficos	Vinculación	Actor	Cargo	Adscripción
Ambientes Extremos	Hipersalinos	Guerrero Negro, BCS	Investigación y artículos de TM, coautor con el Dr. López-Cortez	Dra. Yolanda Maya	Profesor Investigador	CIBNOR
Ambientes Extremos	Hipersalinos	Laguna Rosada de Uaymitún, Yucatán	Tesis "Análisis de comunidades microbianas asociados a tapetes hipersalinos de la laguna Rosada de Uaymitún, Yucatán, México"	Dr. Salvador Elías Castell González	Egresado	Centro de Investigación científica de Yucatán
Ambientes Extremos	Alcalófilo	Puebla	Co autor de capítulo: Microbialitas subfósiles del lago cráter de Alchichica	M en C. Felipe Torres	M en C	UANL
General	Hipersalinos	General	OSC	M en C. Jorge Andrade Sánchez	Coordinador de manejo adaptativo de hábitats	Terrapeninsular
General	General	General	OSC	M en C. Daniela López	Programa de conservación de tierras privadas y sociales	PRONATURA noroeste
Ambientes Extremos	Acidófilos	BCS	Especialista en conservación y microbiología ambiental	Dra. Luz González de Bashan	Profesor Investigador	CIBNOR
General	General	General	Políticas públicas y gubernamentales	Dr. José de Jesús Sosa López	Director General de Auditoría a la Gestión y el Desempeño Gubernamental	ASF
Ambientes Extremos	Hipersalinos	Guerrero Negro, BCS	Director general	Dr. Daniel Lluch	Director del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste	CIBNOR
Ambientes Extremos	Hipersalinos	Guerrero Negro, BCS	Director de Conservación	Dr. Alfredo Ortega Rubio	Profesor Investigador	CIBNOR

Tabla 22. No todos los actores identificados fueron entrevistados

Entrevista semi estructurada:

Proyecto “Problemática sobre Ambientes Extremos en México: tapetes microbianos”

Diana L. Brito Jaime

Entrevista a Actores Clave

Estimado(a) entrevistado(a):

Agradezco su disposición para ser entrevistado(a) en torno a su conocimiento acerca de la problemática ambiental, opiniones y visiones sobre los ambientes extremos y sus potencialidades. La entrevista está estructurada en tres apartados principales, uno relativo a la identificación de la problemática de ecosistemas de ambientes extremos, en este caso particular, sobre tapetes microbianos, otro sobre los elementos de su preservación, y uno final sobre los componentes de una potencial política de conservación.

Muchas gracias.

I. Identificación de la problemática

1. ¿Qué son para usted los Tapetes Microbianos? (Hacer notar que son ecosistemas microbianos o micro ecosistemas)
2. ¿Qué podría decirme sobre los ambientes extremos?
3. ¿Qué consideraría que es importante sobre tapetes y ambientes extremos?
4. ¿Qué le motivó a conocer o trabajar con este tema o que le motivaría a hacerlo?
5. ¿Considera importante crear alguna política de conservación en torno a los Tapetes Microbianos de Ambientes Extremos (TMAE) y por qué?
6. (Actores gubernamentales y no gubernamentales) ¿Cuáles temas considera sobre TMAE y su conservación que podrían ser difíciles de tratar para acercarlos a la agenda política?
7. Desde su perspectiva, ¿Cuáles son los principales problemas o efectos (ambientales o sociales) que representa la falta de conservación de TMAE?
8. ¿Cuáles cree que serían los principales beneficios de conservar estos ecosistemas extremos?
9. ¿A qué cree que se deba la falta de acciones de conservación directa en torno a los TMAE?

II. Alcances de la conservación

10. (Actores investigadores) ¿Cómo considera que sus investigaciones podrían servir de sustento científico para alguna política de conservación?
11. ¿Qué tipo de información o recurso consideraría que debiera ser incorporados en la creación de alguna política pública de conservación y cuales características de los TMAE serían las más importantes?
12. ¿Qué tipo de actores considera que estarían interesados en este tema y quiénes considera deberían ser los tomadores de decisiones para la creación de políticas de conservación?
13. ¿Qué cree que se debería hacer para que los tomadores de decisiones tomen el tema en cuenta?

III. Elementos para una política de conservación

14. (actores no gubernamentales) ¿Qué tanto influye la política pública o la falta de políticas públicas, en sus acciones o en la falta de acciones de su institución para que los tomadores de decisiones le den atención al tema?
15. Si pudiera proponer cinco acciones para la conservación de TMAE ¿Cuáles serían? (en orden de importancia).
16. De las siguientes acciones ¿qué orden de importancia les daría?
 - Determinar y delimitar una zona núcleo y de amortiguamiento
 - Evaluar el impacto que pueda tener cualquier actividad en el área
 - Diseñar un sistema de información de servicios que aporte el ecosistema extremo
 - Diseñar un sistema de monitoreo del área
 - Diseñar un modelo de apoyo económico
 - Determinar planes de manejo para cada ecosistema extremo.

4.3 Aplicación de la entrevista semiestructurada a los actores clave identificados

Los actores clave identificados fueron 20, de estos se entrevistaron sólo a 17 debido a la disponibilidad y las complicaciones de contactarlos.

Las entrevistas se realizaron personalmente y previa cita en los lugares siguientes: CIBNOR, IIO, UANL, CICESE, UABC, oficinas Pronatura Noroeste en Ensenada, B.C., oficinas de Terrapeninsular en Ensenada, B.C., Gobierno Municipal de Chignahuapan, Puebla, Gobierno Municipal de Linares, Nuevo León, Gobierno Estatal de BCS en La Paz, BCS.

Las entrevistas tuvieron una duración promedio de 25 minutos.

4.4 Análisis y resultados de la entrevista semiestructurada

El análisis de datos aportados por los actores clave, se realizó en el programa Atlas.ti, y la interpretación se dividió en los tres apartados principales diseñados en la entrevista, identificación de la problemática, alcances de la conservación y elementos para una política pública, a su vez los documentos se dividieron en tres grupos a partir de las esferas de acción de los actores clave, organismos gubernamentales y no gubernamentales (OSCs), investigadores expertos en tapetes microbianos e investigadores expertos en conservación.

Para este análisis se identificaron 98 códigos asociados a los reactivos de la entrevista, que a su vez se agrupan en 11 grupos de códigos, la interpretación de los apartados principales se realizó a partir de las citas identificadas.

4.4.1 Identificación de la problemática

4.4.1.1 Tapetes microbianos, ambientes extremos y su relación

En los grupos de actores entrevistados las percepciones sobre ambientes extremos, tapetes microbianos y su relación entre ellos han sido complementarias y se fueron enriqueciendo de un grupo a otro.

Así, estos grupos los han descrito como comunidades de microorganismos que interactúan en el suelo y viven en ambientes extremos más allá de la habitabilidad humana (organismos gubernamentales y no gubernamentales), los investigadores expertos en tapetes microbianos

agregaron que son “consorcios, colonias de microorganismos” conformados estratigráficamente y con jerarquización bioquímica, de aspecto gelatinoso por la producción de exopolisacáridos (EPS).

Los investigadores expertos en conservación han complementado la descripción desde su punto particular sin dejar la generalidad del término, y los describen como comunidades biológicas, microbianas en microambientes equilibrados donde coexisten con diferentes grupos de microorganismos como las bacterias, además producen recursos para el resto del grupo y pueden ser acuáticos, presentarse como capas en el suelo, como estructuras bentónicas o incluso sobre las rocas. Además, se cree que al litificar forman estromatolitos, los cuales son llamados los ancestros de los tapetes microbianos y descritos como laboratorios vivientes.

En lo que refiere a los ambientes extremos, hubo cuestionamientos con respecto a lo que son, es decir, con respecto a qué parámetros se es extremo, debido a que lo que para unos es normal para otros puede ser extremo.

De esta premisa, se parte para afirmar que el ambiente es extremo respecto de los límites de la tolerancia de la mayor parte de los organismos, que estos ambientes salen de las condiciones más comunes, normales o que se consideran ideales y donde pocas especies pueden existir en función de la tolerancia al medio, por sus variables climáticas y la escasa disponibilidad de recursos.

Además, se afirma que por ser concomitantes los TM con los ambientes extremos, pueden ser una respuesta de la naturaleza a problemas que el ambiente expone para adaptarse a condiciones extremas.

Todos los actores entrevistados, han estado de acuerdo de una forma u otra en que la relación entre TM y AE se da justo en su coexistencia e interacciones, es decir, que en los ambientes extremos los formadores de cadenas tróficas son los TM, ya que por sus características de resiliencia y adaptación en comparación con otros organismos se desarrollan sin competencia.

La tabla 23 muestra los tipos de ambientes mencionados por grupo de actores, los sombreados indican que son los ambientes reconocidos por todos los grupos de actores.

Tabla 23. Identificación de tipos de ambientes extremos

Ambiente Extremo*	Investigadores Conservación	Investigadores Tapetes Microbianos	Organismos Gubernamentales y no gubernamentales
Humedad extrema	1		
Termófilos	4	6	2
Psicrófilos	3	2	2
Metalófilos	1	3	
Hipersalinos	1	2	1
Alcalófilos	1		
Acidófilos	2	2	
Carencia de oxígeno		1	
Presión extrema (piezófilos)			1

Tabla 23.-*No todos los actores entrevistados mencionaron tipos de ambientes extremos

4.4.1.2 TMAE candidatos importantes para la creación de un elemento de conservación

Se analizó este apartado a través de dos preguntas: 1) ¿los actores entrevistados consideran importante crear alguna política de conservación en torno a los TMAE?, la respuesta fue “sí”, y el por qué radica en la importancia que a lo largo de las entrevistas fueron explicando los actores, dejando claro que la importancia que se pueda mostrar será la base para sustentar cualquier elemento de conservación.

Por lo anterior, se ha identificado la importancia de los TMAE en tres grupos principales, importancia científica, industrial y económica, dentro de la importancia científica tenemos cuatro códigos, importancia ecológica, de cambio climático, astrobiológica y biomolecular.

A lo largo de las entrevistas se ha presentado como hecho importante el que los tapetes microbianos son la base de los ecosistemas de ambientes extremos, son formadores de cadenas tróficas y primeros en la colonización de ambientes como las cianobacterias y microalgas.

En general, ha llamado la atención que organismos tan simples puedan adaptarse y desarrollarse en condiciones tan particulares que salen de las condiciones comunes, normales, estándares para la vida, sus particularidades son clave para su adaptación y resiliencia, y les permite desarrollarse en ambientes extremos prácticamente sin competencia alguna, además las

interacciones y simbiosis que los microorganismos tienen dentro del TM y con su entorno revisten gran importancia ecológica.

Otro punto relevante, es que estos ecosistemas proveen de servicios ecosistémicos de soporte por su capacidad de metabolizar compuestos químicos, llevando a cabo los ciclos biogeoquímicos, además de esto, es digno de mención la desproporción que hay entre el tamaño reducido de la biomasa de los tapetes microbianos y el potencial de servicios ecosistémicos que proveen y pueden proveer.

Así mismo, se identificó que es de importancia la información que guardan por acumulación en el tiempo, siendo una aproximación directa para inferir variables del pasado y parámetros ambientales como información bioclimática, histórica, incluso física que se pueden encontrar en el ADN, así fungir como bioindicadores.

Se ha dicho a lo largo de las entrevistas que parte de su importancia reside en entender las situaciones que se presentan cuando las variables climáticas, ambientales y los recursos comienzan a escasear debido a lo extremo de los ambientes en donde se desarrollan, esto muestra su resiliencia y permite entender qué se puede hacer en estos casos de cambio extremo como en el problema generalizado del cambio climático y para establecer puentes en las vías de adaptación, mitigación y restauración del medio ambiente.

Entre los entrevistados investigadores, el entrevistado ATCE 13, explica sobre los TMAE que pueden los microorganismos ser respuestas de la naturaleza a problemas que el ambiente expone para adaptarse a esas condiciones, esto por su capacidad adaptativa y de resiliencia para desarrollarse en ambientes extremos.

Además, la importancia de los TM reside en que algunos de ellos se desarrollan en ambientes extremos, como los geotérmicos, de presión, pH, temperatura, minerales tóxicos, entre otros. Así, lo inhóspito confiere a estos ambientes y a sus ecosistemas (TM) similitudes con los ambientes primordiales dando la posibilidad de aprender sobre cómo se desarrolló la vida en la tierra en sus primeras etapas y pueden ser la clave en la exploración espacial y la búsqueda de vida en otros planetas. Dicho de otro modo, los tapetes microbianos de ambientes extremos pueden ser análogos de vida en otros planetas.

Hasta aquí se han identificado la importancia ecológica, de cambio climático, astrobiológica y biomolecular. En el campo del aprovechamiento de recursos biotecnológicos, se tienen avances en investigaciones biomoleculares enzimáticos y proteicos mediante metagenómica y metatranscriptómica; ha tenido avances significativos en medicina, como marcadores identificadores del VIH; en biotecnología en la obtención de bioplásticos, generación de energías alternas como el biogás, por la producción de metano; en la industria farmacéutica, cosmetológica, de alimentos, médica y la importancia económica obtenida a partir de los ingresos generados por las investigaciones y aplicaciones biotecnológicas.

4.4.1.3 TMAE en la agenda pública

A pesar de los servicios que presentan estos ecosistemas, acercarlos a la agenda de políticas públicas presenta un alto nivel de complejidad, sobre todo porque el tema de los tapetes microbianos es complejo en sí mismo, no porque no sean fenómenos conocidos, si no por que escapan a la comprensión de los procesos sociales comunes, según explicó el entrevistado ASE 2.

Parte de la problemática es el estereotipo sobre los microorganismos, el cual invariablemente los señala como patógenos, su falta de visibilidad y el ser poco carismáticos los les confiere un desconocimiento total por parte de la sociedad.

La problemática anteriormente identificada da algunas de las razones por las que los TMAE no se han tratado de conservar de manera directa, y la situación tiene varias implicaciones, tales como algunas áreas protegidas sin efectos (ejemplo: el Baño de San Ignacio), de valoración, y/o sensibilización sobre el tema; también hay otros espacios donde existen tapetes microbianos de ambientes extremos que están siendo amenazados por desarrollos no planeados ecológicamente y, de acuerdo a los entrevistados, lo más probable es que sean devastados.

4.4.1.4 Perspectiva sobre la falta de conservación

La falta de conservación es lamentable por la pérdida de conocimiento asociado a TMAE, del conocimiento que debiera ser asequible, de la generación de este conocimiento, del conocimiento aplicado y de su replicabilidad, es decir, representaría una oportunidad perdida no solo como un activo natural, si no como pérdida de una fuente de conocimiento, primero conceptual y después aplicado.

No poder conocer cómo funcionan los ambientes extremos, sus ecosistemas, en este caso los TM, es aún más lamentable, porque debido a su resiliencia son los primeros en los que se puede estudiar alguna respuesta en el escenario actual de cambio climático, según menciona el entrevistado ASE 2.

La existencia de elementos para la conservación puede prevenir que se realicen actividades antropogénicas. En este sentido, al no existir instrumentos o mecanismos de conservación, la gente no valora y usa los recursos porque los considera como parte normal de los componentes de la naturaleza y que pueden devastar hábitats o desplazarlos, este sería el caso de los TMAE, al perderlos no solo se pierde diversidad, se pierde variedad, se pierde ecosistema, su destrucción no solo afecta a los TM, también afecta a especies en interacciones con ellos. Además, cualquier pérdida de biodiversidad del planeta representa una merma en el capital que queda para las futuras generaciones.

El análisis muestra que, en realidad, ni las organizaciones encargadas de conservar áreas protegidas conocen bien el tema, aun cuando dentro de sus áreas de protección se encuentran estos ecosistemas, lo que implica deterioro y pérdida del recurso.

Un ejemplo es la Laguna Figueroa en donde existen tapetes microbianos hipersalinos, la falta de conocimiento sobre el tema impide que incluso dentro del área protegida donde se encuentran se pueda tomar alguna medida en particular para estos ecosistemas microbianos, explica el entrevistado ASE 4

Otro punto identificado es la grave desconexión entre lo que hay en la academia y quienes toman las decisiones, el lenguaje técnico de las investigaciones, que no es asequible en la mayoría de los casos a los tomadores de decisiones, impide la comprensión y promueve el desinterés en el tema.

A pesar del desconocimiento generalizado, se tiene claridad del problema y sus alcances, como cita el entrevistado ATME 8, “No conozco muchos lugares donde se hayan eliminado tapetes microbianos, pero lo que se sabe de estos lugares, es que es una pérdida tanto económica como de recurso natural, igual de investigación, son cosas que nunca vamos a conocer, nunca vamos a poder

explicarlo si no los conservamos”, señalando además que la falta de conservación tiene implicaciones incluso económicas.

El entrevistado ASE 2 explica su opinión sobre la conservación dejando a la vista un estereotipo que podría obstaculizar la creación de algún elemento para la conservación de estos ecosistemas, “...incidir muy claramente en modificar esta idea de que la conservación es solamente proteger y dejar intacto un ambiente, yo creo que ya hay suficientes elementos para pensar que la conservación es explotación racional e interacción con fines de conservación, pero no de aislamiento”.

Los actores han externado su perspectiva sobre las pérdidas no sólo por las implicaciones ecológicas, si no científicas, incluso económicas que involucra la falta de conservación.

4.4.1.5 Beneficios de la conservación de TMAE y carencia de acciones para la consolidarla

La conservación promueve la protección de la biodiversidad y de todos sus componentes; en el caso específico de los TMAE, propiciaría no sólo la protección de su biodiversidad como ecosistemas, también el uso racional, ya sea científico o industrial, y aseguraría la provisión de los servicios ecosistémicos que prestan.

Se pueden identificar como beneficios las investigaciones sobre la capacidad que tienen los TM para metabolizar compuestos químicos, la información que pueden dar como acervos de firmas microbianas, las aplicaciones industriales, también serán benéficas las respuestas que pueden dar a problemas ambientales especiales (como el cambio climático), el identificar cómo pudo haber sido la vida inicialmente o cómo podría ser la vida fuera del planeta en astrobiología, así se puede decir que los beneficios están directamente relacionados a la importancia que presentan estos TMAE.

Finalmente, se ha identificado que la falta de conservación directa en torno a los TMAE se debe principalmente al desconocimiento general tanto de los tapetes microbianos, de los ambientes extremos, como de la importancia de ambos y su relación, el hecho de que no se identifiquen a simple vista. No ser carismáticos, los relega de otros ecosistemas provocando la falta de difusión de las investigaciones en este campo, impidiendo el conocimiento y la sensibilización de actores involucrados en este proceso.

4.4.2 Alcance de la conservación

4.4.2.1 Investigaciones como sustento de elementos para la conservación de TMAE

Los actores científicos entrevistados, son investigadores especializados en tapetes microbianos y conservación, sus investigaciones han contribuido al incremento del conocimiento, de la importancia y en gran medida directamente en la conservación de las ANP donde se encuentran los TMAE.

El conocimiento sobre papel de estos ecosistemas ha sido proporcionado por sus investigaciones que ayudan a explicar procesos como los ciclos biogeoquímicos, la función que desempeñan los microorganismos en los elementos implicados en estos ciclos y como estos pueden impactar en el vínculo ciencia-sociedad, aportando información para explicar su importancia y para su difusión.

Así mismo, el papel de las investigaciones es la contribución de información relevante para identificar oportunidades como desarrollos científicos mediante métodos que ayudan al progreso y descubrimiento de propiedades con aplicaciones industriales, médicas, ecológicas, incluso para el equilibrio ambiental.

Existen investigaciones sobre TMAE que contribuyen a mitigar la contaminación, tal es el caso de la biorremediación y a la mitigación del cambio climático con los avances en energías alternas como la producción de biogás a partir del metano y el biodiesel a partir de microalgas.

Se han escrito documentos en los cuales se plantean las razones del porque se deben conservar estos ecosistemas, incidiendo en el hecho de que son parte del patrimonio de la humanidad y se tiene que coexistir con ellos, respetarlos y aprovecharlos sin tratar de eliminarlos.

Así, otras razones para sustentar la conservación de estos TM, a partir de investigaciones, son las citadas por el entrevistado ATME 10, *“las investigaciones nos permiten responder algunas preguntas filosóficas generales como el origen de la vida en el sistema solar, el origen de la vida en la tierra, cual es nuestro potencial futuro como humanidad en este planeta, porque somos parte de un todo, o sea los microorganismos no son aislados de nuestra realidad, de hecho, son la base de las cadenas tróficas, nuestra alimentación y nuestra obtención de energía y nuestra salud depende de estos microorganismos”*, es relevante mencionar que el entrevistado ATME 10 fue

discípulo de la Dra. Linn Margulis y sus investigaciones han contribuido en la conservación de áreas donde se encuentran TM y ha sido, junto con ella, pionero del término “*Tapetes Microbianos*”.

Otro ejemplo de investigaciones como sustento es el caso del Baño de San Ignacio, donde a partir de investigaciones científicas, se pretendió mostrar el valor de los TM ayudando a la protección del sitio.

Otras investigaciones, fundamentan nuevos decretos de ANP o contribuyen al manejo de las que ya están protegidas, mostrando las bondades y ventajas que se tienen al desarrollar programas de conservación de ecosistemas.

Incluso las instituciones de investigación contribuyen al sustento de la conservación, tal es el caso de CIBNOR en BCS, en donde sus investigadores han realizado los planes de manejo y los estudios técnicos que sustentan las propuestas de decreto de las reservas de la biósfera, como “El Vizcaino” ANP donde se encuentra Guerrero Negro, y es ahí donde existe una proliferación de TM hipersalinos.

4.4.2.2 Características importantes de los TMAE para la creación de políticas de conservación.

Las particularidades sobre TM descritas en las investigaciones pueden ser consideradas de importancia para la creación de alguna política de conservación, sin embargo, existen algunos elementos principales para tal fin.

La importancia que tiene lo que se quiere conservar es la base para promover su conservación, así los actores coincidieron en que son la propia descripción del TMAE como un recurso natural en sí mismo y su capacidad de supervivencia, adaptación y resiliencia en ambientes extremos, los elementos principales en importancia para incorporar a un elemento de conservación o en la información para su promoción.

Otros elementos mencionados son la morfología, distribución y diversidad de especies que conforman los TMAE, su potencial genético y las aplicaciones puntuales. Como ejemplos están la generación de energías alternas por la producción de metano a partir de moléculas orgánicas y la obtención de bioplásticos a partir de bacterias que se desarrollan en estos TMAE, estos contribuyen

a problemas ambientales como la contaminación energética y la generación de residuos plásticos que ocupan un espacio y alteran el paisaje, respectivamente.

Además de su importancia ecológica debida a su hábitat, se deberán incorporar los beneficios que aportan los TMAE a la salud humana y al sector económico, así como incluir investigaciones sobre costos ambientales, cuánto cuestan los servicios ambientales, cuanto es el costo de no tenerlos, cuánto cuesta si lo destruyes, es decir, ligar la conservación a los beneficios o costos directos hacia la sociedad.

Finalmente, algunos actores perciben la necesidad de un instrumento normativo que debiera incluir los puntos clave y que declare elementos esencialísimos y estratégicos a los TMAE, así protegerlos y dar recomendaciones de manejo para los mismos apoyando la creación de alguna política de conservación para los TMAE, otros apoyan la moción de que el plan de manejo de su hábitat puede ser la opción principal de conservación de estos TMAE, como lo explicó el entrevistado ASE 3.

4.4.2.3 Actores implicados en la conservación de los TMAE

Es fundamental identificar de los elementos sobre los que se desarrolla una propuesta de política de conservación, uno de estos elementos son los actores sobre quienes recae la responsabilidad de la conservación, en el caso particular de los TMAE, los entrevistados dieron su percepción sobre quienes deben ser los actores implicados en este proceso (figura 12).

A los actores de la figura 12 podemos agruparlos en la naturaleza, la comunidad, los activistas, gobierno ejecutivo, legislativo y los actores internacionales.

La naturaleza es el primer actor implicado, ya que todas las acciones repercuten en ella, aunque sea un actor pasivo.

La comunidad incluye a las amas de casa, los ejidatarios, dueños de la tierra, los lugareños, la sociedad en general, la gente, incluidos niños; además, la comunidad científica, los académicos, investigadores, en este caso particular para los TMAE se han citado biólogos, paleontólogos, geólogos, y se han citado a las instituciones de investigación sobre biología de la conservación.

Los actores entrevistados coincidieron en que la comunidad en general es un actor principal, ya que es en ella donde se puede realizar la apropiación del tema, y si la comunidad lo considera como un recurso natural importante, es decir, que es suyo y que hay que aquilatar, estará sensibilizada para protegerlo.

Dentro de la comunidad académica es consensado que el papel de los investigadores es fundamental, en ellos recae el compromiso de la producción del conocimiento, es decir de la investigación, de su información y divulgación apropiada que coadyuve en la sensibilización sobre los temas de TMAE.

Los turistas pueden ser locales o internacionales, han sido mencionados como actor clave implicado, ya que estos en ocasiones son los usuarios de los recursos naturales a conservar.

Los activistas percibidos como actores clave puesto que ellos son los encargados de llevar a la agenda los temas, son los especialistas en vender la información, en mostrarla relevante, además, pueden ser el interlocutor o intermediario entre los intereses de la sociedad no organizada con el tomador de decisiones, aquí podemos agrupar ecologistas, ambientalistas, conservacionistas que por supuesto pueden estar incluidos en OSC o alguna organización o grupo internacional dedicado a la conservación.

El gobierno ejecutivo, comenzando con gobiernos locales, desde las autoridades municipales, estatales y federales, a nivel de gobierno tiene que estar interesados en el tema, pues ellos deberán encargarse de que se cumpla con lo dispuesto en los programas de conservación

Dentro del gobierno deben estar interesados los actores de la toma de decisiones, los políticos, el poder legislativo, porque son ellos los que pueden dictar normas, leyes y directrices que vayan encaminadas a desarrollar cualquier elemento, mecanismo, programa o política de conservación.

En lo particular, y a diferencia de la generalidad de percepciones de los demás actores entrevistados, el entrevistado ASE 2 identifica dos grupos principales de actores, los actores de la esfera gubernamental y los actores de la IP.



Figura. 15. Actores identificados

Para los actores de la esfera gubernamental el tema central es cómo los recursos públicos, los programas públicos, el uso de la normatividad se utilizan, y ahí es en donde autoridades que pueden ser de carácter nacional, regional o local pueden adoptar decisiones y tener incidencia, este círculo de decisores públicos es poco sensible a oportunidades de escala local.

En cambio, los actores de la IP tienen un dinamismo mayor y, para bien o para mal, el tema de rentabilidad a corto plazo suele ser muy dominante en las decisiones privadas de inversión, de consumo y de conservación.

Así mismo los actores entrevistados, señalan que hoy en día, el activismo de las fundaciones es muy intenso y pueden darse oportunidades para que estos temas entren en la agenda, pero insistió la importancia de sensibilizar a los decisores públicos y a los decisores privados que son los que invierten, y sensibilizarlos sobre la idea de que es a nivel comunitario donde estos recursos se pueden propiciar mejor.

4.4.2.4 **Perspectiva sobre la toma de decisiones para la conservación de TMAE**

Los actores entrevistados han identificado algunas acciones necesarias para que los tomadores de decisiones tengan presente el tema de conservación de TMAE.

La primera es el desarrollo de más investigaciones sobre los TMAE, ya que a partir de las investigaciones se genera conocimiento y se comparte, así como a partir de estas investigaciones se parte para efectuar todas las demás acciones encaminadas al éxito de la conservación.

La acción de mayor incidencia es la información, informar a los tomadores de decisiones sobre la existencia de los TMAE, informar sobre la importancia, informar sobre los beneficios, sobre la problemática de su pérdida, informar para conservar, ha sido la exclamación generalizada a lo largo de la aplicación de las entrevistas.

Siguiendo con el tema de información, se propone que la información generada en las investigaciones sea difundida adecuadamente, ya que es común que existan publicaciones que sólo son asequibles para un número pequeño de personas (especialistas en el tema) y por esta razón no se percibe el alto número de investigaciones que constantemente se publican sobre TMAE.

Así, el segundo punto crítico de las recomendaciones es la divulgación sobre las investigaciones, los ambientes extremos donde existen los TM, a todos los actores implicados en la conservación de TMAE, divulgación estructurada en general a todos los grupos de actores identificados, para que sea generalizada la sensibilización, la educación y la socialización del conocimiento de estos recursos.

La sensibilización se encuentra en la tercera posición, sensibilizar sobre la importancia de los TMAE, sobre sus beneficios, sus orígenes, convencer a los propietarios de la tierra de su valor inconmensurable para que se lo apropien, a los tomadores de decisiones para que los protejan y a la sociedad en general para que los respeten.

Otras recomendaciones fueron involucrar a las instituciones, universidades, centros de investigación, así como ampliar los procesos de investigación participativa en foros de consulta de revisión de políticas de ordenamientos, acudir y hablar con los responsables de las áreas

ambientales dentro de los espacios donde se presentan para sensibilizarlos para que actúen al respecto.

Una recomendación en particular es la del entrevistado ATCE 16, quien en su opinión explica que es necesario:

“Primero presentarles un estudio fundamentado, de tal manera que ya nada más firme el decreto y este hacer publicidad hacerlos entender, hablarles en un lenguaje que entiendan, el establecer una vía de comunicación adecuada”, lo anterior como camino para llegar a concretar un elemento de conservación.

4.4.3 Elementos para una política de conservación

4.4.3.1 Carencia de normatividad aplicable

La falta de elementos de conservación directa para los TMAE, desde la percepción de los actores no gubernamentales (OSCs), es un gran reto y un obstáculo significativo, estos organismos se encuentran limitados para proteger áreas con elementos como los TMAE que no se encuentran en la agenda pública.

La importancia de la normatividad es señalada por el entrevistado ASE 4, “si no hay normatividad aplicable, si no hay normas, si no hay leyes que nos ayudan a nosotros operar y a asegurar la conservación de los ambientes de la región, pues cómo le hacemos”.

Es relevante la implementación de elementos para la conservación que coadyuve con los esfuerzos de las organizaciones de la sociedad civil para la protección de estas áreas, ya que la sociedad por sí misma no reacciona, se requiere una directriz que oriente el respeto y que sea vinculante a una consecuencia, así lo explica el entrevistado ASE 5:

“...desgraciadamente, el ser humano está acostumbrado a que obedece leyes, no está acostumbrado a seguir sus convicciones, no está acostumbrado a actuar porque es un bien para él, el ser humano por desgracia actúa sí es castigado, o deja de actuar si es castigado, entonces las políticas públicas son las que van realmente a obligar a que las personas ni siquiera tomen consciencia, obedezcan ante algo... se gasta mucho dinero en temas de educación ambiental, en tratar de sensibilizar, en tratar de concientizar y vemos que no están dando buenos resultados,

cuando logras sensibilizar y concientizar a quien hace la ley, hace esa ley y entonces todos se alinean.”

Los actores explican que, aunque son autónomos, no pueden operar autogestivamente, dependen de los lineamientos nacionales que amparen sus acciones para que el esfuerzo aplicado tenga incidencia en la sociedad y se refleje en la protección de las áreas naturales a conservar, y en los TMAE.

4.4.3.2 Acciones para la conservación

Se han propuesto por parte de los actores entrevistados algunas acciones al respecto de los elementos de política para la conservación de TMAE.

Primeramente, identificar los lugares donde se encuentran ubicados los ambientes extremos y realizar un inventario para determinaren cuáles existen TM, caracterizar tanto ecológica, biológica, física y geológicamente el lugar y realizar investigaciones que potencien la importancia de los TMAE y se pueda ampliar el conocimiento acerca de ellos.

Difundir información donde se explique qué son, su función, así como difundir las investigaciones a cerca de los TMAE, las publicaciones tanto científicas como libros o videos, en general lo que corresponda para hacer del conocimiento de la gente su existencia e importancia.

Así mismo, se propone realizar alguna campaña específica para algún ambiente extremo en especial, logrando que se reconozca la importancia de esos TM ahí, y al menos esos se conserven con algún instrumento legal.

Los dos propósitos principales del involucramiento comunitario deben ser, la apropiación de los dueños de la tierra sobre los TMAE y la sensibilización para que la política pueda ser atendida asegurando la conservación de los TMAE. Estos propósitos podrían ejecutarse a través de algún proceso participativo que valide socialmente las acciones de conservación.

Adicionalmente, deberá apoyarse en la sociedad civil, la cual puede fungir como interlocutor entre la sociedad no organizada y los tomadores de decisiones, el papel de la OSC será, trabajar con los tomadores de decisiones para tratar de incidir en los procesos de pública política,

empujando el tema en la agenda para la creación de normas, de leyes o algún otro elemento que contribuya en la conservación de los TMAE.

Otras acciones concretas para la atención integral del ecosistema formado por TMAE, tiene que ver con el tipo de conservación por el que se va a optar, delimitando aquellas áreas intactas, las que sirven para la investigación, los sitios para su explotación y otros destinados a la enseñanza, ya sea de lugareños o turistas.

Las últimas dos acciones propuestas, pero no menos importantes, refieren a la búsqueda de financiamiento y el seguimiento que se le dé a la política, actualizando la información que sigue surgiendo del monitoreo con respecto de los TM y el ambiente extremo en el que se encuentran.

Adicionalmente, y como parte de las investigaciones, se propone la implementación de un sitio piloto in situ, y el desarrollo de programas experimentales con TMAE que no se encuentren necesariamente en campo.

Para finalizar los reactivos de la entrevista aplicada, los actores clave identificaron por orden de importancia acciones de conservación proporcionadas en una lista de seis opciones, la tabla 24 muestra el orden de prioridad que cada actor le asignó a cada una de las opciones proporcionadas y los porcentajes obtenidos por respuesta.

En lo que respecta al diseño de un sistema de información de servicios que aporta el ecosistema extremo, el cual ha tenido en la primera posición de importancia con un porcentaje del 29%, seguido de la evaluación sobre el impacto que pueda tener cualquier actividad en el área con un 23%, la tercera posición se le atribuye a la determinación y delimitación de la zona núcleo y la de amortiguamiento con un 18%, la determinación de planes de manejo para cada ecosistema, obtuvo el puesto número cuatro en la lista con un porcentaje de 29%, el diseño de un sistema de monitoreo del área de TMAE quedó en la quinta posición con un 29%, y finalmente en el sexto puesto los actores entrevistados coincidieron en un 36% en el diseño de un modelo de apoyo económico, y así establecer la estrategia de acciones como se indica en la tabla 24.

Tabla 24. Orden de prioridad de acciones para la conservación

1	Diseñar un sistema de información de servicios que aporta el ecosistema extremo	29%
2	Evaluar el impacto que pueda tener cualquier actividad en el área	23%
3	Determinar y delimitar una zona núcleo y de amortiguamiento	18%
4	Determinar planes de manejo para cada ecosistema extremo	29%
5	Diseñar un sistema de monitoreo en el área	29%
6	Diseñar un modelo de apoyo económico	36%

Tabla 24. Los actores entrevistados identificaron el orden de prioridad con el porcentaje(mayoría) para cada acción, como indica la tabla.

5. Capítulo: Propuesta de lineamientos

5.1 Integración de resultados

5.1.1 Importancia de los TMAE

La revisión del estado del arte muestra que los tapetes microbianos de ambientes extremos (TMAE) se extienden a través de los continentes en sitios con características particulares físicas y químicas que imposibilitan la adaptación de algunos organismos en esos ambientes.

Los ambientes extremos que albergan estos tapetes de microorganismos presentan rangos poco comunes (tabla 1), por ejemplo, temperaturas desde 5°C o hasta 80-110°C; pH menor que 5 o mayor que 9; concentraciones de sal mayores a 20%, ambientes con nutrientes limitados o concentraciones de metales altas; incluso en las profundidades extremas de los océanos con presiones de hasta 10,000 barómetros.

Los microorganismos presentes en estos ambientes que integran los tapetes microbianos son de los dominios de arquea, bacteria y los organismos más simples de eucaria, así están integrados por bacterias aeróbicas, anaerobias, cianobacterias, microalgas, arqueas, protistas, hongos y rotíferos, variando en cada ambiente (tabla 1).

Los tapetes microbianos son ecosistemas de microorganismos, así se encuentran los colonizadores fotosintéticos (cianobacterias y microalgas) y posteriormente los heterótrofos y descomponedores, como bacterias y arqueas sin dejar del lado hongos y algunos protozoarios, estos microorganismos se encuentran congregados por una matriz de exopolisacáridos, y no pueden coexistir separadamente en los ambientes extremos.

Algunos de los sitios extremos más importantes se encuentran en (tabla 3), USA, donde encontramos Yellowstone y la Mina ácida Drainage en California; la Poza Nimelah, en Hamelin, Australia; el Río Tinto en España; lagos del Continente Antártico y península. Así mismo, México cuenta con diversos ambientes extremos que albergan tapetes microbianos (tabla 5), algunos de los más estudiados como Cuatro Ciénegas en Coahuila, Guerrero Negro o la Laguna Ojo de liebre en Baja California Sur, o Araró en Michoacán, y otros menos conocidos como la Laguna Rosada de Uaymitúm en, Yucatán o Los Azufres, en Puebla.

Por otro lado, se han realizado diversos estudios con respecto de estos TMAE para determinar las especies que los integran (tabla 3) con técnicas metagenómicas de secuenciación, y otros simples como microscopía y parámetros fisicoquímicos también de dinámicas de las comunidades microbianas (tabla 5). Además de estas investigaciones, se han realizado otras con el objetivo de incrementar las contribuciones que estos microorganismos pueden aportar (tabla 2): ecológicas, tales como la biorremediación, bioindicadores, biotecnología en el uso de enzimas; industriales como en la industria alimenticia, farmacéutica; en la minería, en procesos de desulfuración de carbón o bioprocesos en corrosión; así como en estudios sobre condiciones ambientales semejantes a la tierra primitiva y a otros planetas como Marte.

Las anteriores contribuciones revisten de importancia a los TMAE, pero un punto crucial son los servicios ecosistémicos de soporte que aportan al ambiente en el cual se desarrollan, ya que en muchos de estos ambientes son los únicos organismos que los habitan.

Los estudios recientes sobre Los Azufres, Puebla, incrementan el acervo de estos ecosistemas y del ambiente extremo, así como posibilitan los estudios sobre rutas metabólicas y servicios ecosistémicos de soporte los cuales han sido poco estudiados.

A pesar de todas las aportaciones a la ciencia y la industria, de los beneficios ecológicos y ambientales que proporcionan los TMAE, en su mayoría estos ambientes se encuentran expuestos a actividades antropogénicas, tal es el caso de Cuatro Ciénegas, en donde se ha ido perdiendo el hábitat, y, por ende, las aportaciones de estos microecosistemas (tabla 5).

En la tabla 5, se muestra el estado ambiental en el que se encuentran algunos los ambientes extremos en México, la mayoría han sido modificados, algunos deforestados y son vulnerables a pesar de encontrarse dentro de áreas naturales protegidas, como es el caso de Cuatro Ciénegas y BSI, en los sitios de Laguna de Uaymitúm y Los Azufres aún no se encuentran integrados a ningún elemento de conservación que suscriban su protección.

Los ambientes extremos no son susceptibles a ser conservados sólo por el hecho de serlo. Los microorganismos no son referidos en lo específico dentro de los mecanismos de conservación ni en las leyes que los sustentan.

El estatus de protección en este proyecto se ha dividido en internacional y nacional, en lo referente al estatus internacional, los microorganismos se encuentran dentro de la definición de ecosistema, que a su vez se menciona dentro de la definición de biodiversidad, así se infiere que los microorganismos son susceptibles de ser conservados en todos los casos que se refieran a conservación y protección de biodiversidad.

Dentro de este marco internacional para conservación de biodiversidad, se incluyen los acuerdos celebrados en Río de Janeiro, Brasil 1992 y 2012, así como en Nagoya 2010, y son la Declaración sobre el medioambiente y desarrollo, el Convenio de Diversidad Biológica, la Agenda 21, así como los Objetivos de Desarrollo Sostenible y las Metas de Aichi respectivamente.

Respecto del estatus nacional, la LGEEPA los enmarca dentro de la definición de capital natural, que a su vez se toma para este caso como sinónimo de biodiversidad, y el instrumento que encabeza este marco es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, con el artículo 4 que prevé el derecho a un ambiente sano para toda persona, siguiendo la tónica la LGEEPA, que enmarca la preservación y restauración del equilibrio ecológico incluyendo la protección al ambiente y a la biodiversidad.

En este contexto, el PND 2019-2024, integra en su estrategia la parte ambiental, incluyendo la protección de la biodiversidad y el desarrollo sustentable, vinculando los acuerdos internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la agenda 2030.

Para continuar con este contexto vinculante de acuerdos internacionales, el Estado suscribe la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad en México (ENBM) y su plan de acción 2016-2030 (CONABIO, 2016b). Este es un esfuerzo integral que abarca entre otros temas, el uso sustentable y manejo de los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas, así como el estado del conocimiento de su biodiversidad, afirmando que existen diversos grupos de los cuales el vacío de información es evidente, dentro de los cuales se incluye a los microorganismos.

Para incrementar el conocimiento sobre la biodiversidad y la valoración de los servicios ecosistémicos, la investigación científica interdisciplinaria es útil para la toma de decisiones sobre conservación, manejo y uso sustentable de la biodiversidad, y en vinculación con los acuerdos internacionales la ENBM, establece su Plan de acción a 2030. De igual forma, siguiendo este

contexto, las entidades federativas, en apoyo a la ENBM, han hecho lo propio estableciendo estrategias estatales de conservación, llamadas en su mayoría Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad (ECUSB) (tabla 9).

En un periodo que abarca desde el 2003 a la fecha, doce han sido las entidades que suscriben: Aguascalientes (CONABIO, 2010), Campeche (CONABIO, 2016b), Chiapas (CONABIO, 2013a), Chihuahua (CONABIO, 2015a), Guanajuato (CONABIO, 2015b), Hidalgo (CONABIO, 2019), Jalisco (CONABIO, 2017), Michoacán (CONABIO, 2007), Morelos (CONABIO, 2003), Oaxaca (CONABIO, 2018), Puebla (CONABIO, 2013b), y Veracruz (CONABIO, 2013c). De estas 12 estrategias, cinco no presentan estado sobre microorganismos, las que presentan coinciden en la falta de información, de estudios, de listados de microorganismos, sólo cuatro reportan número de géneros o especies, y sólo Campeche y Puebla mencionan en específico especies de microorganismos.

Las ECUSB de los estados de Aguascalientes, Campeche, Hidalgo, Jalisco y Michoacán establecen alguna problemática sobre el porqué la carencia de información sobre microorganismos, coincidiendo en que las investigaciones usualmente se enfocan en algunas regiones o áreas muy específicas de estudio. En lo referente a la conservación, cabe destacar el estado de Hidalgo, en donde se afirma que “La falta de interés y de capacidad de los tomadores de decisiones y de la sociedad, desvincula el tema de la biodiversidad con los diferentes sectores, quienes devalúan el tema ambiental como superficial o no importante”. (CONABIO, 2019).

El término microorganismo se encuentra incluido en la definición de biodiversidad sólo en ocho estrategias, cuatro de estas ni siquiera refieren el término. A pesar de esto, la utilidad de los microorganismos es identificada en algunas ECUSB, como los casos de: Campeche, donde señalan la elaboración de aditivos para alimentos, de solventes, biocombustibles, agroquímicos, farmacéuticos y reactivos de laboratorio a partir de microorganismos; en Guanajuato explican que algunas especies de microorganismos (diatomeas) son utilizadas como bioindicadores de la calidad de los ambientes; en Jalisco indican que los microorganismos poseen un valor estético, recreativo e incluso cultural; y en Puebla indican que existen alrededor de 50 productos naturales poblanos (algunos de origen microbiano) con denominación de origen y con certificación de productos

ecológicos u orgánicos, así como la importancia de bacterias en la industria agrícola y médica, y su importancia ecológica como fijadoras de nitrógeno.

5.1.2 Percepción de actores clave

Ahora bien, para vincular y complementar las investigaciones anteriormente realizadas con las que se pretende resaltar el porqué de la importancia de los TMAE, y evidenciar la poca inclusión global de los microorganismos que los integran, así, mediante la percepción de actores clave quienes identificaron la problemática que guarda el tema de conservación de TMAE, y la importancia que representan, se pretendió sustentar el diseño de una propuesta de lineamientos para la conservación de TMAE.

A partir de las percepciones de los actores entrevistados, se identifican tres aristas principales: la problemática de la conservación, que aporta los elementos que nos indican el por qué no hay conservación directa sobre los TMAE; la segunda, la problemática que implica la falta de conservación sobre estos ecosistemas, o sea los inconvenientes que el socio ecosistema puede presentar por la falta de protección de estos TMAE, y la tercera, la aplicación de la conservación, es decir, cómo o a partir de qué acciones se puede proponer la conservación de los TMAE.

5.1.3 Problemática de la conservación

Los actores clave perciben cuatro puntos principales que limitan el proceso de conservación directa sobre TMAE: las investigaciones, la divulgación de la información generada por las investigaciones, la sensibilización a partir de la divulgación y la normatividad existente sobre este tema.

5.1.3.1 Investigación

Las investigaciones se han identificado como parte del problema debido a que debieran ser la base para la conservación, ya que sustentan hechos fácticos sobre la importancia de la biodiversidad, sin embargo, la información que aportan no es del todo asequible y las investigaciones no siempre son financiadas.

En primera instancia, los principales implicados, que son los actores investigadores o académicos en quienes recae la realización de investigaciones, y quienes publican artículos con la

información generada, en este punto hay dos coyunturas, el lugar donde se publica y el lenguaje con que se publica.

Los artículos suelen publicarse en revistas especializadas o en libros de difícil acceso incluso a la comunidad estudiantil, con un lenguaje técnico y complejo poco accesible a la sociedad en general.

Por otro lado, no todos los temas revisten la misma importancia. En el caso particular de los TMAE, es poco común que las instituciones de investigación presenten elevado interés en estos ecosistemas, en general se prefieren estudios de ecosistemas que prestan servicios ecosistémicos tangibles para las comunidades.

Otro punto es la falta de fondos para la investigación que obstaculiza el incremento de proyectos en México en general, en particular, la falta de carisma de TMAE y de visión sobre los beneficios que aportan, dificulta la obtención de presupuesto para estos propósitos.

La proyección de largo plazo de las investigaciones que desarrollan productos biotecnológicos los hace inviables, debido a la diferencia de perspectivas entre la industria y la academia, dificultando la obtención de fondos para las investigaciones y su vinculación.

5.1.3.2 Difusión vs. Divulgación

Retomando el punto de la asequibilidad sobre la información, es ambiguo el hecho de que las investigaciones se publique en revistas de editoriales de prestigio, por un lado, indica la seriedad y calidad, por otro, complica la divulgación tanto por el acceso como por el lenguaje. Así, la sociedad en general y los tomadores de decisiones en lo particular, tienen pocas probabilidades de acceder a esa información y si pudiera acceder a ella, poca probabilidad de comprenderla, según algunos de los entrevistados.

Así, la difusión como herramienta acompañada de una estrategia integral puede coadyuvar a la conservación de TMAE, sin embargo y contrariamente, algunos actores clave entrevistados coinciden en que la existencia de un elemento de conservación facilitaría el éxito de la difusión sobre TMAE, ya que los esfuerzos realizados al respecto de difundir y divulgar información, no surten frutos sin un vínculo legal.

5.1.3.3 Sensibilización

A pesar de lo vistosos que pueden ser los ambientes extremos, en los que invariablemente existen tapetes microbianos y de las innumerables investigaciones sobre ellos, de sus propiedades, beneficios y aplicaciones, no se ha concretado ningún esfuerzo de conservación directa; los actores entrevistados, perciben que este escenario podría darse por la falta de sensibilización al respecto del tema.

La falta de sensibilización es otro punto importante, porque los actores involucrados en los que se incluyen desde autoridades gubernamentales, tomadores de decisiones, hasta la sociedad en general, los niños, las amas de casa y los dueños de las tierras, suelen no ser conscientes de los servicios que se dejan de percibir si se pone en riesgo la integridad de estos ecosistemas, simplemente toman el servicio que creen más importante sin prever los daños que sus actividades pueden estar causando, en este caso particular, al ecosistema extremo.

5.1.3.4 Normatividad

México es un país que ha realizado un esfuerzo considerable en conservación, las 182 ANP son muestra de la gran labor realizada y la preocupación de proteger la biodiversidad y en general el capital natural del Estado.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados y de casos exitosos como Guerrero Negro en BCS, existen algunos casos en los cuales la figura de conservación no es suficiente, por ejemplo, lugares protegidos como Baño de San Ignacio o Cuatro Ciénegas en los cuales a pesar de encontrarse dentro del marco reglamentario como ANP, en el caso del primero se presumen modificaciones para usos recreativos, y en el caso del segundo, existe contaminación y modificación del entorno por actividades antropogénicas.

La percepción es que, en lugares alejados del centro del país, donde es difícil el acceso de las autoridades, es complejo el cumplimiento de la normatividad. Ahora bien, en lugares donde los mecanismos de conservación son inexistentes es aún más complejo frenar el deterioro de la biodiversidad y lograr su conservación.

Los actores de las OSC, afirman que la inexistencia de instrumentos que sustenten la conservación directa dificulta a estas organizaciones su labor divulgadora y de sensibilización, ya

que, aunque se apliquen esfuerzos en estos ámbitos, no contar con un apoyo reglamentario les resta autoridad, por esto en su opinión y la de los demás actores entrevistados, un mecanismo integral, vinculante que ayude en la sensibilización y el interés en los TMAE, es indispensable para que estos sean respetados integralmente y se logren los objetivos de su conservación.

5.1.3.5 Problemática por la falta de conservación de TMAE

Pérdida es el código principal identificado en las entrevistas a actores sociales relevantes en la falta de elementos de conservación directa para los TMAE, esta pérdida tiene varias aristas: la pérdida del conocimiento, de la biodiversidad, de la oportunidad de ampliar el conocimiento y las investigaciones, pérdida de cosas que desconocemos y a las que no tendremos acceso.

Para ampliar este contexto, se puede establecer esta problemática a partir de la importancia y los beneficios que aportan los TMAE, en la figura 15 se presentan los códigos identificados al respecto.

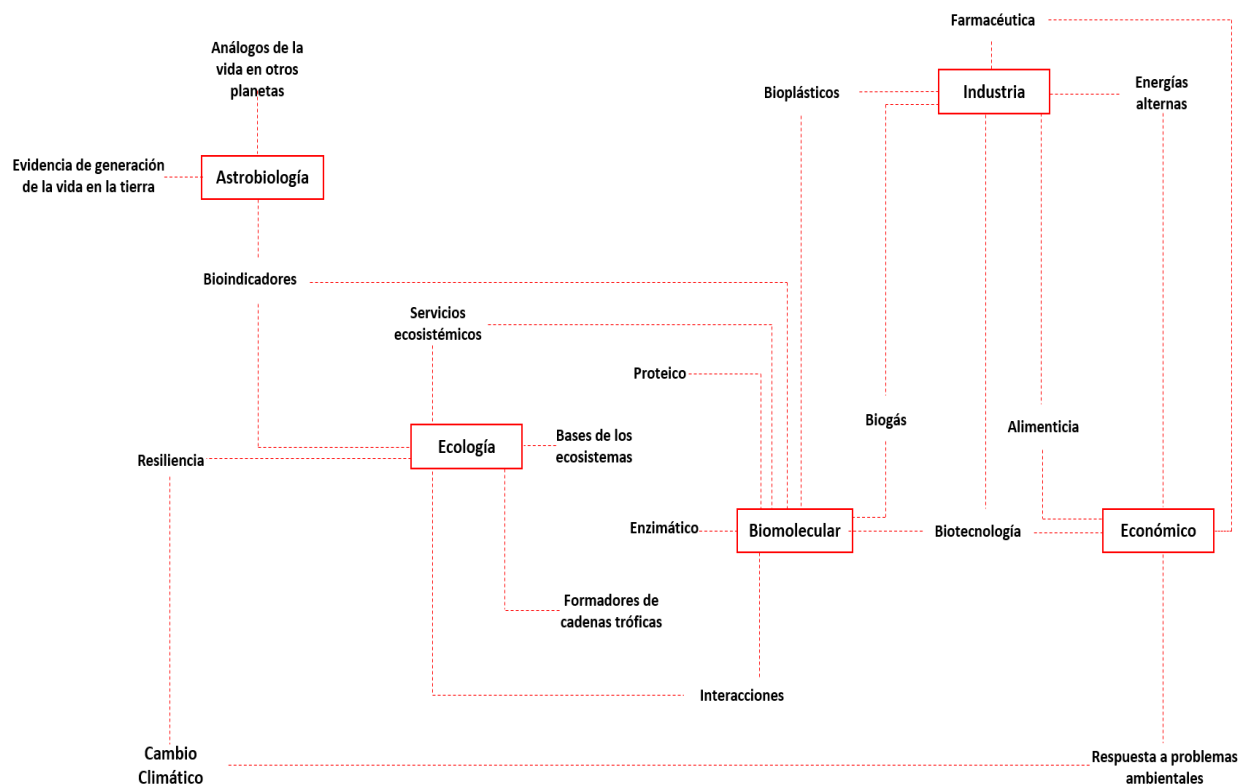


Figura. 16. Importancia y beneficios de los TMAE. Los recuadros indican la importancia que representan, y de la importancia se derivan los beneficios que aportan

La importancia se encuentra establecida de acuerdo con seis ámbitos esencialmente: importancia ecológica, biomolecular, industrial, astrobiológica, en el cambio climático y económica, todas vinculantes entre sí.

Podemos decir que la pérdida de TMAE es la pérdida de todas estas oportunidades de crecimiento científico, aplicación industrial, económica y medioambiental; sin avances científicos, ni biotecnológicos, los beneficios económicos dejaran de percibirse. Aunque no se percibieran los beneficios económicos, podría no representar un problema como el que se suscita con pérdidas medioambientales, de las cuales dependen las anteriores y poseen implicaciones de corto, mediano y largo plazo que lamentablemente pueden ser percibidas tardíamente.

Dentro de la importancia medioambiental o ecológica, están incluidos los servicios ecosistémicos, que son el producto de las interacciones entre los diferentes componentes del ecosistema, y en el caso particular de los TMAE, generan beneficios intangibles como la producción de oxígeno, la regulación de los ciclos de nutrientes (ciclos biogeoquímicos), la captura de carbono a través de la fotosíntesis, además incluyen funciones de regulación del clima, resiliencia, resistencia, biorremediación y función de hábitat.

Ahora bien, si los servicios ecosistémicos son el producto de la interacción entre los distintos componentes que incluyen los ecosistemas, la pérdida de este provisionamiento puede generar pérdida de biodiversidad y desequilibrio, que, en el caso de los ambientes extremos, es más delicado debido a la reducida cantidad de organismos que se desarrollan en ellos, y son estos ambientes entonces mayormente susceptibles al desequilibrio.

Recapitulando, la falta de elementos o mecanismos de conservación directa de TMAE tiene como principal problema la pérdida de los elementos que conforman el TM en el ambiente extremo determinado y de los servicios ecosistémicos de los cuales provee para el equilibrio del medio en el que se desarrollan y del socio-ecosistema al que pertenece.

5.1.3.6 Acciones para la conservación

A lo largo de la investigación se han descrito diferentes apartados los cuales explican desde qué es un tapete microbiano de ambiente extremo, hasta los problemas que causa la falta de políticas para su conservación.

Se explicó, según la percepción de los actores entrevistados que el desconocimiento sobre TMAE puede llevar a la pérdida de los conocimientos que aportan estos ecosistemas y al desequilibrio del medio en el que se desarrollan. Por tanto, es relevante dejar en claro que la naturaleza no hace nada inservible y el desconocimiento de los servicios ambientales que prestan los TMAE como ecosistema no implica que su deterioro no tenga consecuencias a corto, mediano o largo plazo.

La divulgación de las investigaciones sobre TMAE y la explicación sobre la importancia y beneficios que proporcionan, juegan un papel primordial en el conocimiento y sensibilización de los actores involucrados con respecto de la conservación de estos ecosistemas.

La divulgación y la sensibilización van de la mano, los actores implicados en la conservación de estos ecosistemas que no los conocen, y por ende no los cuidan, no son conscientes de su importancia y podrían destruirlos.

Los TMAE por la importancia sus características son el sustento de importantes investigaciones como las del origen de la vida o investigaciones sobre de vida en otros planetas, sin embargo, su mayor relevancia es debida al papel que representan por la provisión de servicios ecosistémicos de los que dependen todos los demás beneficios y aplicaciones que pueden obtenerse a partir de estos TMAE, como su papel enzimático en múltiples ramas industriales.

La comunidad académica ha hecho grandes esfuerzos de investigación y de conservación de áreas que incluyen estos ecosistemas tan particulares, dedicándose a su descripción y estudio en diferentes ámbitos, su esfuerzo pionero incrementa el acervo de conocimiento sobre TMAE y beneficia al socio-ecosistema.

Por otro lado, existen ANP donde se encuentran TMAE, sin embargo, no en todos los casos su conservación ha sido exitosa, y fuera de esta figura, no existe un mecanismo o elemento de conservación directa que proteja estos ecosistemas.

El problema que representa la falta de conservación puede sustentar su resolución con base en las investigaciones que se realicen al respecto, los actores entrevistados perciben que cada ambiente extremo debe ser encontrado, caracterizado y se debe explicar el porqué de su importancia.

En la percepción de los actores entrevistados, el planteamiento de la ruta de acción para la conservación deberá desarrollarse con estrategias de difusión y sensibilización, que incluyen la educación y socialización del tema de TMAE, así como de programas de actividades a desarrollar, como algunas acciones del monitoreo de las acciones sobre conservación y manejo y la obtención de recursos económicos para el mantenimiento del área a conservar, así como de sus estrategias de conservación.

Así entonces se propone el desarrollo de lineamientos diseñados estratégicamente para la conservación de TMAE.

5.2 Desarrollo del diseño de la propuesta de lineamientos de conservación para TMAE

La integración de los resultados que sustentan la propuesta de lineamientos de conservación de TMAE se realizó con base en la revisión del estado del arte, así como la caracterización de un sitio con ambiente extremo a partir de los cuales se ha identificado la importancia de los TMAE, y de las percepciones en las entrevistas a los actores clave, a partir de las cuales se identificaron la problemática de conservación y elementos que deberán ser incluidos en la propuesta. De este modo se integra el sustento (justificación) y se diseña la metodología de conservación propuesta en los lineamientos.

Además, el diseño de la propuesta de lineamientos se realizó a partir de la Guía Técnica para Elaborar o Actualizar Lineamientos (Garduño, 2009).

LINEAMIENTOS PARA LA CONSERVACIÓN DE TAPETES MICROBIANOS DE AMBIENTES EXTREMOS

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo pretende ser una guía de pasos que muestren cómo, cuándo y dónde se pueden aplicar lineamientos estratégicos para la conservación de Tapetes Microbianos de Ambientes Extremos (TMAE).

Se encuentra dividido en cinco fases para facilitar su aplicación.

- 1) Primera fase pretende mostrar los elementos básicos de la identificación y caracterización del ambiente extremo y los tapetes microbianos a conservar;
- 2) Segunda fase identifica los elementos básicos necesarios para la planeación de una estrategia integral en la conservación de tapetes microbianos de ambientes extremos (TMAE);
- 3) Tercera enumera los elementos a desarrollar en el diseño de la planeación para la conservación;
- 4) Cuarta fase, encontramos los pasos para la implementación del plan de conservación; y finalmente, la fase cinco trata sobre la evaluación y reestructuración del plan de conservación.

JUSTIFICACIÓN

El deterioro ambiental por actividades antropogénicas puede llevar a la pérdida de biodiversidad y a la degradación de los ecosistemas, destruyendo el equilibrio en los procesos biofísicoquímicos e impactando en los servicios ambientales que estos ecosistemas prestan. Los ecosistemas de ambientes extremos, en particular los tapetes microbianos (TM), son especialmente vulnerables debido a un desconocimiento general por parte de la sociedad y a la falta de instrumentos diseñados para su conservación.

Por sus características, los tapetes microbianos de ambientes extremos (TMAE) proporcionan diferentes beneficios ambientales, son proveedores de servicios ecosistémicos de regulación y soporte, y realizan funciones como la fotosíntesis, fijación del nitrógeno,

desnitrificación, reducción de metales, reducción de sulfato, metanogénesis y tienen un papel de equilibrio homeostático en la naturaleza que determinan el bienestar humano

Pueden destacar como ecosistemas por su resiliencia, adaptación y biodiversidad, y por sus contribuciones en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética con el estudio de las enzimas que producen, también son destacados en estudios sobre origen de la vida a partir de estos ellos y por sus condiciones ambientales semejantes a la tierra primitiva y a los de otros planetas como Marte.

A pesar de su importancia ambiental, tecnológica y científica, la poca visibilidad de los tapetes microbianos les resta importancia, incidiendo en la falta de mecanismos o instrumentos de conservación.

La falta de conservación puede traducirse en pérdidas de conocimiento científico y quiebre de equilibrio ecológico al fracturar las interacciones de los servicios de soporte que prestan y de los servicios básicos e interacciones con los servicios de provisión y regulación, provocando cambios estructurales, de función, deterioro de TMAE y del medio donde se desarrollan.

En México, no todos los ambientes extremos donde habitan estos ecosistemas microbiológicos pertenecen a ANP, y fuera de ellas no existe un marco legislativo que sustente directamente la conservación de los TMAE.

Por lo anterior, se concluye que es necesario contar con mecanismos que regulen las actividades antropogénicas que podrían realizarse dentro de áreas de ambientes extremos con tapetes microbianos, con este propósito se crean los siguientes lineamientos para la conservación de TMAE.

MARCO LEGAL

En vinculación con los acuerdos internacionales como el Convenio de la Diversidad Biológica, la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2020, los Objetivos del Desarrollo Sostenible y la Agenda 21, y con fundamento en el capítulo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el que se establece que “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. el estado

garantizará el respeto a este derecho”, en la LGEEPA en su artículo 2 inciso III, que dice que se considera de utilidad pública “La formulación y ejecución de acciones de protección y preservación de la biodiversidad del territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción” y de acuerdo con la Estrategia Nacional de la Diversidad Biológica (ENDB) y los Planes Estratégicos Estatales sobre Biodiversidad. Se proponen los siguientes Lineamientos como guía estratégica para la conservación de Tapetes Microbianos de Ambientes Extremos (TMAE).

Objetivo: Presentar una guía estratégica de acciones para la conservación y el uso sustentable de los tapetes microbianos de ambientes extremos (TMAE).

Fase 1.- Investigación base

Este apartado pretende guiar en las primeras acciones que deben realizarse para conservar un sitio de interés

1. Identificar los TMAE en México (En todos los ambientes extremos en los que se desarrollen tapetes microbianos) es conveniente utilizar un SIG, identificación de los lugares y sus extensiones geográficas.
2. Caracterización del ambiente extremo y de TM
Aplicación y desarrollo de análisis para identificar las características básicas de los TMAE y su entorno (anexo), así como el diagnóstico de los TMAE
Contribuye para saber las implicaciones de las actividades que se puedan desarrollar en lo futuro, coadyuba en la EIA, funge como base en la elaboración del plan de manejo y de su monitoreo, evaluación y restructuración.

Fase 2.- Identificación de elementos base para la planeación

Este apartado pretende enumerar los pasos para identificar el proceso que deberá seguir el área que se pretende conservar.

1. Identificará el régimen de propiedad del lugar donde se encuentren dichos TMAEM y establecerá el predio.
Refiere a la identificación del régimen al que está adscrita el área identificada que se pretende conservar y puede ser federal, estatal, municipal, ejidal, comunal o privado, esto

con la finalidad de identificar el tipo de figura bajo la cual se puede conservar el área que se trate.

2. Identificará los actores clave

aquellas personas que estén involucradas en la tenencia de la tierra y las autoridades competentes, así como otros que tengan relación con el conocimiento del tema y quienes pudiesen estar interesados en el lugar del que se trate como la población en general o la iniciativa privada

3. Identificar y determinar las opciones de conservación (Gestión del espacio-instrumentos de política ecológica)

Se determina cual opción es viable para el caso identificado de acuerdo con la vocación natural del sitio y a partir de instrumentos de política ecológica como ADVCE, parques nacionales, santuarios, AP y figuras como Acuerdo destino y pago por servicios ambientales.

Lo anterior contribuye a determinar el plan de manejo a implementarse y las opciones de obtención de fondos.

Fase 3.- Diseño de un plan integral de conservación

1. Informar sobre los servicios ecosistémicos que aportan y la importancia que representan los TM para el lugar (diseñar sistemas de información de servicios que aporta, de acuerdo con el tipo de actor clave determinado)

2. Evaluar el impacto que pueda tener cualquier actividad en el área (EIA)

3. Determinar planes de manejo de acuerdo con las características y a la vocación natural del sitio

4. Zonificación del área

Determinar y delimitar de acuerdo con la extensión y características del área zonas clave de conservación, pueden clasificarse en zonas núcleo, de amortiguamiento, de uso del recurso, o de sacrificio.

5. Determinar un sistema de monitoreo de los planes de manejo del área

Dependiendo de las actividades a realizar en el plan de manejo

6. Diseñar una estrategia de divulgación sobre la importancia del área a conservar. Orientada a todo tipo de actor clave implicado en el área, su uso y conservación
Puede ser aplicada para tres objetivos principales: sensibilización, educación y socialización de la importancia de los TMAE y su conservación.
7. Aplicar un modelo de apoyo económico para la conservación del área, basado en los lineamientos de la figura de conservación que se haya determinado

Fase 4.- Implementación del plan integral de conservación

1. Implementar del plan de manejo desarrollado de acuerdo con las características y vocación natural del sitio
2. Implementar el sistema de monitoreo diseñado específicamente para el área y su plan de manejo
3. Implementar la estrategia de difusión de la importancia del área a conservar
4. Implementar el modelo de apoyo económico determinado para la conservación del área.

Fase 5.- Evaluación y reestructuración del plan de conservación

1. Las evaluaciones podrán programarse dependiendo del área, en periodos de dos a cinco años, dependiendo de los datos arrojados por el sistema de monitoreo

Las tres acciones restantes del plan de conservación (plan de manejo, difusión y modelo económico), deberán someterse periódicamente a evaluación y si los resultados lo ameritan deberán reestructurarse.

RUTA DE ACCIÓN

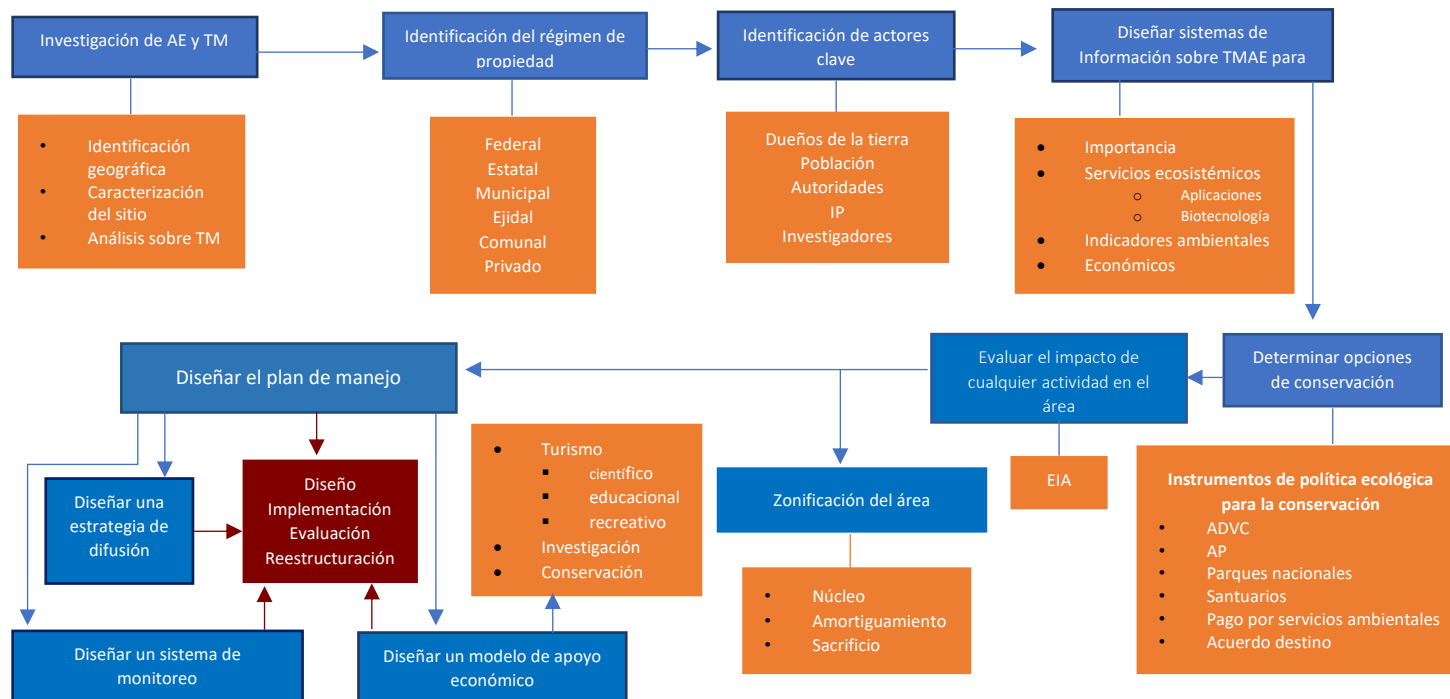


Figura. 17. Ruta de Acción. Elaboración propia. Los recuadros azules indican la ruta a seguir, los recuadros naranjas complementan la información de en qué casos se aplica y el recuadro tinto indica la estrategia y el seguimiento para cada caso que lo señala.

GLOSARIO

Ambiente Extremo Aquellos ambientes que tienen características físicas o químicas que salen de las condiciones más comunes, normales o que se consideran ideales haciendo difícil la vida en ellos.

Área Destinada Voluntariamente a la Conservación (ADVC) consistentes en lugares u objetos naturales, que, por su carácter único o excepcional, interés estético, valor histórico o científico, por la presencia de especies, subespecies o hábitat de distribución restringida y de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies, así mismo sean proveedoras de servicios ambientales y se resuelva incorporar a un régimen de protección.

Área Natural Protegida (ANP) Las zonas del territorio nacional y aquéllas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas

Área Protegida (AP) destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales

Bacterias Organismos unicelulares microscópicos implicados en la regulación de los ciclos biogeoquímicos y en los servicios ecosistémicos de soporte, pueden sobrevivir a condiciones extremas.

Biodiversidad La variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas

Bioindicadores organismos que permiten detectar alteraciones como explotación excesiva, contaminación, cambio climático o salud ambiental en los ecosistemas.

Biorremediación proceso mediante organismos vivos en especial microorganismos en el cual se limpia la contaminación del medio ambiente

Biotecnología Toda aplicación tecnológica que utilice recursos biológicos, organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos

Conservación La protección, cuidado, manejo y mantenimiento de los ecosistemas, los hábitats y las especies, de manera que se salvaguarden las condiciones naturales para su permanencia a largo

plazo, previniendo o minimizando el deterioro o pérdida que las actividades antropogénicas pueden ocasionarles.

Capital Natural conjunto de ecosistemas, tanto los naturales como los manejados por la humanidad, que generan bienes y servicios y son perpetuables ya sea por sí mismos o por el manejo humano

Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) procedimiento a través del cual se establecen las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente

Manejo de Ecosistemas La construcción transdisciplinaria e interdisciplinaria de estrategias que determinan procesos para la protección, conservación y aprovechamiento de los socio-ecosistemas como respuesta a agentes de cambio

Microorganismo Organismos microscópicos colonizadores de cualquier ambiente, (Arqueas, bacterias, hongos, algas y protozoarios) se encuentran en todos los ecosistemas y participan en procesos importantes para sobrevivir como son procesos metabólicos, ecológicos y biotecnológicos.

Pago por Servicios Ambientales (PSA) Esquema desarrollado por la CONAFOR en el cual los dueños de áreas ecológicamente importantes son retribuidos por cuidar de ellas

Plan de Manejo Aplicación de métodos y técnicas para la conservación y aprovechamiento sustentable del capital natural.

Predio Unidad territorial delimitada por un polígono que puede contener cuerpos de agua o ser parte de ellos.

Servicios Ecosistémicos los beneficios tangibles e intangibles, generados por los ecosistemas, necesarios para la supervivencia del sistema natural y biológico en su conjunto, y para que proporcionen beneficios al ser humano

Tapete Microbiano: Consorcios, colonias, comunidades de microorganismos (microalgas, cianobacterias, bacterias, arqueas) estratificados que aportan servicios ecosistémicos y aplicaciones tales como bioindicadores ambientales, biorremediación e industriales, tienen aspecto gelatinoso y se desarrollan como capas en el suelo, como estructuras bentónicas o incluso sobre las rocas.

TMAE Consorcios de microorganismos estratificados que pueden establecerse en ambientes extremos tales como temperaturas extremas, salinidad excesiva, acidez o alcalinidad, contaminación, incluso en lugares con pocos nutrientes.

Unidad de Manejo Ambiental (UMA) son espacios de promoción de esquemas alternativos de producción compatibles con la conservación de la vida silvestre.

Zona núcleo Porción del área total que se caracteriza por incluir elementos que se pretenden conservar y en la cual sólo se pueden realizar actividades de investigación que no comprometan la integridad del ecosistema.

Zona de amortiguamiento Porción del área total en la cual se pueden realizar actividades de investigación y educación que no comprometan la integridad del ecosistema.

Zona de sacrificio Porción del área total en la cual se pueden realizar actividades de investigación, educación y turísticas en la que se ha comprometido la integridad del ecosistema.

6. Capítulo: Conclusiones

La revisión del estado del arte ha permitido resaltar la importancia de los tapetes microbianos de ambientes extremos a nivel global, así mismo la importancia que sus características morfológicas y estructurales les confieren, y las aplicaciones biotecnológicas, industriales y ecológicas.

Las investigaciones de línea base contribuyen a incrementar el sustento de la importancia sobre los TMAE, desarrollando conocimiento útil tanto para la sociedad como para el medioambiente, es decir, para el socio-ecosistema.

La importancia que revisten estos TMAE los enmarca como candidatos de conservación, sin embargo, en la revisión del marco internacional y nacional no se encontró elemento alguno, llámese ley, norma, acuerdo, plan, o cualquier otro instrumento legal o de política de conservación que los proteja, conserve o aproveche directamente, y aunque existe normatividad con la que indirectamente pueden ser protegidos, no en todos los casos ha resultado exitosa, un ejemplo es Cuatro Ciénegas.

A pesar de que la revisión del estado del arte fue exhaustiva, se consideró relevante para un proyecto de esta naturaleza (transdisciplinaria) un estudio a partir de la percepción de expertos quienes pueden ahondar en el tema (actores clave) como complemento para proponer un elemento de conservación de TMAE en términos conclusivos.

Los actores entrevistados percibieron que será necesario tener investigaciones de los ambientes extremos simultáneamente para ir caracterizando los lugares, con esta información se podrán aplicar medidas para conservar. Estas medidas pueden encontrarse enlistadas como un mecanismo para la conservación que guíe las investigaciones y los esfuerzos encaminados desde el inicio, para potencializar los esfuerzos aplicados a la conservación y aprovechamiento de los recursos proporcionados por los TMAE.

De esta manera, se desarrolló la propuesta de lineamientos para la conservación de ambientes extremos, con la visión de aportar una herramienta general y útil para cada caso particular de TMAE.

A demás de lo anterior se concluye que:

- Las investigaciones sobre TMAE son globales, abarcan incontables tópicos y pueden sustentar la importancia de estos.
- A pesar de las innumerables investigaciones, aún faltan lugares por investigar y temas por desarrollar sobre TMAE, como servicios ecosistémicos (ciclos biogeoquímicos) interacciones entre especies dentro de los tapetes y con su entorno, investigaciones que puedan aportar estrategias sobre el cambio climático por la alta resiliencia de los organismos que lo integran, intercambio de gases por sus implicaciones fotosintéticas, o aplicaciones biotecnológicas de gases para la industria.
- El incremento de las investigaciones sobre servicios ecosistémicos de soporte, podrían ampliar la perspectiva de la importancia de TMAE y contribuir a su conservación.
- A pesar del alto nivel normativo del país y de la cantidad de acuerdos internacionales vinculantes y no vinculantes a nivel global, los microorganismos son poco tomados en cuenta por sí mismos y simplemente están referidos dentro de las definiciones de ecosistema o de biodiversidad.
- El marco legal ambiental nacional encabezado por la LGEEPA, y la ENB, cuenta con mecanismos para aplicar la conservación de la biodiversidad en general, sin embargo, en lo que respecta a las entidades, el marco se encuentra incompleto, pues aún faltan 12 estados de presentar su ECUBE, y en los estados que presentaron, en la mayoría les falta información referente a microorganismos.
- Los únicos mecanismos de conservación aplicados a los sitios de ambientes extremos que albergan TM son los decretos de áreas naturales protegidas (ANP) sin embargo, no han sido del todo exitosas (CONABIO 2019 b-c).

Con respecto de las entrevistas, se puede decir que:

- Las aportaciones complementarias de cada experto al respecto de la conservación de TMAE, contribuyen a una visión más precisa sobre la línea de acción a seguir para la conservación de los TMAE, pero sobre todo dan la pauta para el seguimiento de un trabajo transdisciplinario.

- La información de la importancia de los TMAE constituye la evidencia principal para sustentar políticas de conservación.
- La divulgación de la importancia y la sensibilización a actores involucrados al respecto de la conservación sobre los TMAE van de la mano y son el segundo paso en importancia.
- El lenguaje técnico especializado de las investigaciones, la asequibilidad y el desinterés de la sociedad por temas ambientales, son las principales limitaciones que presenta la divulgación de la información sobre TMAE.
- La poca visibilidad y falta de carisma (Arango, 2007) de los TMAE dificultan sensibilización de actores quienes pueden estar involucrados en los beneficios que brindan, y en la toma de decisiones, obstaculizando la implementación de mecanismos que protejan directamente a estos ecosistemas.

Un ejemplo comparativo de especies carismáticas es el oso Panda, el cual su carisma le basta para ser protegido, no así lo otras especies de las cuales se debe comprobar su relevancia para su conservación como los TMAE.

- La creación y el fortalecimiento de instrumentos regulatorios permiten impulsar el aprovechamiento sustentable y la conservación de la biodiversidad, en general del capital natural (CONABIO, 2016b) y en específico de los TMAE.
- Es importante resaltar que la inexistencia de instrumentos que sustenten la conservación directa sobre TMAE dificulta a las OSC su labor divulgativa y de sensibilización, ya que, aunque se apliquen esfuerzos en estos ámbitos, no contar con un apoyo reglamentario les resta autoridad.
- Finalmente, se destaca que es indispensable contar con un mecanismo integral, vinculante que guíe las investigaciones y la difusión, ayude en la sensibilización potencializando los esfuerzos y que contribuya a que los TMAE sean respetados y se logre su conservación y el aprovechamiento de los recursos que proporcionan.

7. Bibliografía

- Abed, R. & Khols, K. (2010). Diversity and role of cyanobacteria and aerobic heterotrophic microorganisms in carbon cycling in arid cyanobacterial mats. *Microbial Mats: modern and ancient microorganisms in stratified systems* (255-273). New York: Springer.
- Ahsan, M., Habib, B., & Parvin, M. (2008). A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. *FAO Fisheries and Aquaculture*, 1034, 1–41.
- Amils, R. (2012). Ambientes extremos y geología: el caso de Río Tinto Extreme. *Enseñanzas de las ciencias de la tierra*, 20.2, 122-132.
- Arango, X., Rozzi, R., Massardo, F., Anderson, C. B., & Ibarra, T. (2007). Descubrimiento e implementación del pájaro carpintero gigante (*Campephilus magellanicus*) como especie carismática: Una aproximación biocultural para la conservación en la Reserva de Biosfera Cabo de Hornos. *Magallania*, 35(2), 71–88.
- Ayma. (2013). Atlas de Microorganismos. Atlas De Organismos Planctónicos En Los Humedales De Andalucía: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Balvanera-Levy, P. 2012. Servicios ecosistémicos en México: patrones, tendencias y prioridades de investigación. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. FQ003. México D. F
- Balvanera, P., & Cotler, H. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. *Capital Natural de Mexico, Vol. II: Estado de conservacion y tendencias de cambio* (185–245). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Bellinger, E., & Sigee, D. (2010). *Freshwater Algae identificatio and use as bioindicators*. Great Britain. Wiley-blackwell.
- Bouchouicha, D., Lundholm, N., Kooistra, W., Sahraoui, I., Ruggiero, M., Kotaki, Y., Ellegaard, M., Lambert, C., Mabrouk, H., Hlaili, A., (2014). Morphology and molecular phylogeny of *Nitzschia bizertensis* sp. nov.—A new domoic acid-producer *Donia*. Elsevier, 32, 49-63.
- Cadena, M., Molina, D., Carvajal, A., Ontaneda, D., & Morales, E. (2013). Bioprospecting study of *Nostoc* sp. macrocolonies in the Ecuadorian Andes. *Acta Botánica Venezuelica*, 36, 287–307.

- Cairney, P. (2016). *The Politics of Evidence-Based Policy Making*. London: Palgrave Macmillan.
- Cairney, P. (2017). Evidence-based best practice is more political than it looks: A case study of the “Scottish Approach.” *Evidence and Policy*, 13(3), 499–515.
- Camacho, A. (2018). Un mundo dominado por los microorganismos. *Ecología microbiana de los lagos antárticos. Ecosistemas*, 14 (2): 66-78.
- Canfield, E., & Maws, D. J. D. E. S. (1993). Biogeochemical cycles of carbon, sulfur, and free oxygen in a microbial mat. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, 3971-3984
- Castell-Gonzalez, S. (2010). Analisis de las comunidades microbianas asociadas a tapetes hipersalinos de la laguna rosada de Uaymitun, Yucatán, México. Instituto Politécnico Nacional.
- Chacon-Baca, E., Alba-Aldave, L., Angeles, S., & Cantú-Ayala, C. (2015). Tapetes microbianos recientes en el manantial hidrotermal de Baño San Ignacio, Linares, Nuevo León. *Sociedad Geológica Mexicana*, 67(3), 387–400.
- Chacón, E., (2010). Microbial Mats as a Source of Biosignatures. *Microbial Mats: modern and ancient microorganisms in stratified systems* (149–181). New York: Springer.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2010). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 16º período de sesiones, celebrado en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010. FCCC (Vol. 60553).
- Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/spa/07a01s.pdf#page=2>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2010). *Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Aguascalientes*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Aguascalientes.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2016a). *Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Campeche*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Campeche.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2013a). *Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Chiapas*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Chiapas.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2015a). *Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Chihuahua*. México:

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Chihuahua.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2015b). Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Guanajuato. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Guanajuato.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2019). Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Hidalgo. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Hidalgo.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2017). Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Jalisco. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Jalisco.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2007). Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Michoacán. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Michoacán.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2003). Estrategia Estatal sobre la Biodiversidad del Estado de Morelos. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Morelos.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2018). Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Oaxaca. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Oaxaca.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2013b). Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Puebla. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Puebla.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2013c). Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Veracruz. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Veracruz.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2016b). Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México (ENBioMex) y Plan de Acción 2016 - 2030. México: CONABIO.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2019b). Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/gap/images/4/4f/6_Sistema_Lagunar_Ojo_Liebre_Guerrero_Ne

[gro_Manuela.pdf](#)

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2019c). Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_048.html
- Conserjería del Medio Ambiente y Territorio, J. de A. (2015). Valores ambientales de la zona especial de conservación Laguna Honda (ES6160001). España. Unión Europea, fondo europeo agrícola de desarrollo rural.
- Contreras, M., & Farias, M. (2017). Guía para la Conservación y Seguimiento de Ecosistemas Microbianos Extremófilos: Tapetes Microbianos, Microbialitos y Endoevaporitas. Chile. F. Lorzundi disponible en: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25148.95363>
- Cordera, R., & Provencio, E. (2018). Propuesta para el Desarrollo 2019-2024 (primera). (E. Graue, Ed.). México: Coordinación de Humanidades Programa Universitario de Estudios del Desarrollo.
- Cortés-López, N., Montor-Antonio, J., Olvera-Carranza, C., Peña-Castro, J., & Del Moral-Ventura, S. (2014). Metagenómica: una ventana de oportunidad a nuevos genes y genomas microbianos. Revista Iberoamericana de Ciencias, 1(7), 45–58. Retrieved from www.reibci.org
- Demergasso, C., Chong, G., Galleguillos, P., Escudero, L., Martínez-Alonso, M., & Esteve, I. (2003). Tapetes microbianos del Salar de Lllamará, norte de Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 76(3), 485–499. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2003000300012>
- Des Marais, D. J. (2003). Biogeochemistry of hypersaline microbial mats illustrates the dynamics of modern microbial ecosystems and the early evolution of the biosphere. Biological Bulletin, 204(2), 160–167. <https://doi.org/10.2307/1543552>
- Diez, E. R. (2011). Política por evidencia: la información en los procesos de toma de decisiones en los proyectos sociales. Herramientas para el diseño de proyectos sociales (25–35). España: Universidad de la Rioja.
- Diario Oficial de la Federación (1989) CE-CCA-001/89 Criterios ecológicos de la calidad del agua. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 13 de diciembre de 1989
- Diario Oficial de la Federación (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 18 de enero de 1996. disponible en: http://dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4866379&fecha=18/01/1996&cod_diari

[o=208921](#)

- Diario Oficial de la Federación (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 6 de enero de 1997. disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997
- Espejel, I., Ortiz-lozano, L., & Olivera-Vázquez, L. (2017). Legal protection of ecosystem services provided by Marine Protected Areas in Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 138, 101–110. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.01.017>
- Espinosa, J., Revah, S., & Le Borgne, S. (2010). Rutas metabólicas de oxidación del azufre en bacterias quimiolitotróficas, relevancia ambiental y biotecnología. *Mensaje Bioquímico*, XXXIV, 101–120.
- Farías, M., & Contreras, M. (2013). Ecosistemas microbianos asociados a humedales altoandinos: ¿Nuevo patrimonio de la humanidad? *Bitácora Ecológica*, 1(1), 7–12.
- Flores-Crespo, P. (2013). El enfoque de la política basado en la evidencia: Análisis de su utilidad para la educación de México. 18, 56, 265–290. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14025581012>
- Franks, J., & Stolz, J. F. (2009). Flat laminated microbial mat communities. *Earth-Science Reviews*, 96(3), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.004>
- Garduño, T. (2009). Guía Técnica para elaborar o actualizar Lineamientos Guía Técnica para Elaborar o Aprobación del Documento Control de Revisiones. México, México: Profeco
- Gerdes, G. (2010). “What are Microbial mats?” *Microbial Mats Modern and Ancient Microorganisms in Stratified Systems* (3–25). New York: Springer.
- Giraldo, M. (2012). Aislamiento y caracterización de microalgas formadoras de tapetes microbianos asociados a un cultivo hidropónico de plantas halófitas Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Gran Canaria, España.: Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Disponible en: http://acceda.ulpgc.es/bitstream/10553/6792/4/0654092_00000_0000.pdf
- González Zuarth, C. A., Vallarino, A., Pérez Jiménez, J. C., & Low Pfeng, A. M. (2014). Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental. *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental (primera)*. México: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Grupo Banco Mundial, IIEG - Jalisco, I. (2016). La toma de decisiones basada en evidencia y la

- cooperación del Banco Mundial. Jalisco: INEGI.
- Guamán, M., & González, N. (2016). Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador. Ecuador: Corporación para la investigación Energética.
- Guerrero, R., Piqueras, M., & Berlanga, M. (2002a). Microbial mats and the search for minimal ecosystems. *International Microbiology*, 5(4), 177–188. <https://doi.org/10.1007/s10123-002-0094-8>
- Heink, U., & Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10(3), 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
- Hurst, C., Crawford, R., Garland, J., Lipson, D., (2007). *Manual of Environmental Microbiology*, Third Edition. USA: Board
- López-Cortés, A., & De-Bashan, L. (2015). La Investigación en Microbiología Ambiental en Baja California: Importancia y Usos. *Recursos Naturales y Sociedad*, 1(7), 83–98. <https://doi.org/10.18846/RENAYSOC.2015.01.01.01.0007>
- López-Hernández, A., García-Estrada, G., Aguirre-Díaz, G., González-Partida, E., Palma-Guzmán, H., & Quijano-León, J. L. (2009). Hydrothermal activity in the Tulancingo-Acocalco Caldera Complex, central Mexico: Exploratory studies. *Geothermics*, 38(3), 279–293. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2009.05.001>
- Martínez-Alonso, M., & Gaju, N. (2005). El papel de los tapetes microbianos en la biorrecuperación de zonas litorales sometidas a la contaminación por vertidos de petróleo. *Ecosistemas*, 14(2), 79–91. <https://doi.org/10.7818/re.2014.14-2.00>
- Millach, L., Solé, A., & Esteve, I. (2015). Role of *Geitlerinema* sp . DE2011 and *Scenedesmus* sp . DE2009 as Bioindicators and Immobilizers of Chromium in a Contaminated Natural Environment. *BioMed Research International*, 2015, 11.
- Navarro, P. K. (2016). Promueve Soma protección a sitios de interés astrobiológico. Agencia Informativa Conacyt, 2016, 1–3. Disponible en: https://www.mendeley.com/research-papers/promueve-soma-protección-sitios-astrobiológico/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B92c72598-bda7-422b-9ff1-bdd06ac2e787%7D
- Nies, D. (2000). Heavy metal-resistant bacteria as extremophiles: Molecular physiology and

- biotechnological use of *Ralstonia* sp. CH34. *Extremophiles*, 4(2), 77–82.
<https://doi.org/10.1007/s007920050140>
- Noss, R. F., Carroll, C., Vance-Borland, K., & Wuerthner, G. (2002). A multicriteria assessment of the irreplaceability and vulnerability of sites in the Greater Yellowstone Ecosystem. *Conservation Biology*, 16(4), 895–908.
- Organización Meteorológica Mundial-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2017). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Disponible en http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- Organización de las Naciones Unidas (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica. Organización de las Naciones Unidas, 30.
- Ortiz, S., & Ortega, A. (2016). Benthic organisms as bioindicators of oceans ecological health. *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*.(173-192) México: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Park, Y., Ward, D., Bateson, M., Ferris, M., Ku, M., Wieland, A., Cohan, F. (2014). Cyanobacterial ecotypes in the microbial mat community of Mushroom Spring (Yellowstone National Park , Wyoming) as species-like units linking microbial community composition , structure and function, *Philosophical transactions of the royal society*, 361, 1997-2008.
- Paterson, D., Aspden, R., & Reid, R. (2010). *Biodynamics of Modern Marine Stromatolites. Microbial Mats Modern and Ancient Microorganisms in Stratified Systems* (225–235). London: Springer
- Peiffer, L., Bernard-Romero, R., Mazot, A., Taran, Y. A., Guevara, M., & Santoyo, E. (2014). Fluid geochemistry and soil gas fluxes (CO₂-CH₄-H₂S) at a promissory Hot Dry Rock Geothermal System: The Acoculco caldera, Mexico. *Volcanology and Geothermal Research*, 284(7), 122–137.
- Pepper, I., Gerba, C., & Gentry, T. (2007). *Environmental Microbiology*. San Diego, USA: ELSEVIER.
- Pinilla, R. (2006). Política basada en evidencia para la renovación del Estado del bienestar. XIII Encuentro de Economía Pública. España: Ministerio de administraciones públicas. Disponible en: ISBN 84-8240-795-3, pág. 86.
- Prieto-Barajas, C., Valencia-Cantero, E., & Santoyo, G. (2018). Microbial mat ecosystems:

- Structure types, functional diversity, and biotechnological application. *Electronic Journal of Biotechnology*, 31, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.11.001>
- Quinto, A., Santoyo, E., Torres, V., Gonzalez, E., & Castillo, D. (1995). Environmental geochemical study of the natural effluents of the Acoculco geothermal region, Puebla. *Ingeniería Hidráulica En México*, 10(3), 21–27.
- Ramírez, N., Serrano, J., & Sandoval, H. (2006). Microorganismos Extremófilos. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(3), 56–71.
- Schmitter-Soto, J. (2014). Los índices bióticos de integridad en el monitoreo ambiental. *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*.(61–78). México: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Seckbach, J. & Oren, A. (2010). *Microbial Mats: Modern and ancient microorganisms in stratified systems*. New York: Springer.
- Sosa, J. (2015). *Democracia, descentralización y cambio en las administraciones públicas de México (1982-2010)*. España: Universidad Complutense de Madrid. <https://doi.org/ISBN:978-84-693-1123-3>
- Souza, V., Espinosa-Asuar, L., Escalante, A., Eguiarte, L., Farmer, J., Forney, L., Elser, J. (2006). An endangered oasis of aquatic microbial biodiversity in the Chihuahuan desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(17), 6565–6570. <https://doi.org/10.1073/pnas.0601434103>
- Souza, Valeria, Pajares, S., & Eguiarte, L. E. (2014). Ecología y evolución de bacterias, tapetes microbianos y estromatolitos: su relevancia en la historia *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*.(107-126). México: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Sutcliffe, S. (2006). *Herramientas para Diseñadores de Políticas Públicas en Países en desarrollo*. Programa de Investigación y Políticas en Desarrollo. Londres: Instituto de Desarrollo en Países Extranjeros. Disponible en: ISBN 0 85003 786 7%0A©
- Svancara, L., Brannon J., Scott, M., Groves, C., Noss, R., & Pressey, R. (2005). Policy-driven versus Evidence-based Conservation: A Review of Political Targets and Biological Needs. *BioScience*, 55(11), 989–995. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0989:PVECAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0989:PVECAR]2.0.CO;2)

- Torres, R. (2015). La paradoja de la evidencia científica. Chile: UCLA.
- Vardeh, D. (2016). Microbial assemblages associated with extreme australian enviroments and their biosynthetic potential. Australia: The University of New South Wales.
- Weyrauch, V. (2009). Acercando la investigación a las políticas públicas en América Latina. Argentina: Fundación CIPPEC.
- Wong, H., Ahmed-Cox, A., & Burns, B. (2016). Molecular Ecology of Hypersaline Microbial Mats: Current Insights and New Directions. *Microorganisms*, 4(6), 1–15. <https://doi.org/10.3390/microorganisms4010006>