



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD  
Ciudad de México  
Política, Gobernanza e Instituciones

**Dinámica socioecosistémica y política ambiental en sistemas acuáticos del Nevado de Toluca, Estado de México**

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD

PRESENTA:

Karla Isabel Rivera Ramírez

TUTOR PRINCIPAL

Dra. Angela Piedad Caro Borrero  
Facultad de Ciencias, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Dra. Ma. Fernanda Figueroa Díaz Escobar  
Facultad de Ciencias, UNAM

Dr. Daniel Alfredo Revollo Fernández  
UAM, Azcapotzalco

Dr. Javier Carmona Jiménez  
Facultad de Ciencias, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, SEPTIEMBRE 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Coordinación de Estudios de Posgrado  
Ciencias de la Sostenibilidad  
Oficio: CEP/PCS/865/19  
Asunto: Asignación de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence  
Directora General de Administración Escolar  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Presente

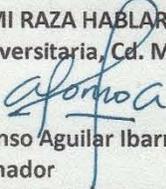
Me permito informar a usted, que el Comité Académico del Programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en su cuadragésimo octava sesión del 11 de junio del 2019, aprobó el jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD**, de la alumna **RIVERA RAMÍREZ KARLA ISABEL** con número de cuenta **310120951** con la tesis titulada "Dinámica socioecosistémica y política ambiental en sistemas acuáticos del Nevado de Toluca, Estado de México", bajo la dirección de la Dra. Angela Piedad Caro Borrero.

PRESIDENTE: DRA. VÉRONIQUE SOPHIE AVILA FOUCAT  
VOCAL: DR. ITZKUAUHTLI BENEDICTO ZAMORA SAENZ  
SECRETARIO: DRA. MARÍA FERNANDA FIGUEROA DÍAZ ESCOBAR  
SUPLENTE 1: DR. JAVIER CARMONA JIMÉNEZ  
SUPLENTE 2: DRA. ANGELA PIEDAD CARO BORRERO

Sin más por el momento me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, Cd. Mx., 26 de agosto de 2019.

  
Dr. Alonso Aguilar Ibarra  
Coordinador  
Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad por permitirme desarrollar mis estudios académicos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca nacional otorgada para realizar mi posgrado.

Al proyecto “Los lagos del Nevado de Toluca, Mexico: Centinelas para la detección y análisis de la vulnerabilidad socio-ecosistémica ante los impactos del cambio climático global” FONSEC-SEMARNAT, por brindar los recursos para generar el trabajo.

Al Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad por permitirme realizar los análisis bacteriológicos.

A las comunidades del Nevado de Toluca por abrirnos las puertas de sus hogares, gracias a ustedes éste trabajo se pudo efectuar.

A mi asesora, la Dra. Angela Piedad Caro Borrero, por impulsar mi crecimiento académico y personal.

A la Dra. María Fernanda Díaz Escobar por su tiempo y dedicación a lo largo de todo el desarrollo de la tesis.

Al Dr. Javier Carmona Jiménez por su apoyo en cada una de las fases del trabajo, por sus valiosos consejos y enseñanzas.

Al Dr. Daniel Revollo Fernández por su orientación en el desarrollo de los análisis del proyecto.

A la Dra. Marisa Mazari Hiriart por su atención y apoyo, es una gran motivación para mí.

A los miembros del jurado, el Dr. Itzkuauhtli Zamora Saenz y la Dra. Sophie Avila Foucat, por sus valiosos comentarios y sugerencias que permitieron mejorar la tesis.

Al Dr. Alonso Aguilar por todo lo aprendido durante sus clases y asesorías.

A la Coordinación del posgrado, especialmente a Ma. José Solares y Angélica Rodríguez por el apoyo y asesoría a lo largo de la maestría.

A Kenia Márquez por el apoyo en cada una de las salidas de campo, tu ayuda fue muy importante para mí.

A Arantza Daw por apoyarme en la generación de los mapas, sin ti no lo hubiera logrado.

A Victor Salinas Camarillo por tu orientación a lo largo de toda la tesis, eres un excelente profesor.

A todo el Laboratorio de Ecosistemas de Ribera por su apoyo en las salidas de campo y en las dificultades que se presentaron en el desarrollo del proyecto.

## **Agradecimientos personales**

A mis padres, por ser el mejor ejemplo de que es posible cumplir metas, sueños y deseos con humildad y respeto.

A mi madre, por cada día que me preparaste para ir a la escuela, que caminaste conmigo y luchaste para que yo tuviera lo mejor, el logro es tuyo.

A mi padre, mi mayor impulso en la vida. Todo lo que soy es gracias a ti, me siento muy orgullosa de ser tu hija y prometo esforzarme para poder ser una excelente persona, como tú.

A mis hermanos: Lili, por ser mi ejemplo de fortaleza y dedicación. Paco, por motivarme a ser mejor cada día y superar las adversidades.

A Daniel, por amarme tal y como soy, por siempre apoyarme y en los malos momentos recordarme que puedo lograr todo lo que me propongo.

A mis abuelitos, Alfa, Beto y Esther, por siempre estar conmigo y amarme tanto. A mi cuñado Agustín por las veces que fuiste por mí cuando salía muy tarde.

A mi tía Caro, por cada uno de sus consejos. Para Ale, Beto y César, porque siempre han estado en el camino.

A Vale, Zoe y Matías, por ser mi motivación para ser la mejor en lo que hago, espero ser un buen ejemplo para ustedes.

A mis primas, Rocío, Mariana, Kary, Mónica y el resto de la familia por su compañía y consejos.

A mi Hawk, por estar en cada noche de desvelo junto a mí y enseñarme que lo más valioso en la vida es tener a un ser que te ama.

A mis compañeras Laura, Abril y Ceci, por acompañarme en este camino, sus consejos fueron muy importantes para mí.

A mis amigos: Victor, Arantza, Kenia, Pablo, Bibi y al resto de integrantes del Laboratorio de Ecosistemas de Ribera, por escucharme día a día, apoyarme en los momentos más críticos y tener siempre un consejo para mí. Sin dejar de lado cada una de las risas, realmente ustedes hicieron de mi posgrado algo bellissimo.

<b>CONTENIDO</b>		<b>Pág</b>
Lista de mapas		vii
Lista de tablas		vii
Lista de figuras		viii
<b>Resumen</b>		ix
<b>1. Introducción</b>		1
<b>2. Planteamiento del problema de investigación</b>		3
<b>3. Marco teórico</b>		5
3.1 El estado ecológico de los ecosistemas acuáticos		5
3.2 El papel de los ecosistemas acuáticos en el contexto rural		8
3.3 Evaluación de instrumentos de política ambiental: Áreas Naturales Protegidas		9
<b>4. Marco analítico</b>		11
<b>5. Preguntas de investigación</b>		13
<b>6. Hipótesis</b>		13
<b>7. Objetivos</b>		13
<b>8. Área de estudio</b>		14
<b>9. Método</b>		18
9.1 Selección de comunidades en el Nevado de Toluca		19
9.2 Evaluación del estado ecológico de los arroyos del Nevado de Toluca		21
9.3 Aplicación de encuestas: actividades económicas, uso de los arroyos y relación de los pobladores con la figura de Área de Protección de Flora y Fauna		25
9.4 Variables asociadas al uso de los arroyos como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca		27
a. Modelo de Regresión Logística		27
9.5 Evaluación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca: la conservación de los ecosistemas acuáticos		37
a. Desglose por problema- Indicadores Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto y Respuesta (FPEIR)		37
b. Concordancia conceptual		38
c. FPEIR por Programa		39
<b>10. Resultados</b>		40
10.1 Evaluación del estado ecológico de los arroyos del Nevado de Toluca		40
a. Caracterización físico-química, hidromorfológica y bacteriológica		40
b. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores		45
c. Algas macroscópicas como bioindicadores		47
10.2 Actividades económicas, uso de los arroyos y relación de los pobladores con la figura de Área de Protección de Flora y Fauna		50
a. Características generales de las comunidades del estudio		50

b.	Abastecimiento de agua, servicio de saneamiento y percepción de cambios en los ecosistemas acuáticos	51
c.	Conocimiento en torno a la figura de Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca	52
10.3	Variables asociadas al uso de los arroyos como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca	54
a.	Modelo de Regresión Logística	54
10.4	Evaluación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca: la conservación de los ecosistemas acuáticos	56
a.	Desglose por problema- Indicadores Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto y Respuesta (FPEIR)	56
b.	Concordancia conceptual	72
c.	FPEIR por Programa	73
	<b>11. Discusión</b>	74
11.1	Evaluación del estado ecológico de los arroyos del Nevado de Toluca	74
a.	Caracterización físico-química, hidromorfológica y bacteriológica	74
b.	Los macroinvertebrados bentónicos y las algas macroscópicas como bioindicadores	75
11.2	Actividades económicas, uso de los arroyos y relación de los pobladores locales con la figura de Área de Protección de Flora y Fauna	78
a.	Percepción de las comunidades respecto al APFFNT	80
b.	El papel de los ecosistemas acuáticos como fuente de agua para consumo humano y el desarrollo de actividades económicas	81
11.3	Variables asociadas al uso de los arroyos como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca	82
11.4	Evaluación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca: la conservación de los ecosistemas acuáticos	83
a.	Cumplimiento de los lineamientos del Área de Protección de Flora y Fauna	85
b.	El problema ecológico y la pertinencia de las Respuestas	88
	<b>12. Conclusiones</b>	91
	<b>13. Referencias</b>	93
	<b>14. Anexos</b>	111
1.	Cálculos para la determinación del tamaño muestral	111
2.	Encuesta aplicada a las comunidades del Nevado de Toluca	112
3.	Revisión del Programa de manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca	121
4.	Actividades permitidas y restringidas por comunidad según la subzonificación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca	125

<b>LISTA DE MAPAS</b>		Pág
<b>Mapa 1.</b> Ubicación geográfica del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca		14
<b>Mapa 2.</b> Localización de las comunidades del estudio en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.		20
<b>Mapa 3.</b> Localización de los sitios evaluados para la determinación del estado ecológico de los ríos en el Nevado de Toluca.		23
<b>LISTA DE TABLAS</b>		Pág
<b>Tabla 1.</b> Características sociales, económicas y biofísicas de las comunidades seleccionadas del Nevado de Toluca		20
<b>Tabla 2.</b> Variables independientes seleccionadas y su influencia para explicar la variable dependiente en la construcción del modelo de regresión logística.		28
<b>Tabla 3.</b> Variables utilizadas para la construcción del modelo de regresión logística para identificar las variables asociadas al uso de los arroyos como principal fuente de agua en los hogares rurales del Nevado de Toluca		35
<b>Tabla 4.</b> Características físicas, químicas, hidromorfológicas y bacteriológicas de los arroyos evaluados en el Nevado de Toluca		43
<b>Tabla 5.</b> Características hidromorfológicas evaluadas en los arroyos del Nevado de Toluca		44
<b>Tabla 6.</b> Síntesis de los resultados de la encuesta aplicada en comunidades del Nevado de Toluca expresados en porcentajes de respuestas positivas		53
<b>Tabla 7.</b> Análisis de Varianza- Uso de los ríos y manantiales como principal fuente de agua y cercanía a cuerpos de agua superficiales		54
<b>Tabla 8.</b> Resultados del modelo econométrico para explicar el uso del agua proveniente de ríos y arroyos como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca		55
<b>Tabla 9.</b> Actividades y acciones establecidas en el Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca relacionadas con la conservación de los ecosistemas acuáticos		61
<b>Tabla 10.</b> Actividades planteadas en los Programas Operativos Anuales (2013-2018) relacionados con la conservación de los ecosistemas acuáticos en el Nevado de Toluca		65
<b>Tabla 11.</b> Acciones efectuadas en el Nevado de Toluca que promueven la conservación de los ecosistemas acuáticos de acuerdo con los Programas Operativos Anuales (2013-2018)		66
<b>Tabla 12.</b> Integración de información en indicadores de Respuesta (R) que muestra las actividades establecidas dentro del programa de manejo del APFFNT para la conservación de los ecosistemas acuáticos y las acciones efectuadas según los Programas Operativos Anuales		68

<b>Tabla 13.</b> Indicadores de impacto derivados de la percepción de los pobladores locales como respuesta a la implementación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca	69
<b>Tabla 14.</b> Indicadores de Presión que reflejan el nivel de cumplimiento de los lineamientos del APFFNT en cada una de las comunidades estudiadas	70
<b>Tabla 15.</b> Indicadores de Estado que reflejan la calidad ecológica de los arroyos estudiados en el APFF del Nevado de Toluca	71
<b>Tabla 16.</b> Resumen del Programa de Manejo del APFFNT. Objetivos, metas y acciones relacionadas con la conservación de los ecosistemas acuáticos	121
<b>Tabla 17.</b> Resumen del Programa de manejo del APFFNT. Zonificación de actividades	125

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
<b>Figura 1.</b> Indicadores de Fuerza Motriz- Presión- Estado-Impacto-Respuesta	12
<b>Figura 2.</b> Integración de los métodos utilizados para describir los vínculos entre el APFFNT, las actividades humanas en el territorio y los ecosistemas acuáticos del Nevado de Toluca	18
<b>Figura 3.</b> Escenarios para la determinación de la coherencia conceptual en la evaluación de políticas.	39
<b>Figura 4.</b> Concentración promedio de nutrientes por sitio de muestreo en arroyos del Nevado de Toluca	41
<b>Figura 5.</b> Concentración de bacterias Coliformes Fecales (CF) y Enterococos Fecales (EF) en los ríos evaluados del Nevado de Toluca	42
<b>Figura 6.</b> Abundancia promedio de macroinvertebrados por sitio de muestreo en arroyos del Nevado de Toluca	46
<b>Figura 7.</b> Proporción de los Grupos Funcionales Alimenticios de macroinvertebrados predominantes en los arroyos del Nevado de Toluca	47
<b>Figura 8.</b> Promedio de cobertura porcentual de algas por sitio de muestreo en los arroyos del Nevado de Toluca	48
<b>Figura 9.</b> Proporción de Grupos Funcionales de las algas macroscópicas de arroyos del Nevado de Toluca	49
<b>Figura 10.</b> Instituciones y actores involucrados en la aplicación de programas de conservación en el Nevado de Toluca	58
<b>Figura 11.</b> Cronología de las estrategias de conservación implementadas en el Nevado de Toluca y sus principales objetivos	60

## **Resumen**

El Nevado de Toluca, ubicado en la porción centro-sur del Estado de México constituye una zona protegida de gran relevancia social y ecológica. Sin embargo, la falta de planeación en las actividades humanas ha generado impactos negativos sobre los ecosistemas, en particular en los ríos y arroyos que sostienen la integridad ecosistémica y el desarrollo humano local. En el año 2013, el gobierno mexicano decretó al Nevado de Toluca como un Área de Protección de Flora y Fauna, con la premisa de que el ordenamiento de las actividades humanas y acciones concretas de conservación, conllevarían a una mejora ecológica de los ecosistemas. Sin embargo, hasta el momento no es claro si ésta decisión realmente ha logrado impactar en la forma en cómo se desarrollan las actividades en el territorio y a la vez, en la conservación de ecosistemas. Para abordar la problemática, el objetivo del estudio fue describir los vínculos entre la implementación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT), las actividades humanas en el territorio y el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos (arroyos de montaña).

Para lo anterior, se efectuaron revisiones del Programa de Manejo del APFFNT y de los Programas Operativos Anuales (2013-2018), para identificar los objetivos y acciones planteadas y efectuadas para la conservación de los sistemas lóticos. Se realizaron evaluaciones del estado ecológico en tres arroyos del Nevado de Toluca, mediante análisis físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos (macroinvertebrados y algas bentónicas). Se levantaron 116 encuestas en comunidades del territorio, dirigidas a reconocer las actividades económicas de las comunidades y el papel de los arroyos como fuente de agua para consumo humano y actividades económicas. Se construyó un modelo de regresión logística para identificar las variables sociales, económicas y biofísicas que influyen en la dependencia de los pobladores con los ríos y arroyos locales. Finalmente, se realizó una evaluación del APFFNT enfocada en el cumplimiento y pertinencia de los objetivos para conservación de los sistemas lóticos, donde se integró la información socioecológica generada en el estudio en indicadores de Fuerza motriz, Presión, Estado, Impacto y Respuesta (FPEIR).

El estado ecológico de los arroyos fue diferente en las zonas evaluadas, el grado de alteración ecológica se relacionó con el impacto de la infraestructura para el abastecimiento hídrico y la intensidad de las actividades turísticas y productivas. Uno de los elementos del ecosistema con mayor afectación fue la vegetación ribereña, que, aunado al aporte de residuos y modificaciones al cauce resultan en una disminución en la calidad y cantidad del agua, así como en cambios en la composición de los indicadores biológicos.

Se identificó que los arroyos constituyen la principal fuente de abastecimiento para la mayor parte de los pobladores, tanto para consumo y uso doméstico, como para el desarrollo de actividades productivas. Entre las variables relacionadas con el uso de los arroyos se identificó que la crianza de ganado, la presencia de cuerpos de agua adyacentes y el papel de las mujeres en las labores de abastecimiento, resultan determinantes para el aprovechamiento de los ecosistemas.

Se describió que la implementación del APFFNT ha tenido poco impacto sobre la regulación de las actividades humanas en el territorio, lo cual se reflejó en la degradación ecológica de los arroyos evaluados. Lo anterior puede deberse de diversos factores, como la falta de integración de los pobladores locales en las decisiones de conservación, la carencia de un programa que contemple las necesidades de los habitantes, así como de la incapacidad institucional, en términos de capital humano y financiero, para llevar a cabo de manera completa las actividades planteadas para el logro de los objetivos de conservación. Además, se identificó una falta de congruencia entre las respuestas gubernamentales y el problema de degradación ecológica, lo cual se asocia a la falta de planeación integral que involucre aspectos para la protección de los ecosistemas lóticos, como el caudal ecológico, la protección al ecosistema ribereño y la prevención de contaminación, tanto por fuentes directas como difusas.

## **1. Introducción**

La situación ambiental en diversas regiones del mundo presenta características de degradación como producto de los patrones de desarrollo que imperan en la actualidad (Rockström *et al.*, 2009; Martínez-Castillo, 2016). Se reconoce que, de no promover la modificación en dichos patrones, ni la corrección en las políticas de acción frente al deterioro ambiental, la vulnerabilidad de las poblaciones humanas y de los ecosistemas será cada vez mayor (Alfie, 2013).

Como consecuencia, en la comunidad internacional existe un interés en mejorar la política ambiental y en sus instrumentos de gestión (Lezama, 2010). Los sectores interesados no se limitan a los políticos e institucionales, sino también a la sociedad civil, los cuales han intervenido a diversas escalas, ya sea mediante acciones en torno al uso de los recursos naturales o por medio de políticas y/o reformas jurídicas (Kaplan, 1998; Hufty, 2008).

Una de las principales intervenciones a nivel mundial ha sido la creación de Áreas Naturales Protegidas (ANP), las cuales se han convertido en el principal instrumento de política para la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad (Leverington *et al.*, 2010; Ruíz Mallén *et al.*, 2015). La Comisión Mundial de Áreas Protegidas (CMAAP) define un ANP como un espacio geográfico definido, reconocido, dedicado y administrado a través de medios legales u otros similarmente efectivos para la conservación de los ecosistemas y de los servicios que presta a las comunidades humanas (Casson *et al.*, 2016).

Siguiendo la tendencia global, en México, el establecimiento de ANP se ha consolidado dentro de la política ambiental desde el siglo XX (García- Frapolli y Toledo, 2008). Los primeros esfuerzos se efectuaron en la región volcánica central del país, donde los bosques fueron blanco de las políticas con el objetivo de asegurar el abastecimiento de agua para los pobladores locales y regionales (Wakild, 2011). Lo anterior justificó la creación de la primer área natural protegida en el país: el Parque Nacional Desierto de los Leones, protegido en el año de 1876 y cuyo propósito original era asegurar la conservación de 14 manantiales que abastecían a las regiones adyacentes y a la Ciudad de México (De la Maza y De la Maza, 2005; CONANP, 2010).

Pese a las acciones de conservación iniciadas en los años ochenta, actualmente se reconoce que en las partes altas y áreas de captación de las cuencas hidrológicas de México se presentan graves problemas de deterioro ecológico de los recursos hídricos, producto de la falta de planeación en las intervenciones humanas (Nava *et al.*, 2013).

Las comunidades humanas que habitan la parte alta de las montañas del país han tenido un desarrollo ligado estrechamente con su localización geográfica y con las limitaciones que imponen los territorios (Anastacio-Martínez *et al.*, 2014). De manera particular, en el Estado de México los pueblos de alta montaña se localizan en torno a las grandes elevaciones de la Faja Volcánica Transmexicana, sobre altitudes que rondan los 3,000 msnm y con climas semifríos (Anastacio-Martínez *et al.*, 2014). El desarrollo de estos poblados depende fuertemente del uso de los recursos naturales locales, particularmente del agua proveniente de ecosistemas acuáticos como los ríos y arroyos, donde el agua se suministra a través de mangueras y canales para el desarrollo de actividades de subsistencia y económicas (Arteaga *et al.*, 2017; Anastacio, 2012). En este sentido, la dependencia de los pobladores hacia los recursos naturales locales los hace más vulnerables a los daños ocasionados por la pérdida y degradación de los recursos hídricos (Jhoda, 1986; Cavendish, 2000).

Pese a que el Estado de México cuenta con un gran número de áreas naturales protegidas de carácter federal y estatal, con cerca del 44% de su territorio bajo protección, la implementación de políticas ambientales para la conservación de los ecosistemas como los acuáticos enfrenta una gran complejidad, ya que actualmente se reconoce que es necesario garantizar la integridad ecosistémica y a la vez, asegurar el cumplimiento del derecho humano al agua y a un ambiente adecuado (GEM, 2014; Arrojo, 2005; CNDH,2015). Justamente, las nuevas investigaciones referidas a las ANP apuntan hacia la necesidad de estructurar programas socialmente justos, ecológicamente sólidos y políticamente factibles, que puedan aplicarse legítimamente mediante acuerdos entre las partes interesadas (Cruz Burga, 2014; Wilshusen *et al.*, 2002).

## 2. Planteamiento del problema de investigación

El Nevado de Toluca (NT), localizado en el Estado de México, es considerado una Región Terrestre Prioritaria debido a su alto valor biológico, de endemismos y paisajístico (Arriaga *et al.*, 2000). El NT, fue protegido bajo decreto presidencial en el año de 1936, mediante la figura de Parque Nacional. Sin embargo, bajo dicho estatus se desarrolló una contradicción entre los preceptos de conservación establecidos por el gobierno federal y las actividades de la población local, la cual, desde su establecimiento en la zona hacen uso de los recursos para sustentar su vida y mejorar sus condiciones económicas (Toscano y Granados, 2015). Lo anterior derivado de que la categoría de Parque Nacional impide la participación de las poblaciones locales en el desarrollo de actividades productivas, por ejemplo, el aprovechamiento forestal y actividades agropecuarias (Lebreton e Imbernon, 2017).

De acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), institución encargada de administrar las ANP en el país (CONANP, 2019), con el objetivo de atender los problemas socioeconómicos del Nevado de Toluca y asegurar la conservación de los ecosistemas bajo un esquema de desarrollo sustentable<sup>1</sup>, en el año 2013 realizó un cambio de categoría de manejo, desarrollándose la transformación de Parque Nacional en Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT). Con lo anterior, se legalizaron diversas actividades económicas desarrolladas por las 54 comunidades agrarias que habitan el territorio, bajo ciertos criterios como la zonificación del ANP, es decir, el ordenamiento del territorio en función del grado de conservación y representatividad de los ecosistemas, la vocación natural, así como de su uso actual y potencial (CONANP, 2016).

Las comunidades rurales del Nevado de Toluca presentan un nivel de marginación alto y muy alto; para ellos, los recursos naturales del área son indispensables para satisfacer sus necesidades de subsistencia y para el desarrollo de diversas actividades económicas (CONANP, 2013). En este sentido, los ecosistemas acuáticos son uno de los elementos más importantes en el APFFNT, por sus funciones ecosistémicas y por ser factor de desarrollo

---

<sup>1</sup> De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, el desarrollo sustentable “es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras” (DOF, 2012).

social. De las montañas del NT descienden 61 arroyos permanentes que aportan a dos de las cuencas hidrográficas más importantes del país, la de Lerma-Santiago y la del Balsas (CONAGUA, 2010). Sin embargo, en dichos ecosistemas se han registrado problemas de deterioro asociados a la contaminación y sobreexplotación de los afluentes, como producto de las actividades humanas desarrolladas en la cuenca, como las prácticas agrícolas y ganaderas, entre otras (CONANP, 2013).

Para atender los problemas de contaminación y disminución del caudal de los cuerpos de agua superficial, en el Programa de Manejo (PM) del APFFNT se establecen diversas estrategias, como el desarrollo de campañas de limpieza de los cuerpos de agua, la regulación de actividades con base en la subzonificación y de manera general, el aprovechamiento sustentable<sup>2</sup> de los recursos hídricos (CONANP, 2013). Sin embargo, hasta el momento no es claro si éstas respuestas gubernamentales realmente han logrado impactar en la forma en que se desarrollan las actividades humanas en el territorio y a la vez, en la mejora ecológica de los ecosistemas acuáticos.

Con el propósito de abordar la problemática, éste estudio evaluó la pertinencia y el grado de cumplimiento de los objetivos planteados por el APFFNT, desde la perspectiva ecológica y la percepción de los pobladores locales. Para lo cual fue necesaria la caracterización ecológica de arroyos del Nevado de Toluca, de las actividades humanas desarrolladas en el territorio y el análisis de la congruencia entre éstas y la regulación planteada en el PM. Lo anterior con la finalidad de proporcionar herramientas que permitan la detección de fallas y debilidades en las estrategias actuales de conservación y regulación que facilite la mejora de los instrumentos de planeación.

Por otro lado, una de las críticas más sobresalientes al modelo de conservación adoptado por la CONANP es que el ordenamiento de actividades comúnmente no contempla los rasgos y necesidades de los pobladores locales (Riemman *et al.*, 2011), que, como en el caso del Nevado de Toluca dependen fuertemente de los recursos naturales locales. Por lo anterior, para el caso específico de los ecosistemas lóticos, el estudio propone la identificación del

---

<sup>2</sup> El aprovechamiento sustentable es: “la utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, por periodos indefinidos” (DOF,2012).

papel de los ríos y arroyos del área como fuente de agua para los pobladores, así como los elementos sociales, económicos y biofísicos relacionados con la dependencia<sup>3</sup> de los pobladores con ecosistemas acuáticos. La detección de estos elementos es fundamental para dimensionar el impacto de las restricciones en el uso de los recursos sobre las condiciones de vida de los pobladores e identificar oportunidades para abordar el problema de degradación del estado ecológico de los ecosistemas del Nevado de Toluca.

### **3. Marco teórico**

El territorio que comprende el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca se considera un socioecosistema<sup>4</sup>, partiendo de que es un sistema ecológico en el cual ocurren diversas dinámicas sociales, económicas y políticas que determinan el estado de conservación de los recursos naturales, como los ríos y arroyos. A continuación, se desarrollan los conceptos teóricos que permiten analizar los vínculos entre los instrumentos de política ambiental como las Áreas Naturales Protegidas, las actividades y necesidades de la población que habita el territorio en protección y el estado ecológico de los ecosistemas.

#### **3.1 El estado ecológico de los ecosistemas acuáticos**

El deterioro creciente de los ecosistemas acuáticos continentales como los ríos y lagos hacen necesario el desarrollo de sistemas y métodos que permitan conocer su grado de alteración, producto de causas naturales y/o antrópicas (Pérez-Munguía *et al.*, 2007). Una de las aproximaciones más utilizadas es mediante la determinación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos (DMA, 2000). El Estado Ecológico (EE) puede entenderse como una expresión de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, y es evaluado en función de una serie de indicadores biológicos que son resultado de las condiciones físicas, químicas e hidromorfológicas en el ecosistema, las cuales, a su vez, están relacionadas con las

---

<sup>3</sup> En el estudio la dependencia a los ecosistemas acuáticos se entiende como el uso de los ríos y arroyos del Nevado de Toluca como principal fuente de agua para consumo humano y el desarrollo de actividades económicas.

<sup>4</sup> El enfoque de socioecosistema reconoce que los componentes y los procesos humanos y biofísicos están fuertemente vinculados y deben considerarse como sistemas acoplados (Liu *et al.*, 2007).

características naturales de la cuenca y la influencia de las actividades humanas (Sánchez-Montoya *et al.*, 2009; Mendoza-Cariño *et al.*, 2014).

En este sentido, las actividades humanas pueden tener impactos negativos directos e indirectos sobre los ríos (Herzig *et al.*, 2007). Entre los principales impactos directos que afectan la integridad ecológica sobresale la sobreexplotación del agua, la desviación, el represamiento o el agotamiento total del caudal, así como aquellos vinculados con la calidad del agua, como la descarga de aguas grises y negras y el aporte de residuos sólidos a los cauces (Nilsson *et al.*, 2005; Jones *et al.* 2000). Los impactos indirectos están relacionados con uso y manejo de las cuencas hidrográficas, como los procesos de cambio en el uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios y urbanos, el uso de agroquímicos en las prácticas agrícolas y el aumento en la demanda de agua como producto del crecimiento demográfico, que, como consecuencia, afectan negativamente la cantidad y la calidad de agua (Rosenberg *et al.* 2000).

Para la determinación de la calidad del agua se utilizan diversos parámetros físicoquímicos, como la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, los sólidos disueltos totales, la velocidad de corriente, la descarga del río, además de la concentración de nutrientes disueltos como el nitrógeno y el fósforo (DOF, 1997; DOF, 2000). Aunado a las características físicoquímicas, los análisis microbiológicos proveen información útil y complementaria sobre el origen de la contaminación. Las bacterias son uno de los grupos de microorganismos más utilizados como indicadores de la presencia de patógenos que transmiten enfermedades infecciosas, entre los análisis más recurridos se encuentra la detección de coliformes fecales (CF) y de enterococos fecales (EF), ya que su presencia en el agua da indicios de contaminación por heces fecales (Tchobanoglous y Schroeder, 1985; Madigan *et al.*, 2009).

Además del análisis de la calidad del agua, para las evaluaciones del estado ecológico se requiere el estudio de diversos elementos del ecosistema, como de la zona ribereña, la cual se define como el área de transición entre un río y un ecosistema terrestre adyacente, que incluye el canal del río y la llanura de inundación. La interacción entre los ecosistemas acuáticos y terrestres influye en el microclima, en la entrada y ciclaje de nutrientes, en la retención de sedimentos y es un componente importante del hábitat para el desarrollo y

refugio de muchos organismos (Gregory *et al.*, 1991; Barbour *et al.*, 1999). Por lo tanto, el ecosistema de ribera es un elemento esencial para el correcto funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

Otro componente importante dentro del marco de la evaluación ecológica es la validación de los resultados a través del uso de bioindicadores, es decir, organismos biológicos cuya presencia y abundancia dan indicios de las condiciones en el ecosistema, en un periodo de tiempo más amplio que los parámetros fisicoquímicos (González *et al.*, 2014). Uno de los grupos más utilizados son los macroinvertebrados bentónicos (Duan *et al.*, 2011). Estos organismos son útiles para evaluar las condiciones ambientales dado que responden a una amplia gama de factores ecológicos estresantes, son muy sensibles a contaminantes de origen orgánico, tienen una distribución cosmopolita y su muestreo e identificación son relativamente económicos y sencillos (Merlo, 2014; Duan *et al.*, 2011).

Las algas macroscópicas bentónicas son otro de los grupos biológicos considerados, ya que tienen una gran capacidad para responder a cambios ambientales, principalmente mediante estrategias reproductivas y estructuras especializadas que les permiten sobrevivir en condiciones limitantes (Allan, 1995; Bojorge y Cantoral, 2016). Este grupo biológico exhibe rangos específicos de tolerancia para las diferentes variables ambientales, por lo que un hábitat específico presentará el establecimiento y dominancia de aquellas comunidades cuyas condiciones ambientales sean propicias para su desarrollo (Omori e Ikedo, 1984; Peña *et al.*, 2005).

### 3.2 El papel de los ecosistemas acuáticos en el contexto rural

En la comunidad académica hay un incremento en el interés por comprender cómo los hogares rurales en los países en vías de desarrollo dependen de los servicios proporcionados por los ecosistemas (Cavendish, 2000; Shackleton y Shakleton, 2006; Thondhlana y Muchapodwa, 2014). Lo anterior parte de la premisa de que las investigaciones en torno a la dependencia pueden facilitar una mejor planificación de las políticas ambientales al conocer el efecto de la restricción en el acceso y uso de los ecosistemas sobre los medios de vida<sup>5</sup> de los pobladores, así como la prevención de tensiones inducidos por la degradación ecológica, principalmente en situaciones de alta pobreza (Fisher, 2004; Mamo *et al.*, 2007; Babigumira *et al.*, 2014; Nguyen *et al.*, 2015).

Diversos estudios evidencian que los hogares pobres son más dependientes de los recursos naturales, de manera que son más vulnerables<sup>6</sup> a la pérdida y degradación de los ecosistemas (Jhoda, 1986; Cavendish, 2000). Respecto a los ecosistemas acuáticos, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, 180 millones de personas en el mundo usan ríos, arroyos, estanques o lagos como fuentes para satisfacer sus necesidades diarias (Naciones Unidas, 2013).

En México, la prestación de servicios de agua y saneamiento de calidad en zonas rurales de manera continua y suficiente se dificulta por las características propias de cada comunidad, situación geográfica o por la falta de capacidades técnicas y económicas para gestionar los recursos (Reyna, 2011). En este sentido, en las zonas rurales del país se padecen las condiciones más críticas de pobreza (más del 50% de la población en pobreza extrema vive en localidades rurales), mayor marginación y mayores dificultades de accesibilidad a bienes y servicios (FAO, 2018; Ávila-Foucat, 2014).

---

<sup>5</sup> Los medios de vida hacen referencia a las capacidades, bienes y actividades desarrolladas para vivir (Chambers y Conway, 1992).

<sup>6</sup> La vulnerabilidad puede ser entendida como el proceso por el cual la población humana y los ecosistemas están sujetos al riesgo de sufrir daños o amenazas ocasionadas por factores bio-físicos y sociales (Ávila- García, 2008).

Derivado de estas características, muchas de las actividades en zonas rurales se desarrollan gracias a la presencia de cuerpos de agua locales, como los ríos y arroyos, ya sea a través de la provisión de agua para llevar a cabo actividades productivas, como la crianza de animales y la agricultura, así como para la subsistencia de los hogares mediante su uso para consumo humano y actividades domésticas (Aguilar, 2010).

### **3.3 Evaluación de instrumentos de política ambiental: Áreas Naturales Protegidas**

Las políticas públicas, entendidas como “lo público y sus problemas” (Dewey, 1927), conforman un campo que suele definirse por áreas o sectores, como la salud, el transporte, la educación, la vivienda, la planeación urbana y el ambiente (Parsons, 2007).

La evaluación de políticas públicas como lo plantea Rossi y Freeman (1993) “*es la aplicación sistemática de los procedimientos de la investigación social para valorar la conceptualización, el diseño, la ejecución y la utilidad de los programas de intervención social*”. De manera general, consiste en poner a prueba si una política o programa de acción han sido capaces de provocar los efectos esperados planteados en sus objetivos (Cardozo-Brum *et al.*, 2006), ya sea mediante el análisis de los resultados e impactos o a través de la evaluación de los instrumentos de política como los programas y planes, mismos que definen con precisión los objetivos operativos, los medios para alcanzarlos y las acciones a realizar en determinado tiempo y espacio (Oñate *et al.*, 2002).

Existen diversos tipos de evaluación de políticas públicas, dependiendo de quién es el evaluador, cuál es la función de la evaluación, el contenido que se va a evaluar y el ámbito temporal (Parsons, 2007). El proceso de las políticas públicas comúnmente se analiza mediante el enfoque de desglose por “etapas”, de modo que la evaluación puede tener su actuar en cada una de éstas: en las primeras etapas del proceso se identifica y define el problema, se reconocen y evalúan las respuestas, así como de las soluciones alternas, esta fase corresponde al diseño de las políticas o evaluación *ex ante*, es decir, previa a la implementación de la política. Una vez ejecutada la política se busca el análisis del “*grado en el que se están implementando y las condiciones que promueven una implementación exitosa*” (Palumbo 1987), conocida como fase formativa, evaluación intermedia o

*concomitante*. Finalmente, cuando la política muestra resultados, se busca medir la manera en que la política/el programa ha impactado en el problema que se pretendía resolver, esta última fase se conoce como acumulativa o evaluación *ex post* (Parsons, 2007).

En México, en el año 2004 con la creación del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), se formalizó la obligatoriedad de la evaluación de las Políticas y Programas de Desarrollo social ejecutadas por dependencias públicas (Pérez Campuzano *et al.*, 2012; Bobadilla *et al.*, 2013).

Específicamente para el sector ambiental, en el país se tiene poca experiencia en la evaluación de instrumentos, además de que los métodos empleados son muy diversos y predomina el marco lógico, donde la eficacia (grado en el que se alcanzan los objetivos) y eficiencia (a qué costes se alcanzan los objetivos) de los programas son base. Bajo el esquema lógico el cumplimiento de determinados indicadores es prioridad, lo cual limita una visión integral de la evaluación, impidiendo el análisis de detonantes y de la pertinencia de las respuestas gubernamentales (Bobadilla *et al.*, 2013; Ávila-Foucat *et al.*, 2009; CONANP, 2010).

Para el caso de las Áreas Naturales Protegidas, en el año 2001 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la CONANP, creó el Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación (SIMEC), cuyo objetivo general fue: “*Contar con un sistema que incorpore indicadores biológicos, geográficos y sociales que permita dar a conocer los resultados sobre la efectividad e impacto en la aplicación de políticas públicas en las áreas naturales protegidas*”(CONANP, 2010). En este sentido, gran parte de las evaluaciones realizadas en torno a las ANP han estado enfocadas en medir su efectividad, considerada como el conjunto de acciones que, basadas en aptitudes, capacidades y competencias, permiten cumplir satisfactoriamente la función para la cual fue creada el ANP (Figuroa y Sánchez-Cordero, 2008; Román-Cuesta y Martínez-Vilalta 2006; Sánchez-Cordero *et al.*, 2007; Cifuentes *et al.*, 2000; Izurrieta, 1997).

Bobadilla *et al.*, (2013) plantean que para poder evaluar de manera integral los instrumentos de política ambiental se requiere de esquemas metodológicos en etapas que permitan evaluar el proceso de las políticas. En el caso de los Programas de Manejo de Áreas Naturales Protegidas se requiere evaluar desde el diseño del instrumento, como de su implementación

y de los resultados e impactos, no sólo desde el punto de vista administrativo, sino también ecológico y social como un conjunto.

#### **4. Marco analítico**

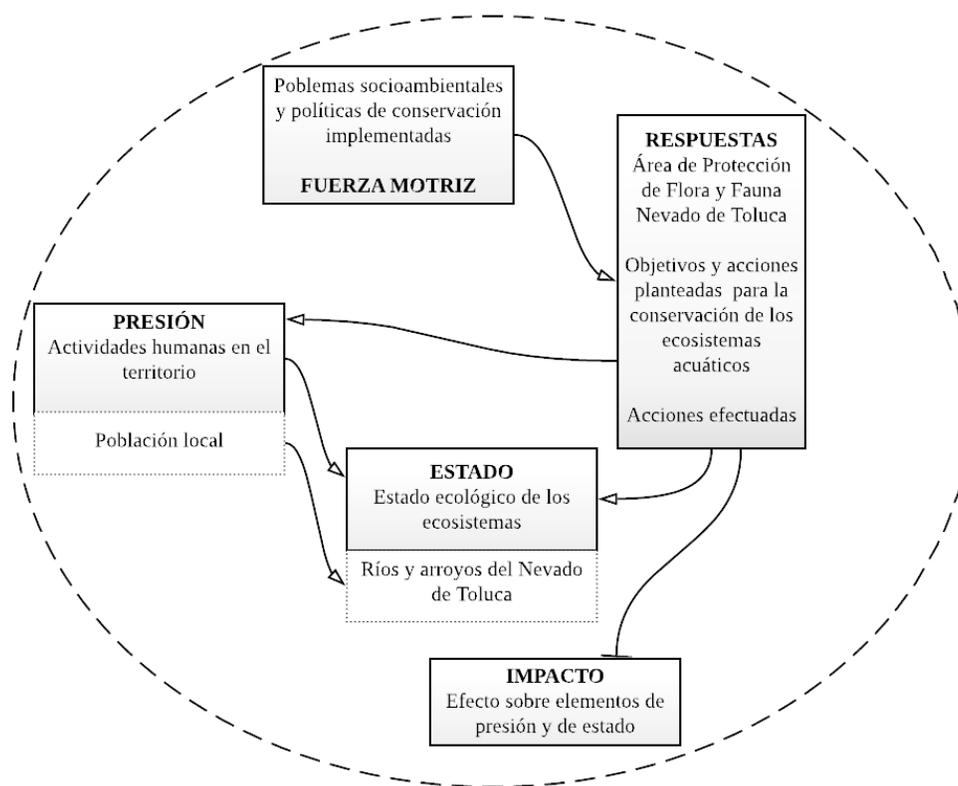
Para poder comprender los vínculos entre las políticas ambientales, las características socioeconómicas y el estado ecológico de los ecosistemas es indispensable su análisis bajo enfoques de investigación holísticos. Lo anterior permite comprender la complejidad de las relaciones entre elementos sociales, económicos y ecológicos como un conjunto (Cumming *et al.*, 2013).

En el estudio se utilizó el esquema Fuerza Motriz-Presión-Impacto-Estado-Respuesta (FPEIR) como marco analítico dado su uso a nivel internacional para estructurar la complejidad ambiental y por su pertinencia para evaluaciones de políticas del sector ambiental (Gregory *et al.*, 2013; Lewison *et al.*, 2016; Bobadilla *et al.*, 2013).

En el año de 1993, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) diseñó el modelo de Presión- Estado- Respuesta (PER) el cual se centraba en la identificación de las presiones que las actividades humanas producen sobre el territorio y alteran el estado del ambiente, para lo cual la sociedad responde a través de acciones, como las políticas públicas ambientales (Respuestas) (Sun *et al.*, 2017; Bobadilla *et al.*, 2013).

En sus inicios, el modelo PER se basó en la sostenibilidad fuerte, por lo que estaba centrado en el ambiente, aunque posteriormente adquirió un carácter multidimensional (Plasencia-Soler *et al.*, 2018). Por ejemplo, la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), en 1998, complejizó el modelo PER al separar las presiones externas como fuerzas motrices y subdividió la intensidad del cambio del estado en lo que se denominó impactos. Con lo anterior, el modelo se transformó en Fuerza motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR), que busca identificar las fuerzas motrices que motivan a las actividades que causan presión sobre los ecosistemas. Ésta presión se expresa en modificaciones en el estado ecológico de los ecosistemas, la cual, si se intensifican pasa a ser un impacto que se refleja en problemas socioecológicos. Para eliminar, minimizar, controlar o evitar dichos impactos la sociedad implementa respuestas, como las políticas ambientales (Bobadilla *et al.*, 2013).

Para este estudio se desarrollaron los indicadores FPEIR con el objetivo de caracterizar los vínculos entre la implementación del APFFNT, las actividades de las comunidades locales y el estado ecológico de los arroyos del Nevado de Toluca. El marco FPEIR se adaptó siguiendo el esquema de evaluación para instrumentos de política ambiental de Bobadilla y colaboradores (2013). Bajo el esquema se plantea al Área de Protección de Flora y Fauna como la respuesta (R) al problema de degradación de los ecosistemas, misma que puede tener impactos (I), ya sea sobre las presiones que están siendo factor para el deterioro de los ecosistemas (actividades humanas), por ejemplo, mediante la regulación de las actividades económicas en el territorio o interviniendo directamente sobre el estado ecológico (E), mediante acciones de restauración, protección o conservación. La fuerza motriz se concibe como el contexto histórico o “memoria del problema” de degradación ecológica y de las estrategias planteadas para su resolución, previas a la implementación del APFFNT (Figura 1).



**Figura 1.** Indicadores de Fuerza Motriz- Presión- Estado-Impacto-Respuesta para la caracterización de los vínculos entre el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, las actividades humanas y el estado ecológico de los arroyos del Nevado de Toluca. Fuente: elaboración propia con base en Bobadilla *et al.*, 2013.

## **5. Preguntas de investigación**

Las preguntas de investigación que guiaron el presente trabajo son las siguientes:

¿Cuál es el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos en el Nevado de Toluca?, ¿Qué papel juegan los ecosistemas acuáticos como fuente de agua para consumo humano y el desarrollo de actividades económicas?, ¿Qué variables influyen en la dependencia de los pobladores con los cuerpos de agua superficial?, y, ¿En qué medida se cumple la regulación de actividades humanas y los objetivos para la conservación de los ecosistemas acuáticos establecidos en el Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca?

## **6. Hipótesis**

La implementación del Área de Protección de Flora y Fauna en el Nevado de Toluca permitió el desarrollo de actividades humanas bajo regulación, reflejado en prácticas congruentes con la normativa establecida en el Programa de Manejo del área protegida, y, a su vez, en el buen estado ecológico de los ecosistemas acuáticos asociados a poblaciones rurales.

## **7. Objetivos**

### **General:**

Describir los vínculos entre la implementación del Área de Protección de Flora y Fauna, las actividades humanas y el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos del Nevado de Toluca.

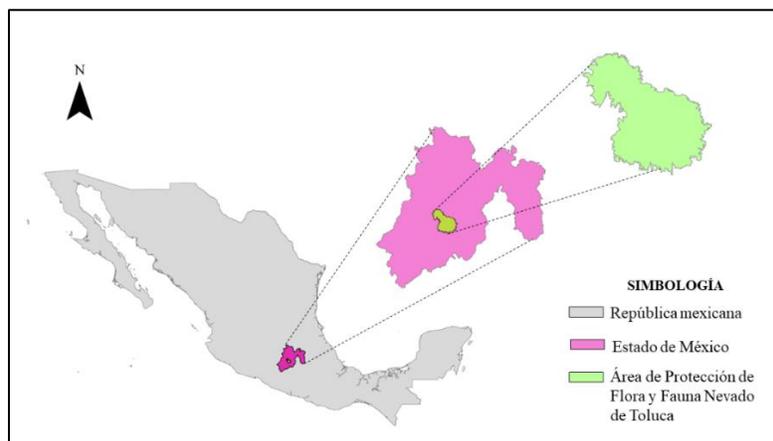
### **Específicos:**

- ❖ Validar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos del Nevado de Toluca mediante indicadores biológicos e hidromorfológicos.
- ❖ Caracterizar el papel de los ecosistemas acuáticos como fuente de agua para consumo humano y el desarrollo de actividades económicas en el Nevado de Toluca, así como las variables asociadas a su uso como fuente principal de agua.

- ❖ Analizar las estrategias relacionadas con la conservación de los ecosistemas acuáticos del Nevado de Toluca planteadas en el Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.
- ❖ Comparar las prácticas desarrolladas por pobladores locales con las actividades permitidas de acuerdo con la subzonificación establecida en el Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.

## 8. Área de estudio

Ubicada en la Faja Volcánica Transmexicana, el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) se localiza en la porción centro-sur del Estado de México (Mapa 1), a 23 Km al suroeste de la ciudad de Toluca y abarca una superficie de aproximadamente 53 mil ha (CONANP, 2016). El APFFNT está constituida por dos volcanes, el Volcán de San Antonio o “Piedra Ahumada”, ubicado en el extremo noroeste; y el cuerpo principal del Nevado de Toluca, un estratovolcán con una edad de 2.6 millones de años, el cual ocupa el cuarto lugar entre las cumbres más altas del país, con una elevación de 4,680 m.s.n.m. (CONANP, 2016). Dentro del cráter del Nevado de Toluca existen dos lagos conocidos localmente como lagunas del Sol y de la Luna, que se forman por la acumulación del agua de lluvia o de deshielo, y que presentan una temperatura que oscila entre 2 y 7 °C (CONANP,2016).



**Mapa 1.** Ubicación geográfica del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.

Fuente: Elaboración propia con base en CONANP (2016).

## **Suelos**

El tipo de suelo predominante en el APFFNT es el andosol, el cual se encuentra en cerca del 90% del Área Natural Protegida, así como feozom, regosol y litosol, producto de la presencia de rocas ígneas extrusivas del Terciario-Cuaternario.

Los andosoles son el tipo de suelo más importante y se caracteriza por derivarse de cenizas volcánicas recientes, ricas en alofanos en un clima semi-frío subhúmedo. Esta relación, aunada a la precipitación, genera un pH ácido que permite tener una alta capacidad de intercambio catiónico y una baja saturación de bases, facilitando la retención de agua y nutrientes para el desarrollo de vegetación de pino-encino, que proporciona, a su vez, abundante materia orgánica (Vilchis, 2006).

## **Clima**

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, en el APFFNT, de los 3,000 a los 3,400 m.s.n.m el clima es templado semifrío con lluvias en verano, la temperatura media anual oscila entre 4 y 12°C, y la máxima se presenta en los meses de abril y mayo, mientras que mínima, en los meses de enero y diciembre (8 y 9° C). Más allá de los 4,000 msnm el clima es frío con temperaturas máximas entre 5 y 6°C y mínimas en diciembre con valores de entre 2 y 3°C (Olvera y Pichardo, 2017).

Respecto al régimen de lluvias, registran valores de 850 a 1,159 mm/m<sup>2</sup>. La proporción de la cuenca del río Lerma presenta precipitaciones de 850 a 1000 mm/m<sup>2</sup>, mientras que la porción de la cuenca del Balsas se registra de 1,000 a 1,100 mm/m<sup>2</sup>. La temporada de lluvias abarca de mayo a octubre, con julio como el mes más lluvioso (Olvera y Pichardo, 2017).

## **Microcuencas**

El área protegida es parteaguas de dos importantes cuencas hidrológicas (Valdez, 2005): al norte, la cuenca del río Lerma y al Sur, la cuenca del Río Balsas. De tal forma que en la primera se ubican cinco subcuencas tributarias: Río Almoloya, Río Tejalpa-San Pedro Terrerillos, Río Verdiguél-Cano; Río Agua Bendita y Río Las Cruces, que, en conjunto aportan una superficie de 24,515 ha (45.8%). Mientras que en la cara del Balsas se ubican siete subcuencas: Río San Jerónimo, Río Calderón, Río Colorado, Río Las Flores, Río La Comunidad, Río Molino-Los Hoyos y Río Amanalco, con una superficie de 28,662.8 ha

(53.4%); y la subcuena endorreica del cráter registra una superficie aproximada de 344.24 ha (0.65%).

### **Vegetación: bosques y pastizales**

Para el Área Natural Protegida se calcula que 71.4% de la superficie corresponde a los diferentes tipos de bosque; 17.5% a agricultura; 1.8% a terrazas antiguas con vegetación secundaria; 1.4% a zacatonal aplino o áreas sin vegetación aparente y 8% a pastizales inducidos (Regil, 2013).

La gran diversidad biológica del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca es el resultado de su posición geográfica, el relieve, la altitud y las características geológicas, edáficas, hidrológicas y climáticas del área. La serranía donde se ubica el Nevado de Toluca se caracteriza por ser un punto de contacto entre las biotas neártica y neotropical. Los ecosistemas forestales dominantes comprendidos por bosques de pino (*Pinus sp*), de oyamel (*Abies religiosa*), de encino (*Quercus sp*), de pino-encino (*Pinus-Quercus*), oyamel-pino (*Abies-Pinus*), pastizal o zacatonal alpino, constituyen el hábitat de numerosas especies de fauna silvestre (Ceballos, 2011; CONANP, 2016).

### **Características socioeconómicas en el APFFNT**

El APFFNT está conformada por los municipios de Almoloya de Juárez, Amanalco de Becerra, Calimaya, Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenango del Valle, Toluca, Villa Guerrero, Villa Victoria y Zinacantepec. En el momento de decretar el Parque Nacional Nevado de Toluca, en el año 1936, sólo se tenían registradas tres localidades, con una población de 668 habitantes en 1930, que se redujo a 564 habitantes para 1940 (CONANP, 2016). En 2014, con la declaratoria de Área de Protección de Flora y Fauna y el reajuste de los límites en el Programa de Manejo, se consideran 16 localidades dentro de los límites del ANP, con una población de 5,297 habitantes (CONANP, 2016).

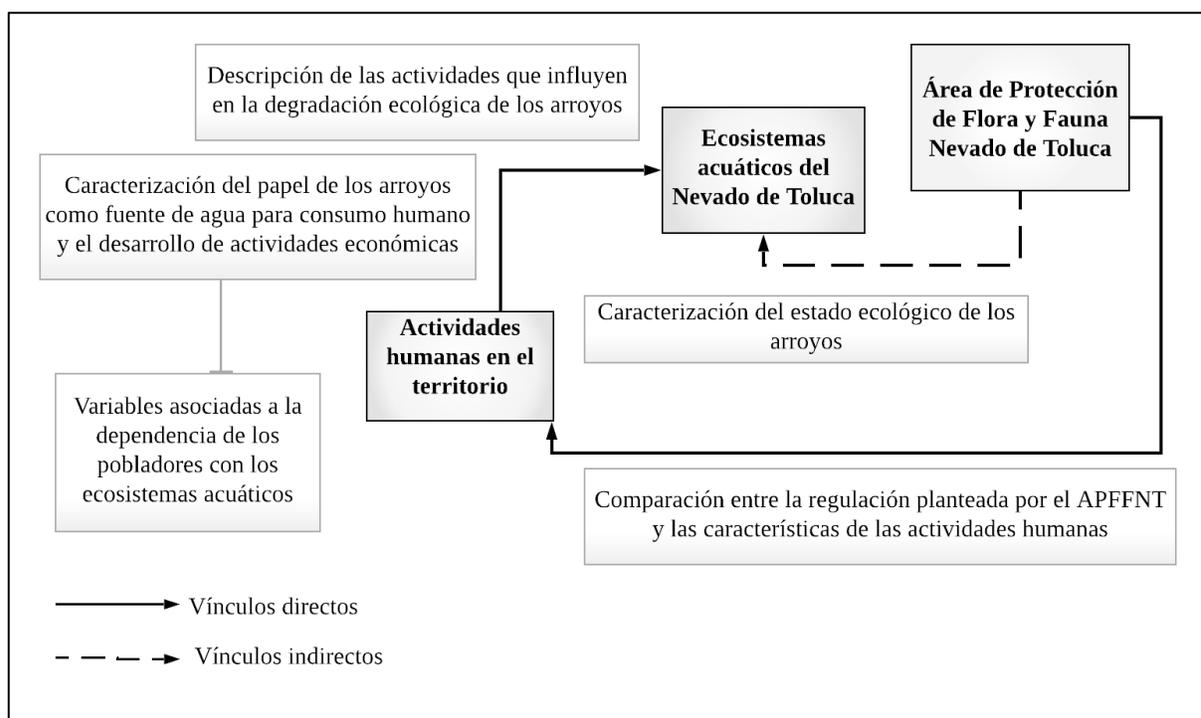
El 84.6 % de la tierra se encuentra bajo el régimen de propiedad social, con 48 núcleos ejidales, los cuales abarcan una superficie de 35,863 ha y ocho núcleos comunales con una superficie de 9,493 ha; adicionalmente, el Registro Agrario Nacional (RAN) identifica 8,233 hectáreas como “otro tipo de propiedad”, incluyendo la zona alpina extrema correspondiente a la zona núcleo con una superficie de 1,941.6 (Olvera y Pichardo, 2017).

La principal actividad económica de los pobladores en el APFFNT es la agricultura. La superficie dedicada a las actividades agrícolas representa aproximadamente 9,083 ha del área protegida, equivalentes a casi el 17% de la superficie total. Los cultivos más importantes son maíz (grano), papa, avena forrajera y floricultura a cielo abierto, aunque también se registraron, en menor cantidad, otras leguminosas, hortalizas, actividades de floricultura en invernadero y otros cultivos. Dentro del APFFNT se encuentran 4,480 registros de unidades de producción con maíz, 952 con papa y 376 con avena forrajera. En cuanto a la ganadería, los ovinos se registran en 676 unidades de producción y los bovinos en 191 unidades de producción (CONANP, 2016).

Las prácticas turísticas se ubican principalmente en las laderas norte y noreste, aunque se registra algún tipo de actividad en casi todas las localidades del ANP. De forma tradicional, los visitantes son atraídos por las nevadas, además de la belleza paisajística centrada en sus bosques, arroyos, cráter y lagos. Cada año, entre diciembre y marzo, se registra la máxima afluencia (en promedio 8,000 personas al mes) debido a las nevadas que se presentan. Los meses con menor número de visitantes comprenden de mayo a septiembre (Olvera y Pichardo, 2017).

## 9. Método

Con el propósito de brindar un panorama general del esquema metodológico utilizado en éste estudio, en la Figura 2 se presentan los vínculos directos e indirectos entre la implementación del Área de Protección de Flora y Fauna, las actividades humanas en el territorio y los ecosistemas acuáticos del Nevado de Toluca, así como los medios utilizados en la investigación para poder describirlos, mismos que posteriormente se desglosan con detalle.



**Figura 2.** Integración de los métodos utilizados para la descripción de los vínculos entre la implementación del Área de Protección de Flora y Fauna, las actividades humanas en el territorio y el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos en el Nevado de Toluca

## 9.1 Selección de comunidades en el Nevado de Toluca

Para éste estudio se realizó una selección de seis comunidades ubicadas en el Nevado de Toluca, con base en análisis exploratorios previos realizados en el Laboratorio de Ecosistemas de Ribera y el Laboratorio de Análisis Socioambiental de la Facultad de Ciencias, UNAM. Dicha selección se basó en diversas características sociales y económicas<sup>7</sup>: 1) alto y muy alto grado de marginación; 2) representativas de la diversidad de actividades productivas en la zona; 3) con diferentes porcentajes de crecimiento poblacional; y 4) presencia de cuerpos de agua adyacentes (Tabla 1, Mapa 2, Mapa 3).

Cabe destacar que la comunidad de San Mateo Almomoloa, con el cambio de categoría no hace parte actualmente del polígono del Área Natural Protegida; sin embargo, es una comunidad vecina que cuenta con ecosistemas acuáticos adyacentes y estrategias para el cuidado, tanto del bosque como de los cuerpos de agua. Los integrantes del ejido de San Mateo Almomoloa desarrollan diversas actividades productivas y turísticas, entre las cuales se encuentran la siembra de maíz y los recorridos turísticos para la observación de la mariposa monarca en los meses de noviembre a marzo, en el Santuario “Piedra Herrada”. Dicho santuario es parte del Parque Estatal Santuario de Agua Presa Corral de Piedra y el trabajo conjunto de los ejidatarios para su desarrollo como prestadores de servicios turísticos es reconocido en estudios de investigación (López-Soriano, 2014). La inclusión de esta comunidad permite contrastar las características ecológicas de arroyos en un área fuera del polígono del Área de Protección de Flora y Fauna, así como aportar información en torno al papel que juegan los arroyos como fuente de agua para consumo humano y el desarrollo de actividades económicas para los hogares rurales en toda la región del Nevado de Toluca.

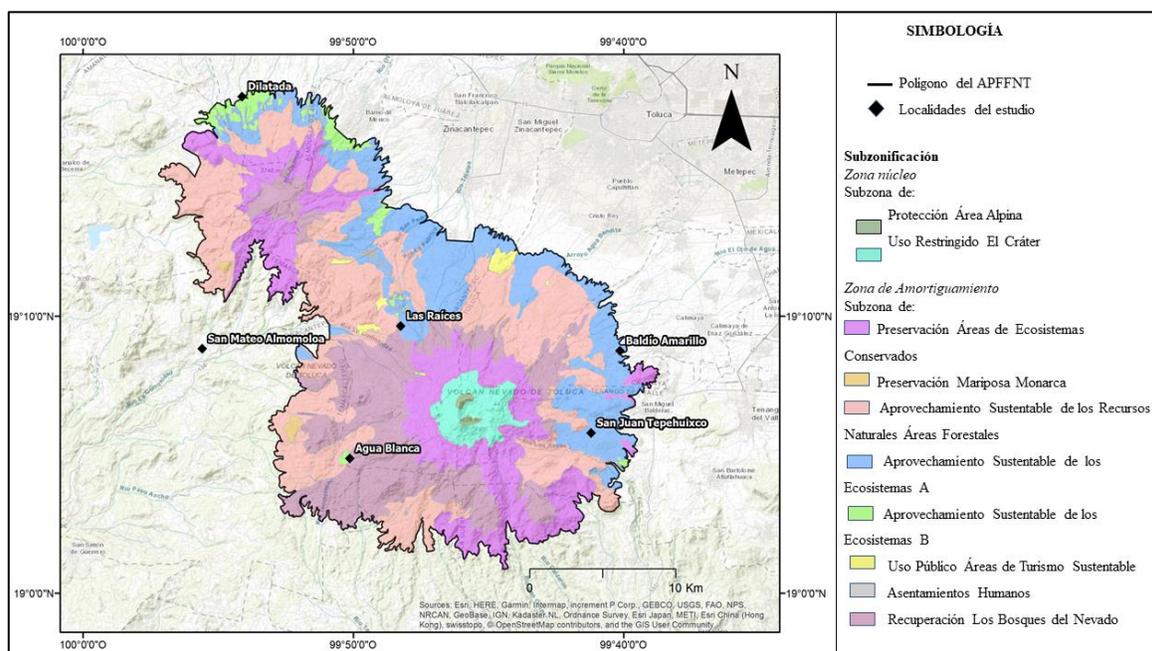
---

<sup>7</sup> Esta selección se realizó con el objetivo de abarcar la diversidad de características sociales, económicas y biofísicas presentes en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.

**Tabla 1.** Características sociales, económicas y biofísicas de las comunidades seleccionadas del Nevado de Toluca

Comunidades	Municipio	Grado de marginación	Principales actividades productivas en el municipio	Crecimiento poblacional 2000-2010 (%)	Cuerpos de agua adyacentes
Agua Blanca	Zinacantepec	Muy alto	Ganadería y forestal	46.75	Presencia
Baldío Amarillo	Calimaya	Muy alto	Agricultura	28.57	
La Dilatada Sur	Almoloya de Juárez	Alto	Agricultura	4.13	
Las Raíces	Zinacantepec	Alto	Agricultura	22.05	Presencia
San Juan Tepehuizco	Tenango del Valle	Muy alto	Agricultura y ganadería	-48.19	
San Mateo Almomoloa	Temascaltepec	Alto	Turismo y agricultura	10.1	Presencia

Datos obtenidos de CONANP (2016) y López-Soriano (2014).



**Mapa 2.** Localización de las comunidades del estudio en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Datos cartográficos obtenidos de CONANP (2016). Fuente: elaboración propia.

## 9.2 Evaluación del estado ecológico de los arroyos

Para la evaluación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos del Nevado de Toluca se seleccionaron tres comunidades: Agua Blanca, Las Raíces y San Mateo Almomoloa, debido a que éstas cuentan con recursos acuáticos *in situ* (Mapa 3). Los arroyos seleccionados se encuentran en la Región Hidrológica 18: Balsas, Las Raíces y San Mateo Almomoloa se sitúan en la cuenca Cutzamala y en la subcuenca Temascaltepec, respectivamente. Por su parte, el arroyo de Agua Blanca se encuentra en la cuenca Balsas-mezcala, en la subcuenca Pachumeco.

El resto de las comunidades del estudio se plantean como modelos útiles para comprender las estrategias que los pobladores generan para suplir el abasto de agua de ríos adyacentes, así como las implicaciones sobre sus condiciones de vida; es decir, qué costos conlleva el hecho de no contar con una fuente de agua cercana.

En las tres comunidades se realizó una evaluación del estado ecológico de los cuerpos de agua mediante la caracterización hidromorfológica, fisicoquímica y bacteriológica, así como la validación de dichas condiciones mediante la utilización de macroinvertebrados bentónicos y algas macroscópicas como indicadores, cuya presencia y abundancia dan indicios de las condiciones dentro del ecosistema acuático (Duan *et al.*, 2011; Allan, 1995).

Se realizaron cuatro muestreos: el primero en el mes de noviembre del 2016 (temporada de lluvias), así como febrero (secas frías), marzo y mayo (secas cálidas) del 2017. Para el sitio Agua Blanca, se realizaron las evaluaciones correspondientes a los cuatro muestreos, mientras que para Las Raíces y San Mateo Almomoloa se presentan los datos para los muestreos del año 2017.

### 1. Caracterización hidromorfológica, fisicoquímica y bacteriológica:

La calidad hidromorfológica se determinó de acuerdo con los criterios propuestos por Ortiz-Fernández (2017). Dicho método integra los aspectos hidromorfológicos, físico-químicos, de vegetación de ribera, así como el impacto de las actividades humanas sobre el estado de conservación de los ríos.

Se registraron *in situ* los datos ambientales: pH, conductividad específica, temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y aforo con ayuda de una sonda multiparamétrica

YSI 6600. El análisis físico-químico y bacteriológico se realizó siguiendo los criterios establecidos en las normas oficiales mexicanas (NOM-127-SEMARNAT y NOM-001-SEMARNAT) e internacionales (Asociación Americana de Salud Pública- Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales) (DOF 2000, APHA 2005).

Se determinó la concentración de nitrógeno en forma de amonio ( $\text{N-NH}_4$ ), nitritos ( $\text{N-NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ), así como el Fósforo Reactivo Soluble (FRS) como ortofosfatos ( $\text{P-PO}_4^-$ ), con reactivos y un equipo espectrofotométrico marca Hatch DR/3900 (Hatch, 2003). A través de la suma de las tres formas de nitrógeno se determinó la concentración total de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID).

Para en análisis bacteriológico se utilizó la técnica de filtración con membrana y la densidad bacteriana cuantificada se reportó como Unidades Formadoras de Colonias por cada 100 mL (UFC/100 mL) (APHA, 2005). Este análisis se realizó únicamente en el muestreo del mes de febrero del 2017 para los tres sitios.

## 2. *Algas macroscópicas bentónicas*

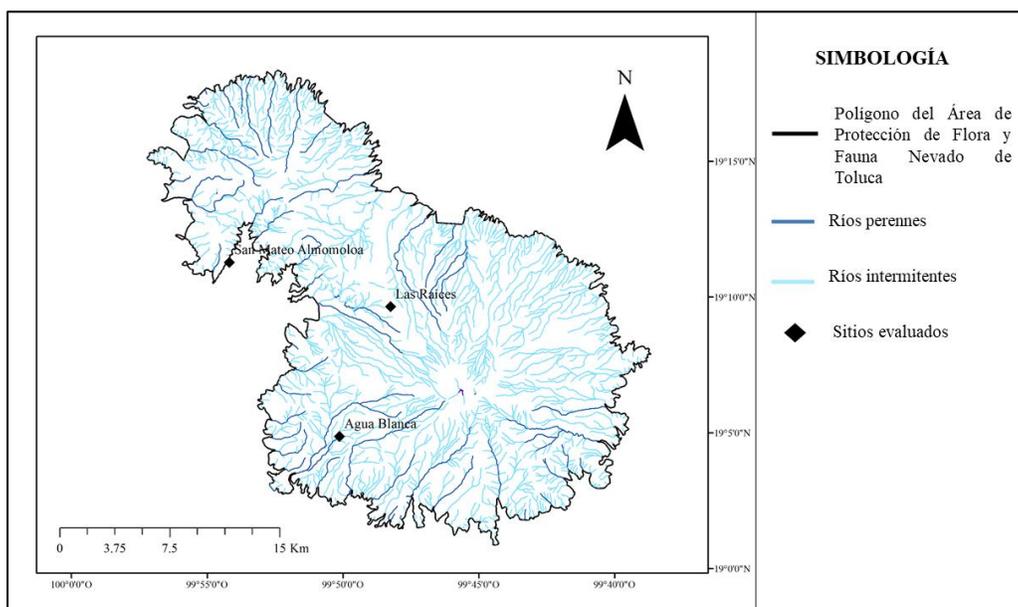
La cobertura de los crecimientos visibles algales se estimó de acuerdo con la técnica descrita por Necchi *et al.* (1995). El Laboratorio de Ecosistemas de Ribera<sup>8</sup> de la Facultad de Ciencias, UNAM, realizó la identificación taxonómica del material colectado con bibliografía especializada (Bellinger y Sigeo, 2015; Wehr y Sheath, 2003; Komarek, 2005). Para su uso como bioindicadores del estado ecológico se utilizó el criterio de grupos funcionales (GF), basado en los rasgos morfológicos desarrollados por los grupos algales (Steneck *et al.*, 1994). Estos rasgos morfológicos pueden ser reflejo de las condiciones ambientales, pues los grupos algales presentan rangos específicos de tolerancia para las diferentes variables ambientales (Omori e Ikedo, 1984), de modo que un hábitat específico presenta el establecimiento y dominancia de aquellas comunidades cuyas condiciones ambientales son propicias para su desarrollo (Peña *et al.*, 2005). Una vez asignado el GF para cada especie, se calculó la proporción de cada GF por sitio con base en el promedio de la cobertura porcentual.

---

<sup>8</sup> La identificación taxonómica de las algas macroscópicas fue realizada por el Dr. Javier Carmona Jiménez

### 3. Macroinvertebrados bentónicos

La colecta de los individuos se realizó con base en el criterio multihábitat, con la finalidad de cubrir todos los nichos disponibles posibles (Pérez-Munguía 2004). La identificación taxonómica se realizó con ayuda de bibliografía especializada (Merritt *et al.*, 2008; Bueno-Soria, 2010), con una resolución taxonómica a nivel de género. Así mismo, se determinó el grupo funcional alimenticio de cada taxa colectado con bibliografía especializada (Cummins *et al.*, 2005; Merritt *et al.*, 2008; Bueno-Soria, 2010; Reynaga, 2009). La aproximación de grupos funcionales alimenticios (GFA) de macroinvertebrados categoriza a los consumidores basados en su mecanismo para obtener alimento, el desarrollo de estructuras especializadas para ello y el tamaño de partícula de dicho alimento (Cummins *et al.*, 2005; Hershey y Lamberti, 1998). Los GFA son sensibles a los impactos del uso de suelo adyacente al sistema, principalmente la calidad y cantidad de vegetación ribereña, así como características físico-químicas del agua, como la concentración de nutrientes, la velocidad de corriente, la temperatura y el oxígeno disuelto (Cummins *et al.*, 2005). De este modo, los GFA de macroinvertebrados proveen información útil sobre el funcionamiento de los ríos y el impacto de los disturbios antropogénicos sobre éstos (Palmer *et al.*, 1996). Una vez clasificados los taxa en GFA se calculó la proporción de cada uno de ellos por sitios con base en la abundancia de individuos.



**Mapa 3.** Localización de los sitios evaluados para la determinación del estado ecológico de los ríos en el Nevado de Toluca. Datos obtenidos de la cartografía de INEGI (2013). Elaboración propia.

## Análisis estadísticos

Tanto para los macroinvertebrados bentónicos como para las algas macroscópicas se evaluó la diversidad de taxa y de especies, respectivamente. Se utilizó el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y el índice de Simpson ( $D$ ), partiendo de la premisa de que la diversidad biológica es un indicador cuantificable de las comunidades ecológicas que se relaciona con la estabilidad del ecosistema acuático, debido a que son dependientes de la calidad ambiental (Metcalf, 1989). La selección de los parámetros fisicoquímicos, hidromorfológicos y bacteriológicos utilizados para los análisis estadísticos se realizó aplicando el coeficiente de variación de Margalef (1983), considerando únicamente aquellas variables con un coeficiente mayor al 10% de la variabilidad. Los datos fueron previamente estandarizados con el algoritmo  $\ln(x+1)$  debido a las diferencias en órdenes de magnitud y escala numérica que presentan los datos ambientales.

Con el objetivo de indagar sobre el funcionamiento del APFFNT y el papel que juegan los ecosistemas acuáticos como fuente de agua en los hogares rurales, se utilizó la información generada para el proyecto “Los lagos del Nevado de Toluca, México: Centinelas para la detección y análisis de la vulnerabilidad socio-ecosistémica ante los impactos del Cambio Ambiental Global” mediante el instrumento de encuesta previamente elaborada por el Laboratorio de Análisis Socioambiental de la Facultad de Ciencias y el Laboratorio de Ecosistemas de Ribera de la UNAM<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> El diseño de la encuesta fue realizado por la Dra. Fernanda Figueroa Díaz Escobar y la Dra. Angela Piedad Caro Borrero.

### **9.3 Aplicación de encuestas: actividades económicas, uso de los arroyos y relación de los pobladores locales con la figura de Área de Protección de Flora y Fauna**

A finales del año 2016 y principios de 2017, se levantaron <sup>10</sup> encuestas dirigidas a pobladores de las comunidades del Nevado de Toluca seleccionadas de edad mayor o igual a 15 años. El tamaño muestral se calculó con base en el indicador de viviendas particulares habitadas (vph) obtenidos de CONANP (2016) y SEDESOL (2013), a partir de una distribución normal y un muestreo por conglomerados, con un margen de error de 0.05 y una confianza del 95%. Los cálculos efectuados se desglosan en el anexo I.

En cada localidad se cubrió el 20% del total de vph, de modo que se levantaron 116 encuestas a pobladores del APFFNT, incluyendo a integrantes de la comunidad de San Mateo Almomoloa. Sin embargo, el muestreo tuvo inconvenientes que impidieron el levantamiento de encuestas según el plan de muestreo, por ejemplo, que en determinados hogares no se lograra obtener información o una incongruencia en el nvp registradas en la localidad y el encontrado en las visitas a campo.

Para el estudio se utilizó la información generada en las encuestas para reconocer las características socioeconómicas de los pobladores, así como de su relación con los ecosistemas acuáticos del área y la percepción<sup>11</sup> de cambios en cantidad y calidad de estos. Asimismo, se indagó en torno a la relación de los habitantes con la figura de conservación (APFFNT).

La encuesta se compone de seis secciones:

**Sección I-Aspectos generales:** Caracterización de la población. Se incluyen datos como edad, sexo, grado de estudios, atigüedad en la zona y tenencia de la tierra.

**Sección II: Actividades económicas.** Se incluyen las principales actividades económicas registradas en el área, tales como la agricultura, la ganadería, la producción forestal y el turismo. En este apartado se detallan las características de las actividades agrícolas y

---

<sup>10</sup> El levantamiento de encuestas fue realizado por la autora e integrantes del Laboratorio de Ecosistemas de Ribera, UNAM; bajo la dirección de la Dra. Angela Caro y el Dr. Javier Carmona. El procesamiento y análisis de datos fue responsabilidad de la autora de la tesis.

<sup>11</sup> La percepción hace referencia a la manera en que un individuo observa, entiende, interpreta y evalúa un objeto, acción, experiencia, individuos, políticas, etc. (Bennet, 2016).

pecuarias. Para la primera se indaga sobre el tipo de cultivo, el uso de agua para riego, así como la aplicación de fertilizantes y pesticidas. En el caso de la ganadería, se indaga sobre el tipo de animales que se crían, la fuente de alimento y la fuente de agua de donde se abastece al ganado.

**Sección III-Formas de uso del agua.** Reconoce las principales fuentes de abastecimiento de agua para los pobladores, la identificación de cambios en la calidad y cantidad de agua de los ríos adyacentes, así como la forma en la que los encuestados desechan el agua en sus hogares (drenaje, fosa séptica, en el río, en los terrenos, etc).

**Sección IV. Factores que afectan las actividades económicas:** Políticas públicas. Se cuestiona sobre adscripciones a programas de gobierno, como aquellos encaminados a la conservación del bosque, para ecoturismo, producción orgánica y producción pecuaria.

**Sección V. Conocimiento local sobre la conservación.** En este apartado se busca describir el conocimiento que los encuestados tienen sobre el cambio de categoría de conservación de Parque Nacional a Área de Protección de Flora y Fauna. Incluye el conocimiento de la zonificación del área protegida, así como de las actividades económicas permitidas y restringidas. Finalmente, se cuestiona sobre el contacto que los pobladores tienen con las dependencias de gobierno encargadas del manejo del APFFNT, específicamente, si han recibido capacitación.

Con base en los datos obtenidos de la encuesta se realizó una descripción general de las características de las comunidades y las diversas prácticas económicas desarrolladas. Aunado a la descripción del grado de conocimiento y opinión sobre la figura de APFF, particularmente en torno a la zonificación de actividades. Lo anterior permitió reconocer las actividades de subsistencia y económicas desarrolladas en las comunidades y el impacto de la implementación del área protegida sobre las mismas.

#### **9.4 Variables asociadas al uso de los ríos como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca**

A partir de los datos obtenidos en la encuesta (Anexo II) se realizó la construcción de un modelo de regresión logística binaria para identificar las variables que influyen en el uso de los ecosistemas acuáticos del Nevado de Toluca como principal fuente de agua en las comunidades estudiadas.

##### **Modelo de regresión logística**

Los modelos de regresión logística son modelos estadísticos en los que se desea conocer la relación entre una variable dependiente cualitativa dicotómica y una o más variables explicativas independientes. Para el caso del estudio, la variable dependiente es el uso de los ríos y manantiales como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca, de modo que, el modelo logístico permite ajustar la probabilidad de que una persona utilice las aguas superficiales como principal fuente de abastecimiento, en función de un conjunto de variables explicativas. El modelo es equivalente a una regresión lineal, con la diferencia de que se transforma la variable dependiente en el logaritmo de su razón y las variables no requieren cumplir con los supuestos de normalidad y de igualdad de varianzas, tomando la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

Donde Y es el uso de los ríos y manantiales como principal fuente de agua,  $X_1, X_2, \dots, X_k$  son las variables explicativas y  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  son los parámetros por estimar, mismos que brindarán información en torno al grado de influencia de las variables explicativas sobre la variable dependiente.

Y la probabilidad toma la forma:  $P = \frac{1}{1 + e^{-Y}}$

Previo a la construcción del modelo, se realizó una recopilación de las posibles variables explicativas y su relación con la variable dependiente, dicha selección estuvo basada en la literatura, el conocimiento previo de la zona de estudio y la experiencia empírica en campo con las comunidades. Este trabajo es fundamental para la selección de las variables a incluir en el análisis de regresión logística. Las variables descritas se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Variables independientes seleccionadas y el argumento sobre su influencia para explicar la variable dependiente en la construcción del modelo de regresión logística. Var.DEP= Variable dependiente, Var.IND= Variables independientes.

Var. DEP	Significado		
<b>Dependencia hacia los ecosistemas acuáticos del Nevado de Toluca.</b>	Uso de ríos y arroyos como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca.		
VAR. INDEP	Significado	Argumento	Hipótesis
<b>Edad</b>	Edad del encuestado	<p>En diversas comunidades rurales de México, uno de los principales medios para el abastecimiento de agua es mediante el transporte del recurso desde la fuente de abastecimiento hasta los hogares utilizando la fuerza humana (a pie) (Ocampo y Villareal, 2014).</p> <p>La labor de transportar agua puede estar relacionado con las condiciones físicas de quienes realizan la actividad. Conforme avanza la edad de las personas, principalmente después de los 30 años, se produce una pérdida de fuerza y de las capacidades físicas (Carbonell <i>et al.</i>, 2009).</p>	<p>(-)</p> <p>Se espera que a mayor edad disminuya el uso del agua directo proveniente de los ríos locales, dado que conforme aumenta la edad se produce una pérdida de fuerza y capacidades físicas.</p>
<b>Sexo</b>	Sexo biológico del encuestado	Se reconoce que, en diversas comunidades rurales de México que carecen de un servicio de agua entubada, las labores de abastecimiento recaen mayormente en las mujeres, principalmente mediante el llamado “acarreo de agua” el cual consiste en transportar el recurso a pie desde los cuerpos	<p>(+)</p> <p>Las mujeres revelarán un mayor uso de agua de los ríos y manantiales, dado su papel para el</p>

		de agua naturales hasta los hogares (Sandoval 2005; Soares 2006; Hernández y Herrerías, 2004; Iris 2013; Guevara y Lara 2015).	abastecimiento de agua en los hogares.
<b>Originario de la zona</b>	Nacimiento del encuestado en la localidad de estudio	En diversas comunidades rurales de México, el uso de los recursos hídricos se enmarca en una cosmovisión, en la que el agua forma parte de su identidad cultural (Fernández-Lomelín 2018). En este sentido, las personas originarias se caracterizan por su arraigo con el territorio, donde la gestión de los recursos tiene un importante componente cultural.	(+) Se espera que las personas originarias de las localidades rurales expongan un mayor uso de los ríos y manantiales dado su papel en la identidad cultural.
<b>Subzonificación</b>	Zonificación de actividades planteadas en el programa de manejo del APFFNT	En el programa de manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca se presenta una subzonificación de actividades de acuerdo con la ubicación dentro del polígono en protección (CONANP, 2016). Para la zona núcleo se presentan dos subcategorías (protección Área Alpina y Uso Restringido El Cráter), mientras que en la de amortiguamiento se presentan ocho subcategorías (Preservación Áreas de Ecosistemas Conservados, Preservación Mariposa Monarca, Aprovechamiento sustentable de los Recursos Naturales Áreas Forestales, Aprovechamiento Sustentable de los Ecosistemas A y B, Uso público Áreas de Turismo Sustentable, Asentamientos Humanos y Recuperación Los Bosques del Nevado) (Mapa 1).	(+) Se espera que las localidades presentes en subzonas de Aprovechamiento Sustentable de los Ecosistemas y de los Recursos Naturales presenten un mayor uso de los ríos y manantiales dada la permisión al desarrollo de ciertas actividades que requieren el recurso, por

			ejemplo, las psíquicas y las ganaderas.
<b>Trabajo asalariado</b>	Relación socioeconómica entre un trabajador y un empleador, por medio de la cual el primero cede su trabajo a través de un contrato laboral con el objetivo de recibir un salario.	En medios rurales, el desempeño en empleos remunerados puede reducir la dependencia y uso directo con los recursos naturales dado que, al obtener un salario y tener mayores recursos monetarios, será posible la búsqueda de fuentes alternas de abastecimiento (Fisher, 2004; Nguyen <i>et al.</i> , 2015).	(-) A mayor proporción de personas que desarrollen trabajos asalariados, será menor la dependencia hacia los ecosistemas acuáticos, debido a que poseen mayores recursos económicos para acceder a otras fuentes de agua potable.
<b>Pobreza</b>	Situación en la que una persona no puede satisfacer sus necesidades psíquicas y físicas básicas para una vida digna.	En muchas zonas rurales con grandes porcentajes de población en pobreza, las personas dependen casi exclusivamente de su capacidad para acceder y utilizar los recursos naturales como base de sus medios de vida. En este sentido, el acceso al agua proveniente de ríos y manantiales es determinante para su supervivencia (Poverty-Environment Partnership, 2006). Para las comunidades marginadas y pobres del país, el aprovisionamiento de agua de aguas superficiales puede representar la única alternativa viable frente a los altos costos que conlleva un sistema de abastecimiento por red entubada (Fernandez-Lomelín 2018).	(+) Se espera que, a mayor pobreza, se tenga un mayor uso de los ríos y manantiales del área como fuente principal de agua.
<b>Cobertura de drenaje</b>	Presencia de servicio de saneamiento en los hogares.	La carencia de drenaje es uno de los indicadores para medir la pobreza en México. La Comisión Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2010) establece que se considera como población en	(-) Se espera que, a mayor porcentaje de cobertura

		situación de carencia por servicios básicos en vivienda a las personas que residan en una vivienda que no cuenten con servicios de drenaje o que el desagüe tenga conexión a una tubería cuyo destino final sea un cuerpo de agua, barranca o grieta. Situación que prevalece particularmente en las comunidades rurales de América Latina (Dourojeanni y Jouravlev 1999; Jouravlev 2004)	de drenaje, menor será la dependencia hacia los ríos y manantiales.
<b>Carencia de agua entubada</b>	Carencia de un sistema de red entubada de agua en la localidad para el desarrollo de actividades de subsistencia.	En contextos rurales, ante un sistema hídrico (red entubada) insuficiente, las familias se ven en la necesidad de completar su volumen hídrico de diferentes fuentes: escurrimientos, pozos, arroyos, ríos, etc. La provisión de agua se logra usando diferentes medios de transporte, por ejemplo, mediante el acarreo de agua desde los cuerpos de agua hasta los hogares (Iris, 2013).	(+) A mayor carencia de agua entubada en la localidad, mayor uso directo del agua proveniente de ríos y manantiales
<b>Transporte</b>	Carencia de transporte como principal problemática de la localidad.	La falta de infraestructura y de comunicación propicia el aislamiento social de los pobladores y se considera que son limitantes para su desarrollo social. Al no contar con los servicios de agua y carecer de transporte que permita el abastecimiento desde centros urbanos, por ejemplo, mediante pipas de agua, los pobladores recurren a los cuerpos de agua adyacentes (Iris, 2013).	(+) A mayor carencia de transporte, mayor uso de los ríos como principal fuente de agua.
<b>Distancia a centros urbanos</b>	Distancia entre las localidades de estudio y los principales centros urbanos de la región (km).	Estudios evidencian que las comunidades rurales cercanas a centros urbanos tienen una mayor capacidad de buscar fuentes de abastecimiento de agua alternas a los cuerpos de agua (Narain <i>et al.</i> , 2007; Nguyen <i>et al.</i> , 2015). Entre las alternativas se encuentra la distribución con pipas y la compra de agua envasada.	(+) A mayor distancia a centros urbanos, mayor uso de los ríos y manantiales adyacentes.

<b>Presencia de ríos adyacentes</b>	Presencia de cuerpos de agua adyacentes a las comunidades.	Se espera que la disponibilidad del agua sea determinante para su aprovechamiento. Entre mayor disponibilidad se tendrá una mayor probabilidad de uso directo proveniente de los ríos (Narain <i>et al.</i> , 2008; Nguyen <i>et al.</i> , 2015).	(+) <p>A mayor presencia de ríos locales mayor uso como fuente principal para el desarrollo de actividades de subsistencia.</p>
<b>Fuente de agua para el ganado</b>	Uso de los ríos y manantiales como principal fuente de abastecimiento para el ganado.	Se espera que el desarrollo de actividades ganaderas aumente el uso y dependencia hacia los ríos derivado de que los mismos sean fuente principal de agua para el ganado (Sandoval-Moreno y Ochoa-Ocaña 2016).	(+) <p>Se espera que los ríos y manantiales de la zona sean fuente de abastecimiento hídrico para el ganado, por tal, entre mayor desarrollo ganadero, mayor uso de los cuerpos de agua.</p>
<b>Disminución en la cantidad de agua</b>	Percepción de cambios negativos en la cantidad de agua de los ríos locales a través del tiempo.	La alteración de los ecosistemas lóticos, reflejada en cambios en el flujo hídrico a lo largo del tiempo, produce una insuficiencia en el agua superficial disponible para el abastecimiento de comunidades humanas. La reducción del potencial de uso de los ríos generado por la disminución de agua puede tener grandes impactos en las condiciones de vida de las personas, e inclusive, convertirse en un foco de inestabilidad social (Herzing 2010).	(-) <p>A mayor percepción de disminución en la cantidad de agua de los ríos, menor uso de las aguas superficiales como principal fuente de abastecimiento.</p>

<p><b>Disminución en la calidad de agua</b></p>	<p>Percepción de cambios negativos en la calidad del agua.</p>	<p>Las percepciones sobre la calidad del agua las determinan los integrantes de la familia a partir de la observación en cuanto a características como la turbidez, el sabor, así como al conocimiento que tengan sobre las condiciones físicas de donde procede el recurso (Sandoval-Moreno y Günter 2015). De acuerdo con esto, las personas deciden si es apta para beberla directamente, para la preparación de alimentos, para lavar trastes y ropa, para abrevar animales, emplearla en el riego de cultivos o plantas de traspatio o, si definitivamente es inservible para las actividades (Sandoval-Moreno y Günther 2015).</p>	<p>(-)</p> <p>Se espera que, a mayor percepción de disminución en la calidad del agua de los ríos, el uso de éstos como fuente principal de agua disminuirá.</p>
-------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Con los datos obtenidos en la encuesta se generaron dos matrices: la primera con el total de muestras (116 encuestas) y la segunda únicamente con las comunidades con cuerpos de agua adyacentes (Agua Blanca, Las Raíces y San Mateo Almomoloa). Las matrices se construyeron con la información para las diversas variables que pudieran explicar el uso de los ríos y manantiales como principal fuente de agua en los hogares del NT. La variable dependiente, así como las variables explicativas que se usaron en las pruebas estadísticas pueden verse en la Tabla 3.

Con el objetivo de identificar la relación entre el uso de los ríos y manantiales como principal fuente de agua con la presencia de cuerpos de agua adyacentes se efectuó un análisis de Varianza (ANOVA). Una parte indispensable para la aplicación de ANOVA es la comprobación del supuesto de distribución normal. Para comprobar estadísticamente la normalidad de las variables se utilizó la prueba Shapiro-Wilk, con la que, al rechazar la hipótesis nula ( $p\text{-value} < 0.05$ ) es posible asumir que se presenta una distribución normal.

El ANOVA permite, básicamente, comparar los valores medios que toma la variable dependiente donde los niveles de los factores son distintos, con la finalidad de determinar si existen diferencias significativas según dichos niveles, o si, por el contrario, la respuesta en cada población es independiente de los niveles o de los factores. Es de decir, trata de determinar si los niveles de los factores pueden conllevar diferencias en la respuesta en los distintos grupos o poblaciones, contrastando la igualdad de medias de la variable dependiente en dichos grupos (Ordaz-Sanz *et al.*, 2011).

Los análisis estadísticos se realizaron con el software econométrico Gretl (versión 1.9.13). Para la construcción del modelo de regresión logística, se incluyó el total de muestras y mediante diversas pruebas econométricas se buscó aquel modelo estadísticamente significativo con la mayor cantidad de variables explicativas y coeficientes con significancia mayor al 10%.

**Tabla 3.** Variables utilizadas para la construcción del modelo de regresión logística para identificar las variables asociadas al uso de los arroyos como principal fuente de agua en los hogares rurales del Nevado de Toluca

<b>Variable dependiente</b>	<b>Significado</b>	<b>Tipo de variable</b>	
<b>Ecos-Acua-FA</b>	Uso de los ríos y arroyos como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca	NOMINAL Variable dicotómica (0=NO/1=SI)	
<b>Variables independientes</b>	<b>Significado</b>	<b>Fuente</b>	<b>Tipo de Variable y codificación</b>
<b>Edd</b>	Edad	Encuesta	ESCALAR
<b>Sx</b>	Sexo	Encuesta	NOMINAL
<b>Sub-Zon</b>	Subzona dentro del APFFNT en la que se encuentra la comunidad del encuestado	Datos cartográficos del APFFNT CONANP (2016)	ORDINAL
<b>Loc</b>	Localidad del encuestado	Encuesta	ORDINAL
<b>Orig</b>	Personas originarias de la localidad	Encuesta	NOMINAL
<b>Agua-Gan</b>	Personas cuya principal fuente de agua para el ganado son los ríos y manantiales.	Encuesta	NOMINAL Blanco= No realiza ganadería 0= Fuentes de agua diferentes a ríos y manantiales. 1= Manantiales como fuente de agua para ganado
<b>Car-Agua</b>	Personas que perciben una carencia de agua en sus hogares	Encuesta	NOMINAL Dicotómica (0=NO/1=SI)
<b>Dism-Cant</b>	Personas que perciben una disminución en la cantidad de agua en los ríos del área.	Encuesta	NOMINAL Blanco= No detecta cambios 0= Detecta cambios, pero no negativos 1= Detección de cambios negativos en la cantidad de agua de los ríos.
<b>Dism-Cal</b>	Personas que perciben una disminución en la	Encuesta	NOMINAL

	calidad del agua de los ríos.		Blanco= No detectan cambios 0= Detecta cambios, pero no negativos. 1= Cambios negativos en la calidad de agua.
<b>Cuer-Agua</b>	Comunidades que presentan cuerpos de agua superficiales cercanos a la comunidad.	Trabajo de campo	NOMINAL Dicotómica (0=NO/1=SI)
<b>Transp</b>	Personas cuyo principal problema en la localidad fue la carencia de transporte.	Encuesta	NOMINAL 1=Falta de transporte; 0=Otra problemática.
<b>Lej-Cent</b>	Personas cuyo principal problema de vivir en la zona fue la lejanía a centros urbanos.	Encuesta	NOMINAL Falta de transporte=1; Otra problemática=0.
<b>Dnj</b>	Personas que cuentan con drenaje mejorado en sus hogares.	Encuesta	NOMINAL Presencia de drenaje=1; carencia de drenaje=0
<b>Asal</b>	Personas que se desempeñan en un trabajo asalariado	Encuesta	NOMINAL Dicotómica (0=NO/1=SI)
<b>Dis-Cent</b>	Distancia de la localidad al centro urbano más cercano (Km)	Datos cartográficos del APFFNT CONANP (2016)	ESCALAR

## **9.5 Evaluación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca: la conservación de los ecosistemas acuáticos**

Con el objetivo de realizar una evaluación integral del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca y aplicar el modelo FPEIR, en esta última fase de la investigación se siguió el esquema de evaluación para instrumentos de política ambiental de Bobadilla y colaboradores (2013). Dicho esquema se centra en la evaluación de Programas y Proyectos, pues a través de ellos se definen las acciones orientadas a la consecución de los objetivos de la política pública. Con el esquema se proporciona una visión del problema y los resultados guían la evaluación, que indica el origen de las fallas, que puede ocurrir desde la concepción de la política hasta la aplicación de estrategias.

Para éste estudio, la evaluación considero tres etapas:

### a. “Desglose por problema” FPEIR

Con base en el trabajo en campo efectuado, tanto a partir de la aplicación de encuestas como de las evaluaciones del estado ecológico de los arroyos, se efectuó una descripción del problema de degradación ecológica de los ecosistemas acuáticos en el Nevado de Toluca y de los procesos que lo originan.

Para desglosar el problema de una manera integral, se organizó la información generada en el estudio en indicadores de Fuerza motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta.

Para caracterizar los indicadores de Fuerza motriz se generó una síntesis histórica o “memoria del problema ecológico” y se documentaron los principales programas desarrollados en el Nevado de Toluca, relacionados con la conservación de los ecosistemas acuáticos, los actores involucrados en su aplicación, así como sus principales objetivos.

Para los indicadores de respuesta se identificaron los objetivos y acciones planteadas en el Programa de Manejo del APFFNT, relacionados con la conservación de los ecosistemas acuáticos. Así mismo, se buscó información que permitiera indagar en torno al grado de cumplimiento de las metas perseguidas por el APFFNT. Para lo anterior, se realizó una revisión de los Programas Operativos Anuales desde el año 2013 hasta el 2018. El Programa Operativo Anual (POA) es un instrumento de planeación a través del cual se expresan los objetivos y metas a alcanzar en un periodo anual. A través del POA la CONANP organiza

las actividades a realizar en el área natural protegida durante el periodo seleccionado, considerando para ello el presupuesto a ejercer en su operación. Con base en los POA se identificaron las acciones efectuadas registradas por la CONANP para cumplir con los objetivos de conservación de los ecosistemas acuáticos.

Respecto a los de presión, en primer lugar, se describieron las actividades permitidas y restringidas para cada comunidad del estudio de acuerdo con la subzonificación del APFFNT. Posteriormente, mediante la información obtenida de las encuestas y de la evaluación ecológica, se identificaron los indicadores que permitieran dimensionar el cumplimiento de la zonificación. De manera paralela, se identificaron las actividades que pueden ser un factor para la degradación de los ecosistemas acuáticos; por ejemplo, la ausencia de drenaje en los hogares y alteraciones a los cauces producto de desviaciones en el flujo de agua.

En cuanto a los indicadores de estado, se incluyeron los elementos obtenidos en la evaluación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos, como la calidad hidromorfológica, el incremento de nutrientes, la presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal y la información brindada por los bioindicadores.

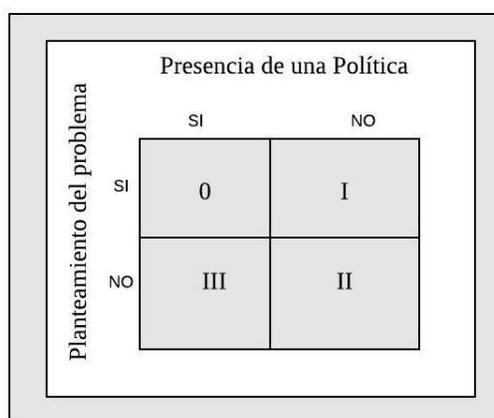
Finalmente, para los indicadores de impacto, se integró información obtenida de las encuestas en torno al efecto de la implementación del APFFNT sobre el desarrollo de la vida cotidiana de los pobladores locales y el estado de conservación de los cuerpos de agua superficial, con base en la percepción de los pobladores.

b. “Concordancia conceptual”

Esta etapa se basa en el esquema propuesto por Curcio (2007), que permite identificar la coherencia conceptual de la Política. Se analizó la concordancia conceptual entre los objetivos y estrategias dentro del Programa de Manejo que buscan la solución al problema ecológico y el problema que se detectó en la investigación. Esta etapa se basa en la lógica de que muchas políticas se suponen como correctas para la resolución de un problema y no se considera que el fracaso de estas puede ocurrir debido a que no se planteó correctamente el problema desde el diseño de la política (Bobadilla *et al.*, 2013).

Curcio (2007) presenta cuatro escenarios: el cero indica que existe un problema que está bien definido y existe una política pertinente que ayuda a su resolución (Figura 3). En este

escenario sólo se requiere el seguimiento de las estrategias definidas en el programa para cumplir con las metas que supone la solución del problema. El escenario uno sucede cuando el problema está bien definido, pero no existe política o programa que lo aborde (no hay pertinencia). El escenario dos sucede cuando existe un problema, pero éste no está correctamente definido o bien no se conoce, además de no contar con ninguna política. El escenario tres indica que existen políticas que buscan remediar algún problema, pero el mismo no está bien definido. Por lo cual, aun cuando la política cumpla con todos los objetivos, el problema prevalecerá porque las estrategias no son las adecuadas para remediarlo.



**Figura 3.** Escenarios para la determinación de la coherencia conceptual en la evaluación de políticas. Tomado de Curcio (2007).

c. “Clasificación FPEIR por programa o política”

En la última etapa se hace un análisis hermenéutico del discurso de la política. Con éste se identifica de dónde emana la necesidad de la política, el sector que la promueve y la estrategia para solucionar la problemática. En esta fase se identificó si la respuesta (objetivos planteados y acciones efectuadas por el APFFNT) se dio por una Fuerza motriz, Presión, Estado, Impacto o por otras Respuestas. Se establece que, si la política atiende a los indicadores de presión o de estado se construye una gestión basada en la prevención, por lo tanto, contribuyen a un desarrollo sostenible. Por el contrario, si las respuestas se dirigen únicamente a situaciones de crisis o desastre, son respuestas de comando control, que resuelven el problema, pero no lo evitan, es decir, no promueven la sostenibilidad (Bobadilla *et al.*, 2013).

## 10. Resultados

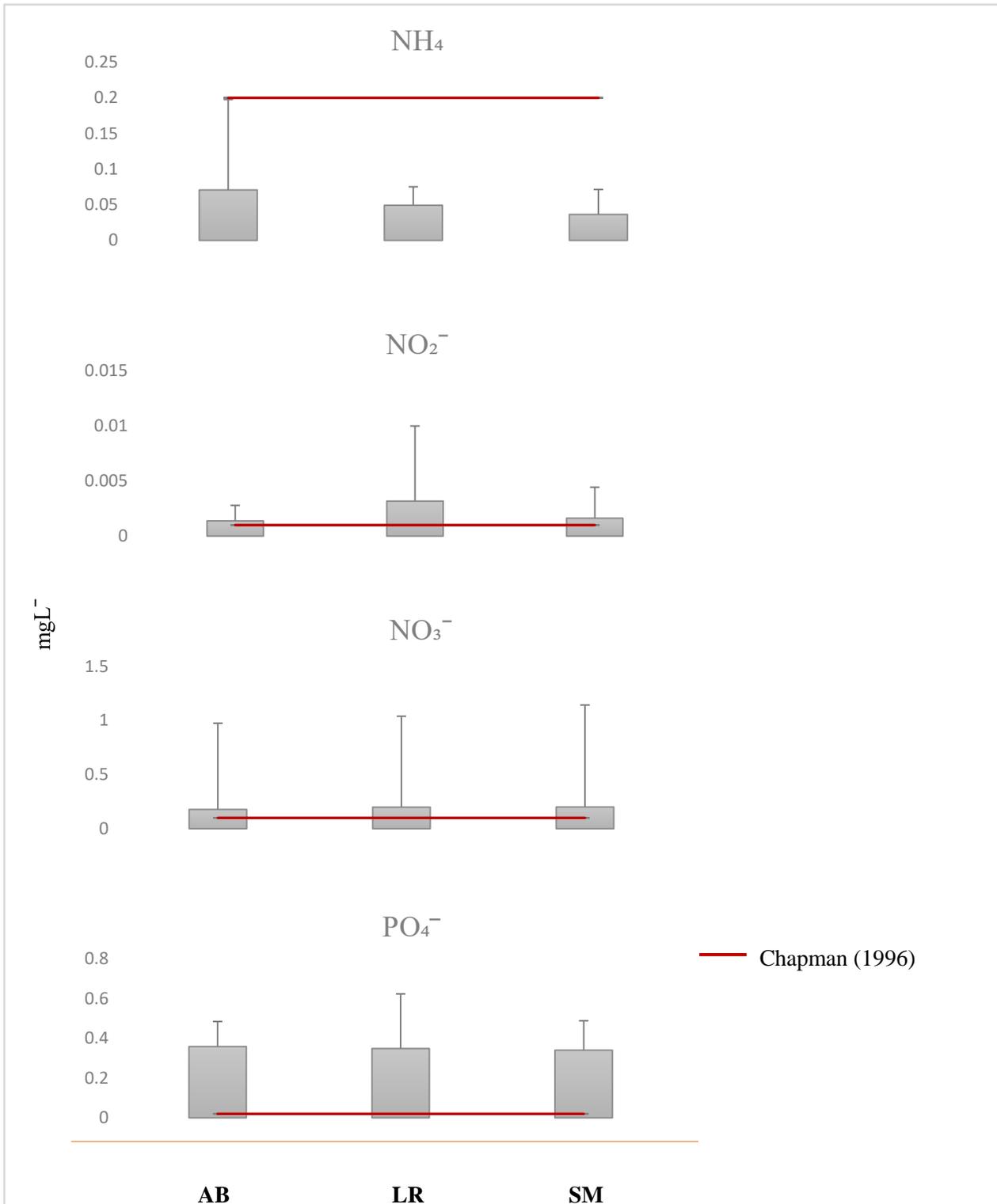
### 10.1 Evaluación del Estado Ecológico de los arroyos en el Nevado de Toluca

#### a. Caracterización físico-química, hidromorfológica y bacteriológica

Los manantiales del APFFNT se caracterizaron por encontrarse en altitudes elevadas (3,673 m.s.n.m.), con aguas templadas (10.2-18.8°C), oxigenadas (> 5 mg/L), circumneutrales con un pH que oscila de 6.6 a 7.5, bajo contenido iónico (87.4-176  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y poco caudalosos (0.001-0.032  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ). Los parámetros con mayor coeficiente de variación (CV) por sitios fueron la temperatura  $T^\circ$  (CV=23%), los sólidos disueltos totales (CV=28%), el caudal (CV=35%), la calidad hidromorfológica (CV=35%), los nitritos (CV=88%), los nitratos (CV=100%), así como las bacterias coliformes fecales (CV=100%) y los enterococos fecales (CV=100%) (Tabla 4).

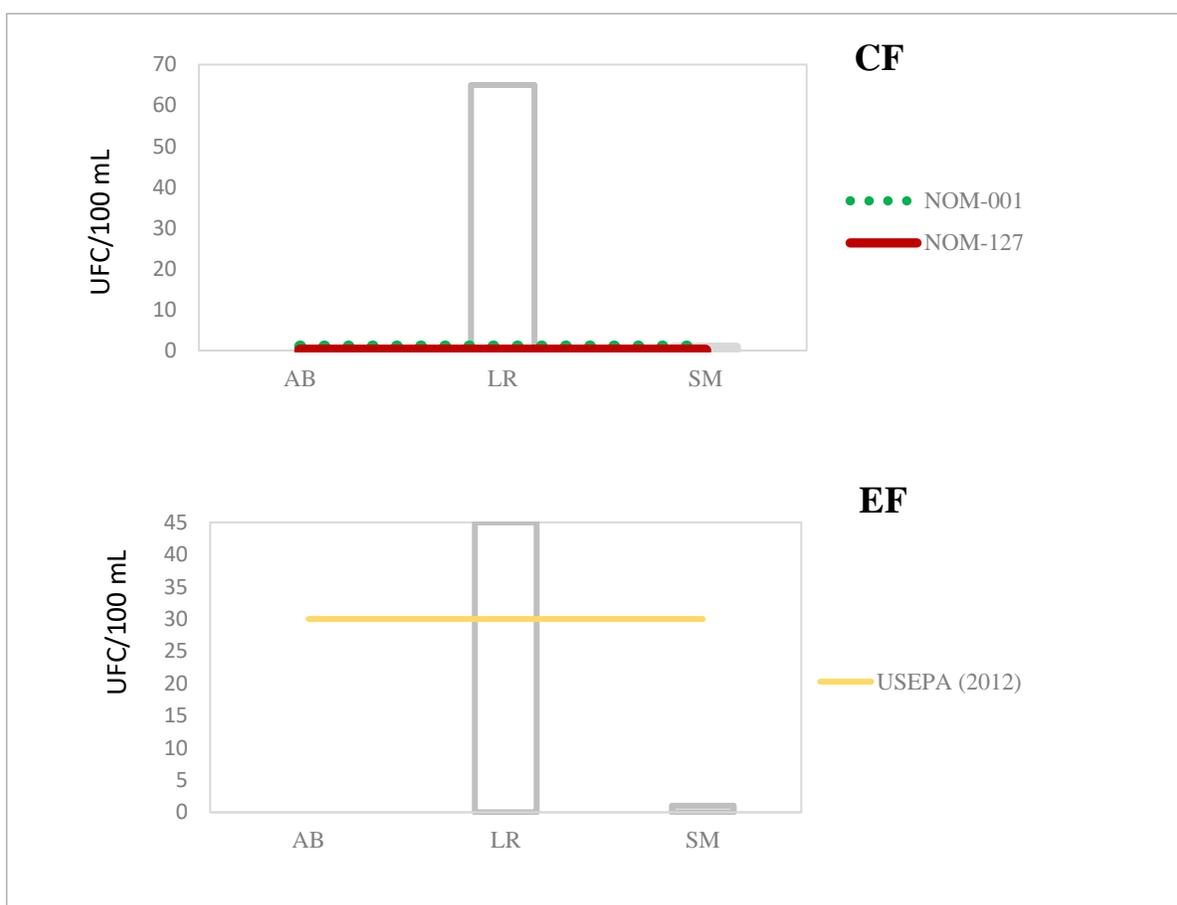
En relación con los nutrientes, el fósforo reactivo soluble (FRS) (0.34-0.35 mg/L) y el nitrógeno inorgánico disuelto (NID) (0.23-0.25 mg/L) presentaron intervalos de variación bajos entre los sitios (CV= 2.65 y 2.89, respectivamente). De acuerdo con Doods (2003), se reconocen como sitios de oligotróficos (NID $\leq$ 0.7 mg/L) a eutróficos (FRS $\geq$ 0.075 mg/L).

Los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) tuvieron los valores promedio más elevados en el sitio Las Raíces (0.007 mg/L), mientras que la concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), al igual que de amonio ( $\text{NH}_4$ ) tuvieron los mayores valores en el sitio Agua Blanca, donde alcanzaron niveles de 1.7 mg/L y 0.33 mg/L, respectivamente. De acuerdo con Chapman (1996), la concentración natural de nitratos en aguas superficiales rara vez superan los 0.1 mg/L, mientras que, para nitritos el promedio establecido es de 0.001 mg/L y para el amonio, usualmente los valores son menores a 0.2 mg/L. Respecto al fósforo ( $\text{PO}_4$ ), los valores oscilaron entre los 0.93 mg/L y 1.4 mg/L. Los mayores valores promedio se registraron en sitio Agua Blanca con 1.28 mg/L. Respecto a este nutriente, la NOM-001 para la descarga de agua residual en cuerpos superficiales establece un Límite Máximo Permisible (LMP) de 10 mg/L del nutriente. La concentración promedio de nutrientes por sitios, así como los límites y promedios mencionados se presentan en la Figura 4.



**Figura 4.** Concentración promedio de nutrientes por sitio de muestreo en arroyos del Nevado de Toluca. NH<sub>4</sub>= amonio, NO<sub>2</sub>=nitritos, NO<sub>3</sub>= nitratos, PO<sub>4</sub>=ortofosfatos. AB=Agua Blanca, LR= Las Raíces, SM=San Mateo Almomoloa. Concentraciones promedio de nutrientes en aguas superficiales de acuerdo con Chapman (1996); NH<sub>4</sub> <0.2mg<sup>-1</sup>, NO<sub>2</sub><1mg<sup>-1</sup>, NO<sub>3</sub><0.1mg<sup>-1</sup>, PO<sub>4</sub><0.02mg<sup>-1</sup>.

En cuanto a la presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal, el sitio de Las Raíces presentó las mayores concentraciones de CF con 65 UFC/100 mL ( $\pm 27.5$ ) y de EF con 45 UFC/100 mL ( $\pm 6.4$ ). De acuerdo con la USEPA (2012), el límite de UFC/100 mL de EF en agua dulce debe ser menor a 30. Mientras que para los CF la NOM- 001 establece un LMP de 1,000 NPM/100, unidad que para fines de comparación puede ser equivalente a la UFC/100 mL (Hernández-Magaña, 2015). Mientras que la NOM 127-SS de Salud Ambiental-Agua para uso y consumo humano indica que para cumplir con los estándares de calidad de agua para uso y consumo humano se requiere la ausencia o no cuantificación de bacterias CF. La concentración de bacterias, así como los LMP descritos se presentan en la Figura 5.



**Figura 5.** Concentración de bacterias Coliformes Fecales (CF) y Enterococos Fecales (EF) en los arroyos evaluados del Nevado de Toluca. AB=Agua Blanca, LR= Las Raíces, SM=San Mateo Almomoloa. Límites máximos permisibles de acuerdo con la NOM- 001 (<1 UFC/100 DE CF), NOM-127 (AUSENCIA DE UFC/100). DE CF). USEPA 2012 (<30 UFC/100).

**Tabla 4.** Características físicas, químicas, hidromorfológicas y bacteriológicas de los arroyos evaluados en el Nevado de Toluca

	<b>T</b>	<b>pH</b>	<b>K<sub>25</sub></b>	<b>OD</b>	<b>Sat.OD</b>	<b>SDT</b>	<b>Q<sup>3</sup></b>	<b>CH</b>	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>NH<sub>4</sub></b>	<b>PO<sub>4</sub></b>	<b>CF</b>	<b>EF</b>
	(°C)		(μS/cm)	(mg L <sup>-1</sup> ) 1)	(%)	(mg L <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		(mg L <sup>-1</sup> )	(mg L <sup>-1</sup> )	(mg L <sup>-1</sup> )	(mg L <sup>-1</sup> ) 1)	UFC/100 mL	UFC/100 mL
<b>AB</b>	10.2-15.1	6.9-7.2	87.7-176.0	7.0-7.2	91.0-93.0	43.3-88.0	0.014-0.029	82-86	0.002-0.005	0.1-1.7	0.1-0.3	1.1-1.4	0.0	0.0
	11.6±2.4	7.1±0.1	109.7±44.2	7.1±0.1	91.7±0.9	54.6±22.3	0.023±0.008	83±2	0.003±0.001	0.5±0.8	0.2±0.1	1.3±0.1	0.0	0.0
<b>LR</b>	12.5-18.8	6.3-7.6	89.0-94.0	5.9-7.0	90.1-95.2	45.0-46.6	0.007-0.008	43	0.002-0.015	0.1-1.6	0.1-0.2	0.9-1.5	48.0-87.0	41.0-50.0
	16.4±3.5	7.0±0.7	91.4±2.5	6.4±0.5	92.7±2.6	45.6±0.9	0.008±0.0004		0.007±0.007	0.6±0.8	0.1±0.03	1.2±0.3	65±27.5	45.0±6.4
<b>SM</b>	12.3-13.3	6.3-7.6	87.8-90.1	7.0-7.4	94.3-97.7	43.5-45.0	0.001-0.032	111	0.001-0.007	0.03-1.68	0.06-0.13	1.1-1.4	0.0-1.0	0.0-1.0
	12.8±0.5	7.1±0.7	89.3±1.3	7.2±0.2	96.0±1.7	44.4±0.8	0.021±0.017		0.004±0.003	0.59±0.9	0.09±0.04	1.2±0.1	1.0±0.7	1.0±0.7

T=Temperatura; pH= Potencial de Hidrógeno; K<sub>25</sub>= Conductividad específica; OD= Oxígeno disuelto; Sat.OD= Saturación de oxígeno; Q<sup>3</sup>=Caudal; CH= Calidad Hidromorfológica. NO<sub>2</sub><sup>-</sup>=Nitritos; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>=Nitratos, NH<sub>4</sub>=Amonio, PO<sub>4</sub>= Ortofosfatos; CF= Coliformes fecales, EF= Enterococos fecales. AB= Agua Blanca; LR= Las Raíces; SM= San Mateo Almomoloa. Valores mínimos y máximos (renglón superior), promedio y desviación estándar (renglón inferior).

La evaluación de las condiciones hidromorfológicas evidenció diferencias marcadas entre los sitios, al presentar categorías de CH óptima, media y mala. La disminución en la CH estuvo asociada, principalmente, con alteraciones en la vegetación de ribera y el cauce, el desarrollo de actividades pecuarias, la desviación de agua y la contaminación por residuos sólidos. El puntaje total de CH en los sitios no cambió durante las colectas, excepto en Agua Blanca, como respuesta al incremento de actividades pecuarias y el número de desviaciones de agua.

El manantial de la comunidad Las Raíces obtuvo una CH marginal (Tabla 5), debido a una disminución de vegetación nativa, poca cobertura de la vegetación de ribera y la presencia de contaminación por residuos sólidos.

**Tabla 5.** Características hidromorfológicas evaluadas en los arroyos del Nevado de Toluca

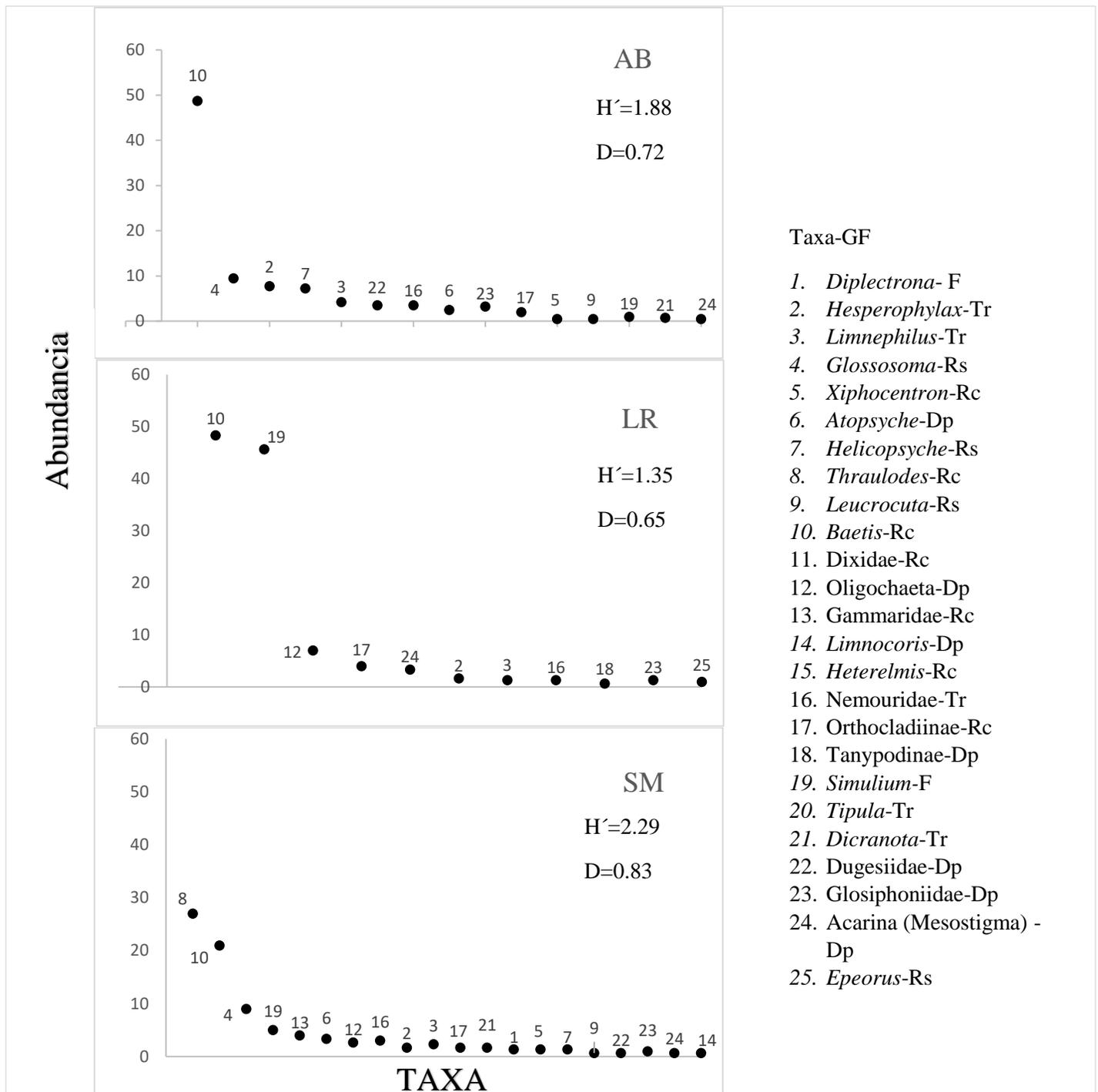
PARÁMETROS	SITIOS		
	AB	LR	SM
<b>1. Cobertura vegetal (Nativa)</b>			
<b>Ribera derecha</b>	3	0	5
<b>Ribera izquierda</b>	3	0	5
<b>2. Estabilidad del banco</b>	7	1	10
<b>3. Características del sustrato</b>	4	1	10
<b>4. Desarrollo de ganadería y agricultura en la zona de ribera</b>			
<b>Ribera derecha</b>	3	2	5
<b>Ribera izquierda</b>	3	2	5
<b>5. Presencia de presas</b>	10	0	10
<b>6. Regímenes de velocidad/profundidad</b>	4	1	4
<b>7. Alteración en el canal</b>	4	4	7
<b>8. Estado del canal</b>	7	4	10
<b>9. Efluentes directos al río por uso doméstico</b>	10	10	10
<b>10. Desarrollo urbano</b>	7	7	10
<b>11. Desarrollo humano</b>	7	7	10
<b>12. Presencia de contaminación orgánica y residuos sólidos</b>	10	4	10
	82	43	111
<b>Calidad Hidromorfológica</b>	<b>SUB-ÓPTIMO</b>	<b>MARGINAL</b>	<b>ÓPTIMA</b>

Arroyos: AB=Agua Blanca; LR=Las raíces; SM= San Mateo Almomoloa

b. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores del estado ecológico

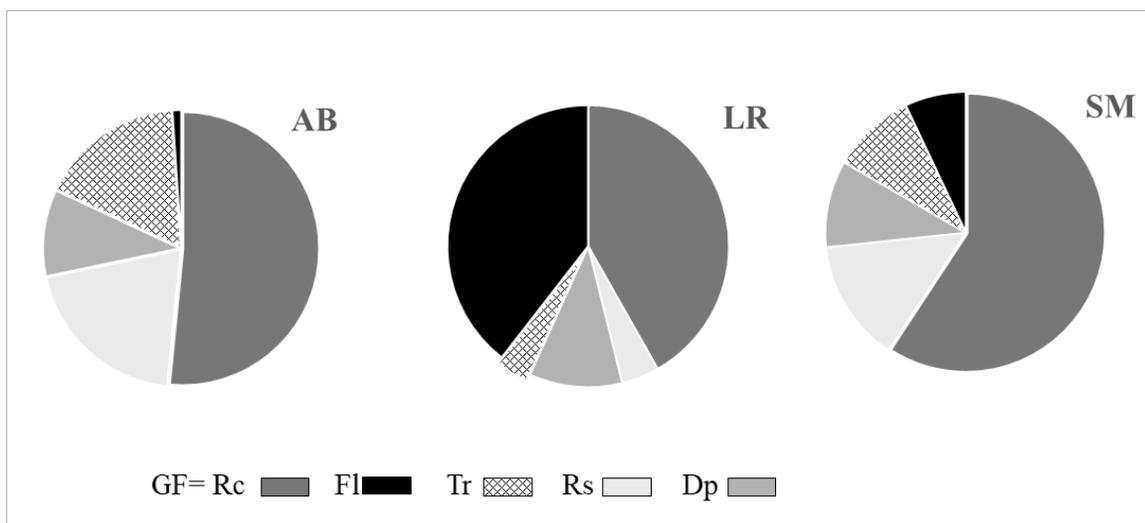
Se colectaron e identificaron un total de 1,002 individuos clasificados en 16 géneros, cinco familias, dos sub-familias, una clase y un orden (Figura 6).

De manera global, el Ephemeroptero *Baetis* representó el 40% del total de individuos colectados en los tres sitios, siendo dominante en dos localidades: Agua Blanca y las Raíces. El primer sitio presentó un total de 15 taxa de macroinvertebrados siendo *Baetis* dominante con el 50% de la abundancia total, seguido del tricóptero *Glossosoma* (10%). El sitio Las Raíces tuvo 11 taxa, donde el 42% del ensamble estuvo representado por *Baetis*, seguido del díptero *Simulium* con el 40% del total de individuos. San Mateo Almomoloa registró el mayor número de taxa (20), siendo *Thraulodes* el género dominante, seguido de *Baetis*, representando en conjunto el 53% del total de individuos.



**Figura 6.** Abundancia promedio de macroinvertebrados por sitio de muestreo en arroyos del Nevado de Toluca. LR= Las Raíces, SM= San Mateo Almomoloa. GF=Grupo Alimenticio predominante, Dp= depredador, Tr= triturador, F= Filtrador, Rc= Recolector, Rs= raspador. Índices de Diversidad:  $H'$ =Índice de Shannon-Weinner,  $D$ = Índice de Simpson.

Los Grupos Funcionales Alimenticios (GFA) correspondientes a cada taxa por sitio, pueden verse en la Figura 7. En los tres sitios, los organismos con hábitos recolectores tuvieron la mayor representatividad (50%), seguido de los filtradores (18%) y los raspadores (12%). La menor proporción estuvo representada por los depredadores y los trituradores, cada uno con el 10 % de cobertura total.



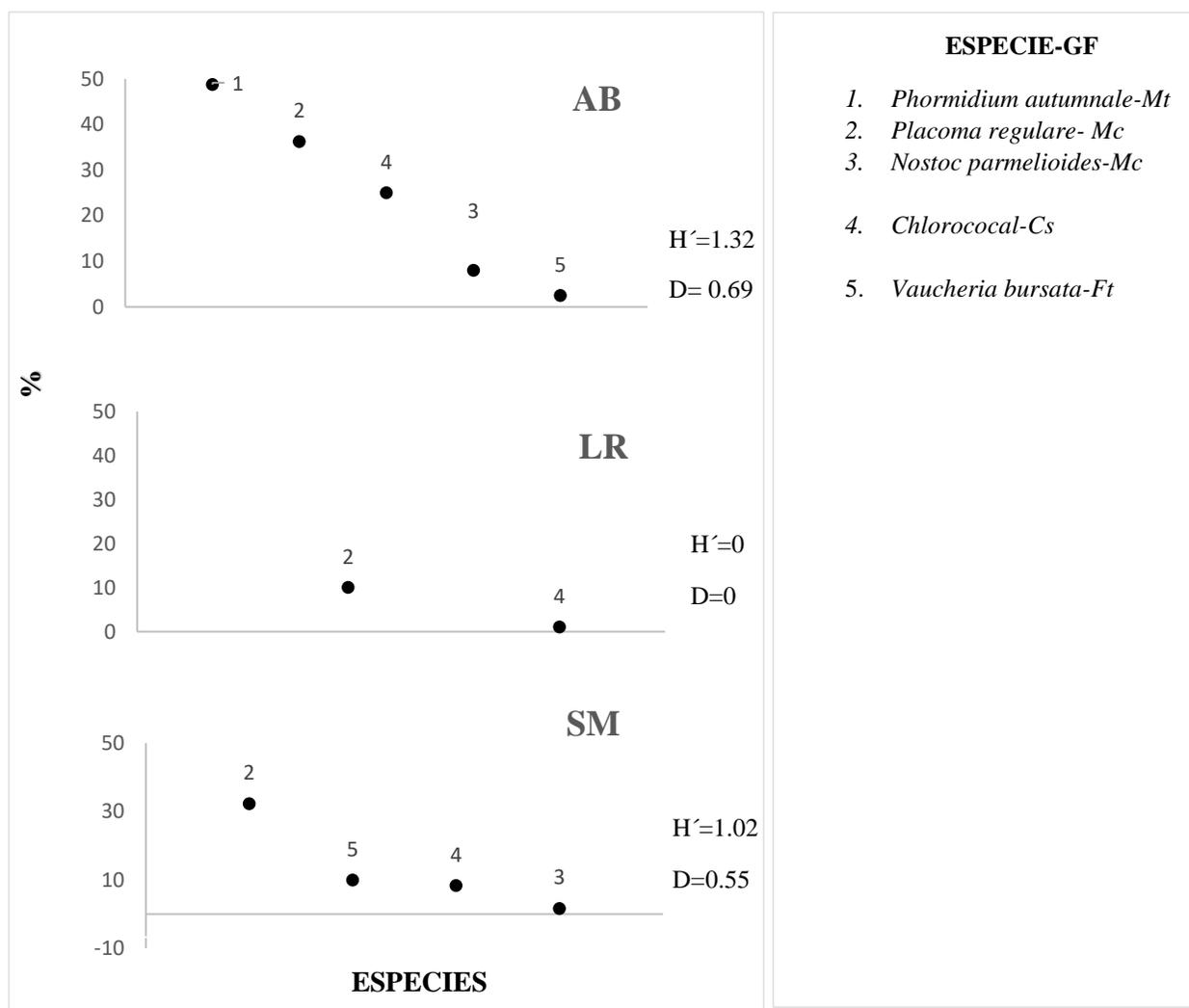
**Figura 7.** Proporción de los Grupos Funcionales Alimenticios de macroinvertebrados en arroyos del Nevado de Toluca. Rc= Recolectores, Fl= Filtradores, Tr= Trituradores, Rs= Raspadores, Dp= Depredadores. AB=Agua Blanca, LR= Las Raíces, SM=San Mateo Almomoloa.

### c. Las algas macroscópicas como indicadores del estado ecológico

Se identificaron las siguientes especies de algas bentónicas macroscópicas: *Phormidium autumnale*, Gomont, 1982; *Placoma regulare*, P.A.Broady & M.Ingerfeld, 1991; *Nostoc parmelioides*, Kützing ex Bornet & Flahault 1886 del filo Cyanophyta; una Chlorococal del filo Clorophyta y *Vaucheria bursata* (O.F.Müller) C.Agardh, 1811 perteneciente a Ochrophyta.

De manera general, la especie *Placoma regulare* obtuvo los mayores valores promedio de cobertura (27%) del total de las muestras, seguido de *Phormidium autumnale* (20%) y una clorophyta *Chlorococal* (13%). Las menores coberturas fueron representadas por *Nostoc parmelioides* y *Vaucheria bursata*, ambos con 4% del total de las muestras.

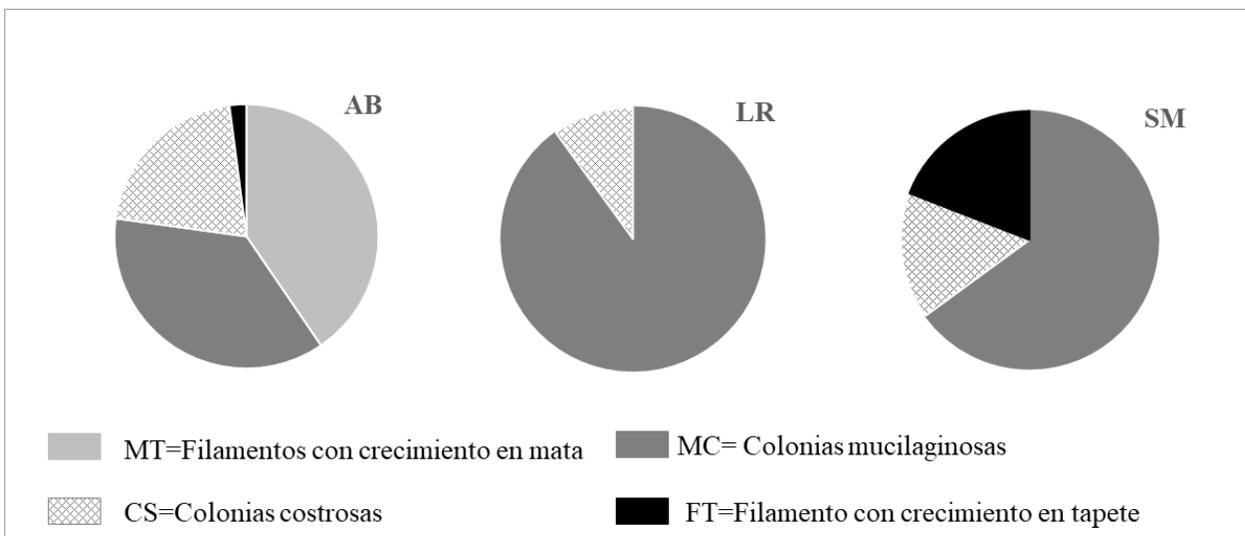
De manera particular, en el arroyo de Agua Blanca se registraron todas las especies de algas identificadas en el estudio, en promedio, *Phormidium autumnale* presentó los mayores porcentajes de cobertura (40%), seguido de *Placoma regulare* (30%). En el sitio Las Raíces se presentaron únicamente dos especies con coberturas porcentuales bajas: *Placoma regulare* (10%) y la Chlorococal (1%). Finalmente, en San Mateo Almomoloa se registró a todas las especies, excepto *Phormidium autumnale*. En el sitio, *Placoma regulare* tuvo la mayor cobertura porcentual (62%), seguido de *Vaucheria bursata* (19%) (Figura 8).



**Figura 8.** Promedio de cobertura porcentual de algas por sitio de muestreo en los arroyos del Nevado de Toluca. GF=Grupo Funcional, Mt= Filamento con crecimiento en mata, Mc= Colonia mucilaginosa, C=Colonia costrosa, Ft=Filamentos con crecimiento en tapete. AB=Agua Blanca, LR= Las Raíces, SM=San Mateo Almomoloa, Índices de Diversidad:  $H'$ =Shannon-Weinner,  $D$ =Simpson.

De manera general, el GF con mayor proporción del total de las colectas fue el correspondiente a las colonias mucilaginosas (48%), representado por *Nostoc parmelioides* y *Placoma regulare*. Seguido del filamento con crecimiento en forma de mata (26%) representado por *Phormidium autumnale*. El crecimiento de colonias costrosas tuvo una proporción promedio de 19% representado por la Chlorococal. Finalmente, la menor proporción de cobertura la tuvo el crecimiento filamentosos con crecimiento en tapete (*Vaucheria bursata*), que representó 8% del total.

El sitio Agua Blanca tuvo la dominancia de colonias mucilaginosas y filamentos con crecimiento en mata, que abarcaron casi 80% de las coberturas, mientras que, en las Raíces, derivado de que se presentó coberturas bajas de *Placoma regulare* y *Chlorococal*, estuvo dominada por el GF del crecimiento mucilaginoso. El sitio con mayor heterogeneidad en las proporciones de grupos fue San Mateo Almomoloa, que presentó mayor proporción de las colonias mucilaginosas, seguido de las costrosas y, finalmente, la forma filamentosos en forma de tapete (Figura 9).



**Figura 9.** Proporción de Grupos Funcionales de las algas macroscópicas de arroyos del Nevado de Toluca. Mt= Filamento con crecimiento en mata, Mc= Colonia mucilaginosas, C=colonias costrosas, F=Filamentos con crecimiento en tapete. AB=Agua Blanca, LR= Las Raíces, SM= San Mateo Almomoloa.

## **10.2 Actividades económicas, uso de los arroyos y relación de los pobladores locales con la figura de Área de Protección de Flora y Fauna**

### **a. Características generales de las comunidades del estudio**

Del total de encuestas (116), el promedio de edad fue de 44 años, con una representatividad de mujeres del 72% y de hombres del 28%. Del total, 50% son originarios de las comunidades del estudio.

La principal actividad económica de los pobladores del Nevado de Toluca es la agricultura (59%), seguido del trabajo asalariado (18%) y del comercio (8%). La agricultura es generalmente de tipo temporal, con uso de fertilizantes (63%) y de pesticidas (45%). El 21% del total de encuestados dijo desempeñarse en empleos en los centros urbanos más cercanos, principalmente en la Ciudad de Toluca. Pese a no ser la principal ocupación, el porcentaje de personas que desarrollan prácticas pecuarias representa casi 50%, por lo que representa una actividad complementaria importante para satisfacer las necesidades de la población. El ganado se encuentra en mayor proporción libre en los terrenos o semi-estabulados, realizando pastoreo en los terrenos adyacentes. Para 34% de las personas que desarrollan ganadería, la principal fuente de agua son los ríos y manantiales, por lo que dichos ecosistemas se conciben como base para el desarrollo ganadero.

Las actividades turísticas las realiza un porcentaje reducido de la población encuestada (12%). Entre éstas se registraron acciones como las visitas guiadas para el avistamiento de la mariposa monarca y la venta de alimentos a turistas en las faldas del volcán Nevado de Toluca.

Entre los principales problemas de vivir en la localidad, los pobladores exponen la carencia de transporte y la lejanía de centros urbanos (13%). La localidad de Baldío Amarillo se encuentra a 7 km de Calimaya de Díaz González, Las Raíces y Agua Blanca a 29 y 41 km, respectivamente, de Toluca de Lerdo y, finalmente, San Mateo Almomoloa se encuentra a 23 km de Temascaltepec.

b. Abastecimiento de agua, servicio de saneamiento y percepción de cambios en los ecosistemas acuáticos

Más de la mitad de la población encuestada (62%) expuso tener como principal fuente de agua a los arroyos ubicados en el Nevado de Toluca, seguido de agua entubada (28%)<sup>12</sup>, de los lagos del cráter del NT (8%) y finalmente, de otros medios (2%), como el acarreo de agua desde los centros urbanos a las comunidades o la compra de garrafones. El agua proveniente de los arroyos del área es utilizada para consumo humano y para las actividades domésticas, principalmente, además de servir para el mantenimiento del ganado. La carencia de agua resultó ser un elemento importante dado que más de 60% de la población expresó tener problemas por la falta del recurso para el desarrollo de sus actividades de subsistencia. Además, identificaron al crecimiento de la población local como el principal factor de cambio, ya que el agua tiene que ser racionada por las comunidades, a través del llamado tandeo de agua<sup>13</sup>.

Respecto al sistema de saneamiento, únicamente 18% de los encuestados reconoció tener un sistema de drenaje; dos terceras partes de los encuestados (69%), desecha los residuos de agua directamente en el terreno, así como la deposición de residuos en fosas sépticas.

En cuanto a la percepción de cambios en el estado de conservación de los ríos y manantiales del área, en el estudio se registró una mayor proporción de personas que detectan una disminución en la cantidad de agua de los ríos (58%), principalmente asociada con el crecimiento demográfico, en comparación con aquellas que detectan una disminución en la calidad del agua (18%), relacionada principalmente con la contaminación asociada al turismo.

---

<sup>12</sup> Los pobladores que dijeron tener agua entubada en sus hogares cuentan con infraestructura para distribuir el recurso desde fuentes superficiales presentes en el territorio hasta los hogares.

<sup>13</sup> Distribución de agua por grupos o comunidades en días a la semana.

c. Conocimiento en torno a la figura de Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Aproximadamente 80% de las personas encuestadas dijo ignorar el cambio de categoría de conservación en el Nevado de Toluca de Parque Nacional a Área de Protección de Flora y Fauna. Así mismo, todos desconocen la localización de su comunidad dentro de la zonificación establecida por la CONANP y, la mayoría, las actividades permitidas de acuerdo con Programa de Manejo del APFFNT (88%). Se presentó un mayor número de casos de conocimiento en torno a las actividades prohibidas en la zona (20%), dados los conflictos desencadenados con las instituciones encargadas de la vigilancia del APFFNT. Con ello, más de 80% de los encuestados dijo que la nueva figura de área protegida no afecta de ninguna manera en sus condiciones de vida, 14% que afecta de manera negativa y únicamente el 4% expuso que afecta de manera positiva. Se encontró que la población con mayor conocimiento en torno al ANP tenía cargos en el núcleo agrario; por ejemplo, los comisariados de bienes ejidales.

Las síntesis de la información generada en el estudio mediante el levantamiento de encuestas, dividida por comunidades, pueden verse en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Síntesis de los resultados de la encuesta aplicada en comunidades del Nevado de Toluca expresados en porcentajes de respuestas positivas<sup>14</sup>

LOC	No.	EDD	SX		ORG	SUBZ	PAEC						FER	PES	DNJ	FA			CARAGU	AGA	CANT	CAL	APFF	ZON	A.PER	A.PROH	
			(%)	(%)			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)				(%)	(%)	(%)									(%)
		M	F				AG	GN	TUR	COM	FR	ASAL	Otro				EA	AE	Otro								
BA	2	49	2	0	0	ASEA	100	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	50	50	0	100	50	0	50	0	50	50
SJT	2	44	50	50	0	ASEA	100	0	0	0	0	0	0	50	50	0	100	0	0	0	100	50	50	0	0	0	100
AB	5	36	20	80	40	ASRN	40	20	0	0	20	0	20	0	0	0	100	0	0	0	100	40	20	100	0	40	80
DS	68	44	28	72	68	ASEB	66	7	0	3	19	3	1	95	69	1	65	32	3	70	68	45	19	1	0	4	4
LR	29	44	21	79	79	AH	34	3	0	21	0	21	21	62	38	66	69	31	0	41	66	59	17	55	0	24	38
SM	10	44	40	60	80	NA	60	0	20	10	0	10	0	88	50	10	100	0	0	100	100	70	20	10	NA	NA	NA

**LOC**=Localidad, **BA**=Baldío Amarillo, **SJT**= San Juan Tepehuizco, **AB**= Agua Blanca, **DS**= Dilatada Sur, **LR**= Las Raíces, **SM**= San Mateo Almomoloa. **No**= Número de encuestas efectuadas por comunidad, **EDD**=Promedio de edad, **SX**= Sexo, **ORG**=Personas originarias de la localidad, **SUBZ**= Subzona del APFFNT a la que pertenece la localidad, **ASRN**= Subzona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales: Áreas Forestales, **ASEA**= Aprovechamiento Sustentable de los Ecosistemas: Áreas Agropecuarias A, **ASEB**= Aprovechamiento Sustentable de los Ecosistemas: Áreas Agropecuarias B, **AH**= Asentamientos Humanos. **PAEC**= Principal Actividad Económica, **AG**= Agricultura, **GN**= Ganadería, **TUR**= Turismo, **COM**= Comercio, **FR**= Forestal, **ASAL**= Trabajo asalariado. **FER**= Personas que utilizan fertilizantes en la agricultura, **PES**= Personas que utilizan pesticidas en la agricultura, **DNJ**= Personas que cuentan con un sistema de drenaje conectado a la red. **FA**= Fuente de Agua, **EA**= Ecosistemas acuáticos, **AE**= Agua Entubada. **CARAGU**= Personas con carencia de agua para llevar a cabo actividades de subsistencia, **AGA**= Personas cuya fuente principal de agua para el ganado son los ecosistemas acuáticos adyacentes. **CANT**= Percepción de disminución en la cantidad de agua de los ecosistemas acuáticos adyacentes, **CAL**= Percepción de disminución de la calidad de agua de los ecosistemas adyacentes. **APFF**=Conocimiento del cambio de categoría de Parque Nacional a Área de Protección de Flora y Fauna. **ZON**= Conocimiento de la subzona del APFFNT a la que pertenece la comunidad **A.PER**= Conocimiento de las actividades permitidas en la zona, **A. PROH**= Conocimiento de las actividades restringidas en la zona

<sup>14</sup> Pese a que el número total de encuestas levantadas constituye una muestra representativa, con un nivel de confianza del 95% y un error de 0.05, el desglose de información por localidad resulta limitado debido al bajo número de encuestas efectuadas en comunidades pequeñas, tal es el caso de Baldío amarillo y San Juan Tepehuizco, con valores de viviendas particulares habitadas <10. Al realizar el desglose se corre el riesgo de estimar parámetros con poca precisión o no detectar diferencias entre grupos.

### 10.3 Variables asociadas al uso de los arroyos como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca

De acuerdo con la prueba Shapiro-Wilk, para la variable dependiente (Ecos-Acua-FA) se acepta la hipótesis nula de distribución normal ( $p > 0.05$ ) ( $W = 0.57$ ,  $p > 0.05$ ), al igual que para la variable explicativa de presencia de cuerpos de agua superficial adyacente (Cuer-Agua) ( $W = 0.61$ ,  $p = 5.50$ ), por lo cual se procedió a realizar en Análisis de Varianza (ANOVA).

El ANOVA mostró que para el caso de la variable Cuer-Agua se tiene un valor de significancia mayor al 5% ( $p = 0.07$ ), por lo que se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias (Tabla 7).

**Tabla 7.** Análisis de Varianza- Uso de los ríos y manantiales como principal fuente de agua y cercanía a cuerpos de agua superficiales

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados
Tratamiento	0.66	1	0.66
Residuo	23.77	114	0.20
Total	24.43	115	0.21

$F(1, 114) = 0.66/0.20 = 3.21$  ( $p = 0.07$ )

Nivel	Significado	n	Media	Desviación típica
0	Sin cuerpos de agua superficiales cercanos a la localidad.	72	0.63	0.48
1	Con cuerpos de agua superficiales cercanos a la localidad.	44	0.79	0.40

Media global = 0.69

#### a) Modelo de regresión logística

Los resultados de la estimación del modelo econométrico final incluyen los valores del peso ( $m$ ) y relación de cada variable explicativa (+/-) respecto a la dependiente. El modelo general es estadísticamente significativo con un intervalo de confianza del 95% ( $Chi = 0.05$ ) y clasifica correctamente el 79.4% de los casos, lo que significa que, en conjunto, las variables independientes permiten explicar en buena medida el uso de agua de ríos y arroyos como principal fuente de agua en los hogares.

Todos los coeficientes de las variables explicativas son estadísticamente significativos al 10% ( $P \leq 0.1$ ), excepto la variable Disminución en la Cantidad de Agua (Dism-Cant) y Trabajo

Asalariado (Asalar), las cuales, pese a no ser estadísticamente significativas, son importantes desde el punto de vista de la explicación del uso del agua de acuerdo con la revisión de literatura realizada, el trabajo de campo y el comportamiento del modelo.

Las variables relacionadas positivamente con la variable dependiente fueron la fuente de agua para ganado (Agua-Gan), la cual tuvo uno de los mayores pesos en el modelo (0.27), la carencia de agua (Car-Agua), la percepción de disminución en la cantidad de agua (Dism-Cant), la presencia de cuerpos de agua adyacentes (Cuer-Agua) y el trabajo asalariado (Asalar). La variable sexo (0=Femenino, 1=masculino) estuvo relacionada negativamente con la variable dependiente con un peso de -0.27 (Tabla 8).

**Tabla 8.** Resultados del modelo econométrico para explicar el uso del agua proveniente de ríos y arroyos como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca

<b>COD</b>	$\beta$	<b>DESV</b>	<b>m</b>	<b>p</b>	
Const.	-1.315	0.970	-1.356	0.175	
Sx	-1.377	0.743	-0.274	0.0639	*
Agua-Gan	1.899	0.887	0.273	0.0324	**
Car-Agua	1.214	0.688	0.234	0.0775	*
Dism-Cant	0.872	0.817	0.178	0.2855	
Cuer-Agua	1.309	0.690	0.218	0.0577	*
Asalar	1.202	0.852	0.170	0.158	

Sx=Sexo, Agua-Gan=Fuente de agua para ganado, Car-Agua=Carencia de agua, Dism-Cant=Percepción de disminución en la cantidad de agua, Cuer-Agua=Presencia de cuerpos de agua adyacentes, Asalar= Trabajo asalariado.  $\beta$ =Valor del coeficiente, DESV= Desviación estándar típica, m= valor de la pendiente, p= valor de significancia, \*= variables con mayor significancia.

#### **10.4 Evaluación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca: la conservación de los ecosistemas acuáticos**

- a. Etapa 1. “*Desglose por problema*”: Degradación del estado ecológico de los ríos y manantiales del Nevado de Toluca

En el estudio se analizaron los elementos de degradación a escala local bajo un enfoque de manejo integrado del agua, donde no sólo se contempla los elementos de calidad y cantidad de agua, si no se da valor al mantenimiento de la integridad ecosistémica (Ruelas-Monjardín, 2017).

Entre los impactos directos más importantes sobre el estado ecológico de los arroyos se encuentran aquellos relacionados con las actividades asociadas a las comunidades locales. Una de las fuentes de contaminación difusa se deriva de los asentamientos humanos, ya que generalmente carecen de servicios básicos, especialmente drenaje, situación que ha provocado que las aguas residuales domésticas sean vertidas a cielo abierto o a los ríos y arroyos del área (Olvera y Pichardo, 2017). Así mismo, derivado de la carencia de un plan de manejo de los residuos se reconoce que los cuerpos de agua y áreas forestales son zonas de desecho de detergentes, restos de comida y residuos sólidos (CONANP, 2016).

En esta misma línea, las actividades turísticas juegan un papel muy importante, pues se tiene registrado un problema de contaminación en vialidades, áreas boscosas y cuerpos de agua, producto de la basura generada por el turismo (CONANP, 2016). En el estudio se identificó la presencia de sanitarios para los visitantes ubicados a las orillas de los arroyos, lo cual implica un potencial factor de degradación de la calidad de agua.

Por otro lado, un gran porcentaje de las actividades agrícolas usan agroquímicos como fertilizantes y plaguicidas. Con ello, las concentraciones de las sustancias en los suelos aumentan y, con las lluvias, éstas son lavadas y transportadas aguas abajo, o bien, se infiltran con la posibilidad de contaminar el manto freático (Olvera y Pichardo, 2017). Respecto a las actividades pecuarias, la ganadería no ordenada es un factor de disminución en la calidad del agua dado que, los animales al abreviar directamente en el río suelen aportar heces fecales. Además, el pastoreo es una práctica común en el Nevado de Toluca y al realizarse a las orillas de los cauces puede impactar en la vegetación ribereña. Justamente, mediante el trabajo en campo se identificó que uno de los

elementos más afectados del ecosistema es la calidad de la vegetación ribereña, la cual se ve disminuida en las áreas con mayor actividad turística y agropecuaria. Así mismo, los programas de reforestación promueven la plantación de ciertas especies arbóreas; sin embargo, se puede ocasionar pérdida en la cobertura de los estratos herbáceos y arbustivos que son elementos básicos para el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

Del mismo modo, la disminución, represamiento o el agotamiento total de los caudales de los ríos, ocasionados por la inadecuada construcción, diseño y/u operación de las obras para el abastecimiento de agua es un factor que ocasiona una degradación importante (Olvera y Pichardo, 2017). La infraestructura para el abastecimiento de agua suele impactar sobre diversos elementos del ecosistema, como en la vegetación riparia, el cauce y los sustratos inorgánicos, lo cual provoca una inestabilidad en el ecosistema. Así mismo, las desviaciones de agua suelen no contemplar el caudal ecológico, es decir, “la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua reservada para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres” (GOB, 2012)

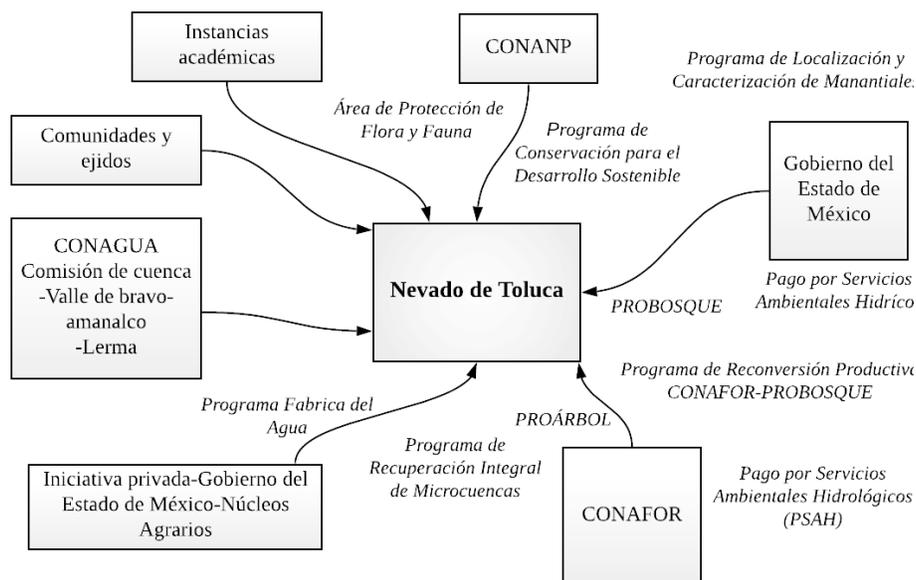
**Indicadores de Fuerza Motriz:** memoria del problema y estrategias de conservación

En el Nevado de Toluca la concepción de problemas ambientales en torno a los recursos hídricos, planteados por los programas federales, se basan en dos líneas: 1) la escasez del agua para abastecer a las comunidades locales y regionales y., 2) la disminución en la calidad del agua. En la primera línea, entre los principales detonantes del problema se encuentra la sobre-explotación de agua subterránea, la deforestación y el cambio de uso de suelo, que han resultado en un descenso importante del nivel piezométrico, disminución de los caudales de ríos, pérdida de un importante número de manantiales, así como de la producción permanente de agua durante el ciclo anual (Olvera y Pichardo 2017). Respecto a la segunda línea, se identifica la falta de ordenamiento de las actividades humanas, como la ganadería, el turismo y la acuicultura que han desencadenado una degradación en la calidad del agua superficial y subterránea (CONANP, 2016).

En México, la conservación de las áreas forestales se ha priorizado debido a su importancia en la generación de servicios ambientales, uno de los más destacados son los hidrológicos, donde se parte de la hipótesis de que la presencia de los bosques contribuye a regular el ciclo hidrológico,

aumentando a su vez la infiltración del agua al subsuelo (Peñuela Arévalo, 2012). En este sentido, en el Nevado de Toluca se efectuaron diversas estrategias para la conservación de los recursos naturales, la mayor parte enfocada en la protección, conservación y mantenimiento de la cobertura forestal y el fomento al ecoturismo.

Entre las respuestas más importantes se destaca la protección del territorio bajo la figura de Parque Nacional, el Programa Fábrica del Agua, el Programa de Empleo Temporal, el Programa para la Conservación y Desarrollo Sustentable (PROCOCODES), el Programa de Reforestación y Restauración Integral de Microcuencas (PRORRIM), el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hídricos, el Programa Especial para la Restauración de microcuencas en Zonas Prioritarias: Nevado de Toluca y el Programa de Reversión Productiva. Los actores que intervienen en la implementación de los programas y acciones de conservación son diversos, entre los cuales se encuentran instituciones federales como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Gobierno del Estado de México, los propietarios de los bienes comunales y ejidales, instancias académicas, así como la sociedad civil y privada (Figura 10).



**Figura 10.** Instituciones y actores involucrados en la aplicación de los programas de conservación en el Nevado de Toluca

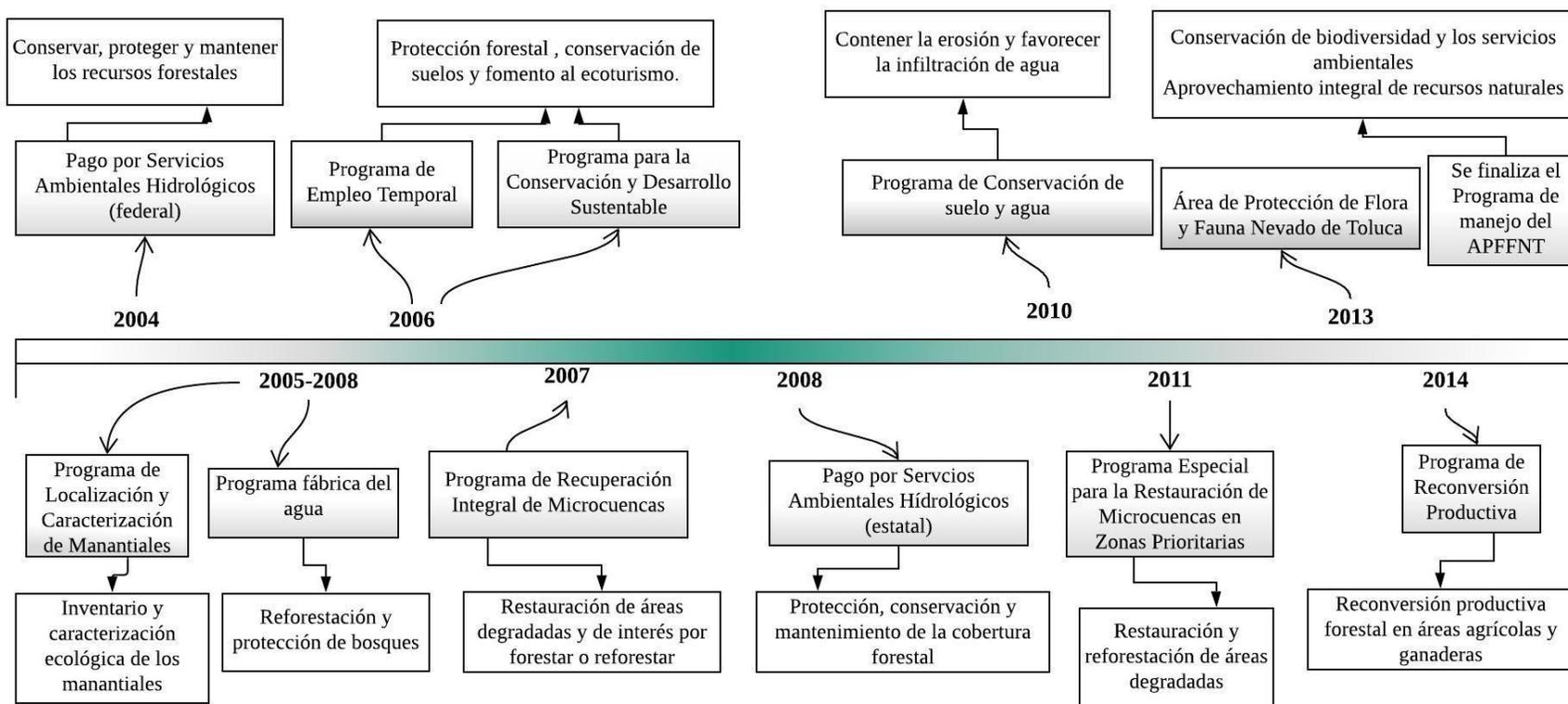
Así mismo, dentro de los objetivos primordiales del APFFNT se da prioridad a la protección de las zonas forestales para asegurar el mantenimiento de los servicios hídricos:

-“Proteger las zonas forestales del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca donde se originan las dos Regiones Hidrológicas Lerma- Santiago y Balsas, que representan un alto valor debido a su capacidad de captación de agua y que alimentan acuíferos que permiten el abasto de agua a la ciudad de Toluca, su zona metropolitana y parte del Valle de México, así como el desarrollo de actividades productivas y la subsistencia de los ecosistemas que se desarrollan en el Área Natural Protegida y los ecosistemas aledaños”.

- “Conservar las fuentes de alimentación de las aguas de los ríos y la formación de manantiales y lagunas del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, cuyo régimen hidráulico se sostiene a partir de su cubierta boscosa, que evita la erosión de sus terrenos en declive y mantiene el equilibrio climático”.

Uno de los antecedentes más importantes en la atención al problema de degradación ecológica de los sistemas lóticos del Nevado de Toluca es el Programa de Localización y Caracterización de los manantiales del Estado de México, iniciado en el año 2005 por la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México. El objetivo del proyecto fue: “contar con un inventario preciso de los manantiales existentes en varios municipios, obteniendo información sobre su ubicación y sus características físicas, hidráulicas, químicas y biológicas, como una estrategia estatal de conservación, protección y recuperación; así como sus principales riesgos de afectación física negativa y contaminación, obtenido todo ello a través de la concertación con las comunidades dueñas o poseedoras del recurso para sumarlos a la protección y restauración de las zonas generadoras de agua”. En el año 2014 se caracterizaron un total de 10,554 manantiales y en el año 2017 se registra la cifra de 12,872 manantiales en 34 municipios del Estado de México (GEM, 2017). Las síntesis cronológicas de las principales estrategias de conservación implementadas en el Nevado de Toluca se presentan en la Figura 11.

**Figura 11.** Cronología de las estrategias de conservación implementadas en el Nevado de Toluca y sus principales objetivos



Fuente de información: Olvera y Pichardo, 2017; CONANP, 2016; GEM, 2017.

## Identificación de objetivos, metas, actividades y acciones relacionadas con la conservación del agua en el Programa de Manejo

Como producto de la revisión del Programa de Manejo del APFFNT, en el Anexo III se presenta una síntesis en torno a los objetivos, metas y actividades planteadas en el PM relacionadas directamente con la conservación de los ecosistemas acuáticos.

Los componentes identificados en el Programa de manejo se incluyen en los subprogramas de Manejo y de Restauración. Para cada actividad se asigna un plazo de cumplimiento; de acuerdo con CONANP (2016), el corto plazo (C) se refiere a un periodo entre uno y dos años, el mediano plazo (M) de entre tres y cuatro años y el largo plazo (L) se refiere a un periodo mayor a cinco años. Finalmente, el periodo permanente (P) se asigna a las acciones o actividades que se deberán operar por plazos indefinidos. En este sentido, la mayor parte de las acciones para la conservación del agua en el APFFNT se plantean en un corto y mediano plazo. Se incluye un ordenamiento del uso del agua en la actividad acuícola, promover la elaboración de un programa de protección de agua y suelo, así como de la regularización de las concesiones para el aprovechamiento del agua en el APFFNT e impulsar programas de limpieza en los arroyos, entre otros (Tabla 9).

**Tabla 9.** Actividades y acciones establecidas en el Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca relacionadas con la conservación de los ecosistemas acuáticos

Actividad	Acciones	Plazo
Realizar un diagnóstico de las actividades acuícolas que se llevan a cabo al interior del APFFNT	-Desarrollar un estudio que caracterice la actividad psícola, temporalidad y volúmenes aproximados e identifique a los principales usuarios acuícolas, el impacto generado por sus actividades y los criterios para mitigar sus efectos.	M
	-Gestionar la realización del ordenamiento del uso del agua dentro del área natural protegida.	M
Actualizar el diagnóstico de la actividad agropecuaria y su impacto sobre los ecosistemas del área natural protegida	-Gestionar ante instituciones académicas la realización de un análisis del impacto de las prácticas agrícolas sobre el suelo, agua y biodiversidad.	C

<b>Actividad</b>	<b>Acciones</b>	<b>Plazo</b>
Elaborar un manual que permita promover buenas prácticas en la agricultura	Elaborar un manual de buenas prácticas para las actividades agropecuarias.	M
	Elaborar protocolos de manejo sustentable para cada actividad agropecuaria, que incorpore los resultados de diagnóstico realizado, así como hallazgos previos.	M
Impulsar proyectos agropecuarios demostrativos	Desarrollar un proyecto de ganadería estabulada o semiestabulada en coordinación con las autoridades competentes y ganaderos.	M
Impulsar un programa de reconversión productiva	Promover la reconversión de los usos agrícolas y ganaderos a proyectos agroforestales y agropastoriles, en coordinación con las autoridades competentes.	M
Elaborar un programa de evaluación del estado de conservación de las cuencas del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.	Establecer convenios con universidades, centros de investigación y Organizaciones de la Sociedad Civil para llevar a cabo investigaciones que generen la información para la mejor toma de decisiones para la restauración del área natural protegida.	M
	Elaborar un diagnóstico por microcuenca para la identificación de áreas impactadas por la deforestación y erosión, y sus formas de uso.	M
Promover el manejo y uso sustentable del bosque, suelo y agua para garantizar la continuidad de los procesos ecológicos	Promover la elaboración de un programa de protección del suelo y agua con fines de conservación y restauración de áreas erosionadas con las autoridades competentes.	C
	Coordinar con la CONAFOR, CONAGUA, PROBOSQUE acciones de restauración de suelos en cuencas que han sido severamente impactadas iniciando en las cabeceras y aplicando diferentes técnicas.	C
	Gestionar la realización de estudios en los bosques fragmentados por la agricultura y/o ganadería para la implementación de sistemas agroforestales, teniendo como fin último la reconversión.	L
	Promover la regularización de las concesiones para el aprovechamiento del agua en el Área Natural Protegida.	C
	Promover la realización de monitoreo periódicos para monitorear la calidad del agua en las principales corrientes del Área Natural Protegida.	C

<b>Actividad</b>	<b>Acciones</b>	<b>Plazo</b>
	Determinar con la autoridad competente para mejorar la calidad del agua en sitios que se detecten como problemáticos.	P
	Realizar obras de control de la erosión laminar a través de la construcción de presas de rama, piedra acomodada.	P
	Realizar obras de corrección de cárcavas	P
Realizar un diagnóstico del estado de conservación de la vegetación acuática y subacuática	Gestionar la realización de trabajos de investigación encaminados a evaluar el estado de conservación de los cauces y riberas de los ríos y sus procesos erosivos y otros daños como la deforestación de la vegetación acuática y subacuática.	C
	Elaborar una base de datos cartográfica para monitorear las áreas prioritarias para la conservación.	M
	Impulsar programas de limpieza en los arroyos que son utilizados como depósito de basura y constante vigilancia para evitar la disposición de aguas residuales a los ríos y arroyos.	C
	Desarrollar y aplicar un programa para la protección y en su caso restauración de la vegetación acuática y subacuática.	M
	Elaborar un programa anual de recuperación de la vegetación acuática y subacuática con trabajos de limpieza de cauces en coordinación entre instituciones gubernamentales, dueños y poseedores.	P

Fuente: CONANP (2016)

## **Zonificación de actividades**

En el anexo IV se incluyen las actividades permitidas y restringidas para cada una de las comunidades del estudio de acuerdo con el Programa de Manejo. Según CONANP (2016), la comunidad Agua Blanca se encuentra en la subzona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales: Áreas Forestales, en esta zona se incluyen las superficies con bosques densos y semidensos de pino y oyamel que pueden aprovecharse bajo esquemas de aprovechamiento sustentable. Las comunidades de Baldío Amarillo y San Juan Tepehuizco se ubican en aprovechamiento Sustentable de los Ecosistemas Áreas Agropecuarias A, donde se incluyen las superficies que presentan actualmente usos agrícolas y pecuarios. Por su parte, Dilatada Sur se encuentra en la subzona de Aprovechamiento Sustentable de los Ecosistemas Áreas Agropecuarias B, donde se encuentran usos agrícolas y pecuarios y, además, existen casas habitación aisladas. Por último, la comunidad de las Raíces, pertenece a la subzona de Asentamientos Humanos, que incluye las superficies donde se ha llevado a cabo una modificación sustancial de los ecosistemas originales debido al desarrollo de asentamientos humanos.

En cada una de las comunidades, independientemente de la subzona a la que pertenezcan, se encuentra prohibido el “arrojar, verter, descargar o depositar desechos orgánicos, residuos sólidos o líquidos u otro tipo de sustancia contaminantes como insecticidas, fungicidas y pesticidas, entre otros, en el suelo, subsuelo y cualquier clase de cauce, vaso, acuífero y manantial o desarrollar cualquier tipo de actividad que pueda contaminar”. Así como “rellenar, desecar o modificar los cauces naturales de los ríos y arroyos, corrientes y manantiales, entre otros” (CONANP, 2016).

## **Revisión de los Programas Operativos Anuales**

De acuerdo con los documentos brindados por el Sistema General de Programas Operativos Anuales (SGPOA) de la CONANP, las actividades incluidas en los Programas Operativos Anuales (POA) relacionados con la conservación de los recursos hídricos en el Nevado de Toluca se incluyen en los subprogramas de Participación, Cambio Climático y Manejo y Uso Sustentable. Las actividades planteadas de acuerdo con los POA se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Actividades planteadas en los Programas Operativos Anuales (2013-2018) relacionados con la conservación de los ecosistemas acuáticos en el Nevado de Toluca

POA (AÑOS)	SUBPROGRAMA	COMPONENTE	ACTIVIDAD	Descripción específica
2014	Participación	Comunicación, educación, cultura y participación social para la conservación	Realizar campañas de limpieza de residuos sólidos y/o eliminación de basura en las ANP.	Llevar a cabo campañas de limpieza en el APFFNT para disminuir la cantidad de residuos sólidos presentes en zonas boscosas, zonas aledañas o cuerpos de agua, caminos, terracerías, etc.
2015,2016, 2017,2018.	Participación	Comunicación, educación, cultura y participación social para la conservación	Realizar campañas de limpieza de residuos sólidos y/o eliminación de basura en las ANP.	Realizar campañas de limpieza en áreas críticas del ANP.
2015	Cambio Climático	Atención a los efectos del Cambio Climático y disminución de emisiones GEI	Involucrar a los habitantes y vecinos del ANP en el desarrollo e implementación de acciones de adaptación y mitigación al Cambio Climático.	Realizar acciones de adaptación y/o mitigación al cambio climático en el APFFNT. <i>“Recolección de residuos sólidos en cuerpos de agua, así como actividades de saneamiento los cuales son necesarias para mitigar el cambio climático”</i>
2016, 2017 y 2018	Manejo y uso sustentable	Economía de la conservación	Promover la realización de prácticas de manejo sustentables en la ANP.	Elaborar un manual de mejores prácticas de manejo forestales en el APFFNT, a fin de promover el aprovechamiento de recursos y servicios ambientales de un ecosistema forestal en forma sustentable.

Fuente: POA (2013-2018)

Asimismo, en los POA se describen las actividades ejecutadas desde la puesta en marcha de la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna hasta la fecha de su publicación. De acuerdo con los reportes de la CONANP, en el Nevado de Toluca se han realizado diversas acciones para la conservación de los ecosistemas, como los acuáticos, entre las que se presentan campañas de recolección de residuos sólidos en suelo y agua, talleres de educación ambiental e iniciativas para mejores prácticas de manejo de los recursos forestales. Las acciones registradas en los POA se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Acciones efectuadas en el Nevado de Toluca que promueven la conservación de los ecosistemas acuáticos de acuerdo con los Programas Operativos Anuales (2013-2018)

AÑO	ACTIVIDADES
2013	Personal de CONANP realizó una presentación con 82 estudiantes del municipio de Toluca, cuyo objetivo fue exponer la importancia de los servicios ecosistémicos que provee el Nevado de Toluca.
2014	Se realizaron tres campañas de limpieza con 14 proyectos apoyados por el Programa de Empleo Temporal (PET). Se retiraron 145 toneladas de residuos sólidos con la participación de más de 400 personas. La CONANP dio una plática a 15 habitantes, ocho hombres y siete mujeres de la localidad de Agua Blanca, Zinacantepec, enfocada a la importancia de la conservación de los recursos naturales, mediante la recolección y separación de residuos sólidos en el ANP.
2015	<p>Se realizaron dos campañas de limpieza</p> <p>1) Se registra la participación de 95 personas de los Ejidos San José Contadero, San Cristobal Tecolit, Loma Alta, La Puerta del Monte, La Peñuela y San Pedro Tejalpa, así como la brigada de medio ambiente del Municipio de Zinacantepec, alumnos de la Universidad del Valle de México, personal de la CONANP, en el cual se colectó 1,300 kg de residuos sólidos a lo largo de 7 km.</p> <p>2) Se integró por 90 personas provenientes de los ejidos San José Contadero, San Cristobal Tecolit, Loma Alta, San Juan de las Huertas y Santa María del Monte, así como la brigada de Medio Ambiente del Municipio de Zonacantepec, personal de la CONANP y la CONAFOR con el apoyo de CEPANAF se colectaron cinco toneladas de basura a lo largo de 15.5 km.</p> <p>Se realizaron 14 actividades de educación y cultura ambiental, realizando tres pláticas sobre servicios ecosistémicos y se contó con la participación de 668 personas; seis actividades de</p>

---

	limpieza de residuos sólidos, de las cuales cuatro fueron apoyadas con recursos del PET; se contó con la participación de 12 comunidades y 245 personas.
<b>2016</b>	Se elaboró el Programa de Educación Ambiental para el PFFNT. Se realizaron dos talleres educativos, uno a estudiantes de nivel primaria, con un total de 130 niños y otro con los beneficiarios del proyecto de vigilancia comunitaria de las localidades de Rincón de Atarasquillo y Loma Alta. Los temas tratados fueron ¿Qué es un ANP?, y ¿qué son los servicios ecosistémicos?
<b>2017</b>	Se elaboró el manual de mejores prácticas de manejo forestal, en el cual se consideraron las actividades que pueden realizarse en el ANP para asegurar la preservación de los ecosistemas. Se elaboró el programa de Educación Ambiental del APFFNT enfocado a tres subprogramas: Ganadería, turismo desordenados en la zona alpina y servicios ecosistémicos. Se conformó el Subconsejo Ganadero para atender la problemática de pastoreo en áreas forestales del APFFNT. Se realizaron dos campañas de limpieza con la participación de 103 personas, se recolectó un total de 2.5 toneladas de basura de las cañadas, brechas y 2 km de cauce de río.

---

**Fuente:** SGPOA-CONANP (2013-2018).

### **Indicadores Presión-Estado-Impacto-Respuesta**

En los indicadores de Respuesta, se presentan las acciones descritas en el Programa de Manejo del APFFNT relacionadas a la atención del problema de degradación de los ecosistemas acuáticos, así como las actividades efectuadas de acuerdo con CONANP (SGPOA, 2013,2014,2015, 2016, 2017) para el logro de los objetivos de conservación (Tabla 12).

**Tabla 12.** Integración de información en indicadores de Respuesta (R) que muestra las actividades establecidas dentro del programa de manejo del APFFNT para la conservación de los ecosistemas acuáticos (R) y las acciones efectuadas según los Programas Operativos Anuales

	<b>Indicador</b>	<b>Actividades dentro del PM</b>						
<b>RESPUESTA</b>	Actividades establecidas en el PM del APFFNT para la conservación de los recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Realizar un diagnóstico de las actividades acuícolas en el APFFNT.</li> <li>➤ Actualizar el diagnóstico de la actividad agropecuaria y su impacto sobre los ecosistemas del área natural.</li> <li>➤ Elaborar un manual que permita promover buenas prácticas en la agricultura.</li> <li>➤ Impulsar proyectos agropecuarios demostrativos.</li> <li>➤ Elaborar un programa de evaluación del estado de conservación de las cuencas del APFFNT.</li> <li>➤ Realizar un diagnóstico del estado de conservación de la vegetación acuática y subacuática.</li> <li>➤ Promover el manejo y uso sustentable del bosque, suelo y agua para garantizar la continuidad de los procesos ecológicos.</li> <li>➤ Realizar un diagnóstico del estado de conservación de la vegetación acuática y subacuática.</li> <li>➤ Zonificación de actividades.</li> </ul>						
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th data-bbox="667 1346 1138 1419"><b>Acciones efectuadas</b></th> <th data-bbox="1138 1346 1484 1419"><b>Descripción de la acción y año</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="667 1419 1138 1598">                     Acciones efectuadas registradas por CONANP                 </td> <td data-bbox="1138 1419 1484 1598"> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Campañas de limpieza de residuos sólidos y/o eliminación de basura en las ANP.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="667 1598 1138 1803"></td> <td data-bbox="1138 1598 1484 1803"> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Prácticas de manejo sustentables en la ANP.</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	<b>Acciones efectuadas</b>	<b>Descripción de la acción y año</b>	Acciones efectuadas registradas por CONANP	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Campañas de limpieza de residuos sólidos y/o eliminación de basura en las ANP.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Prácticas de manejo sustentables en la ANP.</li> </ul>
<b>Acciones efectuadas</b>	<b>Descripción de la acción y año</b>							
Acciones efectuadas registradas por CONANP	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Campañas de limpieza de residuos sólidos y/o eliminación de basura en las ANP.</li> </ul>							
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Prácticas de manejo sustentables en la ANP.</li> </ul>							

	preservación de los ecosistemas (2017).
➤ Educación ambiental.	Elaboración del programa de Educación Ambiental del APFFNT enfocado a tres subprogramas: Ganadería, Turismo desordenados en la zona alpina y Servicios Ecosistémicos (2013, 2015, 2016, 2017).

**Fuente:** CONANP (2016); POA (2013-2018)

En los indicadores de impacto se presenta información en torno al efecto de la implementación del APFFNT sobre la vida de los pobladores locales, así como la percepción en torno al estado de conservación de los cuerpos de agua superficial, de acuerdo con la información obtenida en las encuestas levantadas (Tabla 13).

**Tabla 13.** Indicadores de impacto derivado de la percepción de los pobladores locales como respuesta a la implementación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Indicadores		%
Percepción de los pobladores del efecto del APFFNT sobre sus condiciones de vida (%)	Impacto positivo del APFFNT	4
	Impacto negativo del APFFNT	14
	Indiferente	80
<b>IMPACTO</b> Percepción de los pobladores locales de cambios negativos en la calidad y cantidad de agua de los arroyos del APFFNT desde la implementación de la política.	Percepción de disminución en la calidad del agua de arroyos	18
	Percepción de disminución en la cantidad del agua de arroyos	58

Los indicadores de Presión (Tabla 14) y de Estado (Tabla 15) sintetizan la evaluación realizada en el estudio en torno al cumplimiento de la subzonificación del Programa de Manejo del APFFNT y el impacto de los esfuerzos realizados por la CONANP en el Estado Ecológico de los arroyos evaluados.

**Tabla 14.** Indicadores de Presión que reflejan el nivel de cumplimiento de los lineamientos del APFFNT en cada una de las comunidades estudiadas

	Actividades prohibidas según la zonificación del PM del APFFNT (CONANP, 2016)	Indicadores	Comunidades				
			BA	SJT	AB	LR	DS
<b>PRESIÓN</b>	Arrojar, verter, descargar o depositar desechos orgánicos, residuos sólidos, o líquidos u otro tipo de sustancias contaminantes como insecticidas, fungicidas y pesticidas, entre otros, en el suelo, subsuelo y cualquier clase de cauce, vaso, acuífero y manantial o desarrollar cualquier tipo de actividad que pueda contaminar.	Drenaje (% de personas sin drenaje conectado a la red)	100	100	100	34	99
		Fertilizantes (% de personas que usan fertilizantes en la agricultura)	100	50	0	62	95
	Pesticidas (% de personas con actividad agrícola que utilizan pesticidas).	100	50	0	38	69	
	Presencia/Ausencia de contaminación orgánica o por residuos sólidos	NE	NE	Ausente	Presente	NE	
	Agricultura, salvo la orgánica.	Desarrollo de agricultura (% de personas que realizan actividades agrícolas no orgánicas).	100	100	NA	NA	97
	Ganadería, incluyendo el pastoreo.	Ganadería (% de personas que realizan actividades pecuarias)	NA	NA	20	NA	NA
	Rellenar, desecar o modificar los cauces naturales de los ríos y arroyos, corrientes y manantiales, entre otros.	Presencia/Ausencia de alteración al canal (desviación del agua del cauce)	NE	NE	Presente	Presente	NE
		Presencia/ Ausencia de efluentes directos al río	NE	NE	Ausente	Presente	NE

NE= No evaluado en el estudio; NA= Regulación no aplicable a la comunidad de acuerdo con la subzonificación dentro del Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. BA=Baldío Amarillo, SJT= San Juan Tepehuizco, AB= Agua Blanca, LR= Las Raíces, DS= Dilatada Sur.

**Tabla 15.** Indicadores de Estado que reflejan la calidad ecológica de los arroyos estudiados en el APFF del Nevado de Toluca

		Indicadores y parámetros			Comunidades		
		BA	SJT	AB	LR	DS	
ESTADO	Evaluación del estado ecológico mediante parámetros físico-químicos, bacteriológicos, hidromorfológicos y biológicos	<i>Incremento de nutrientes</i> (Valores de concentración comparados con los promedios en aguas superficiales de acuerdo con Chapman,1996).					
		Amonio ( $\text{NH}_4 < 0.2\text{mg}^{-1}$ )	NE	NE	Inferior	Inferior	NE
		Nitratos ( $\text{NO}_3 < 0.1\text{mg}^{-1}$ )	NE	NE	Superior	Superior	NE
		Nitritos ( $\text{NO}_2 < 1\text{mg}^{-1}$ )	NE	NE	Superior	Superior	NE
		Ortofosfatos ( $\text{PO}_4 < 0.02\text{mg}^{-1}$ )	NE	NE	Superior	Superior	NE
		<i>Presencia de bacterias de origen fecal</i>					
		UFC/100 de Coliformes Fecales comparados con los Límites Máximos Permisibles de acuerdo con la NOM- 001 (<1 UFC/100 DE CF) y la NOM-127 (AUSENCIA DE UFC/100 DE CF).	NE	NE	Ausencia de UFC	Densidad bacteriana superior a los LMP	NE
		UFC/100 de Enterococos fecales comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la USEPA 2012 (<30 UFC/100).	NE	NE	Ausencia de UFC	Densidad bacteriana inferior a los LMP	NE
		<i>Calidad Hidromorfológica</i> (categoría)	NE	NE	SUB-ÓPTIMO	MARGINAL	NE
		<i>Bioindicadores: diversidad y estado ecológico</i>					
Valor de diversidad de acuerdo con el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) ( $H' < 2 =$ diversidad baja; $2-3 =$ diversidad media; $> 3 =$ diversidad alta)							
Macroinvertebrados bentónicos	NE	NE	Baja	Baja	NE		
Algas macroscópicas	NE	NE	Baja	Baja	NE		
Relación de los ensambles de macroinvertebrados y comunidades de algas con el Estado Ecológico (EE) de los arroyos.			Buen EE	Degradación del EE			

NE= No evaluado en el estudio; UFC/100= Unidades Formadoras de Colonias/ 100 mL. BA=Baldío Amarillo, SJT= San Juan Tepehuizco, AB= Agua Blanca, LR= Las Raíces, DS= Dilatada Sur

## b. Etapa 2. “Concordancia conceptual”

De acuerdo con lo descrito en el desglose por problema y con base en el esquema de Curcio (2007), se encontró un escenario tipo III, dado que en el Programa de manejo del APFFNT se presenta un conjunto de objetivos que buscan la conservación de los ecosistemas lóticos; sin embargo, se centran en resolver el problema de disminución en la calidad del agua, principalmente, ocasionado por las actividades turísticas y productivas. Dentro del diagnóstico de los problemas ecosistémicos presente en el Programa de Manejo se hace mención de la degradación en la calidad del agua de los ríos, recalcando el papel de los residuos sólidos tanto de los habitantes del área como de los turistas (CONANP, 2016).

En este sentido, las estrategias llevadas a cabo de acuerdo con los POA (2013-2018) incluyen la implementación de campañas de limpieza de los cuerpos de agua y la formulación de programas que promuevan prácticas productivas que minimicen el impacto sobre los ecosistemas. Sin embargo, hasta el momento no se han atendido las causas de fondo del problema, a escala local, en el estudio se detectaron factores como la carencia de drenaje en las comunidades locales y con ello, la carencia de un plan de manejo de aguas grises, las desviaciones de agua sin una regulación, la disminución y eliminación en la vegetación ribereña y la carencia de un ordenamiento espacial de las actividades agropecuarias.

Así mismo, las actividades desarrolladas a escala de Área Natural Protegida, tales como la sobreexplotación de aguas superficiales y subterráneas para abastecer a las poblaciones regionales, los cultivos industriales con uso de agroquímicos, la tala y minería clandestina, así como el turismo y la acuicultura sin una regulación, representan un reto aún mayor para la conservación de los ecosistemas acuáticos, mismos que no se pueden resolver mediante medidas como la limpieza de los cauces y educación ambiental.

Por lo tanto, aun cuando se cumplan todos los objetivos planteados en el Programa de Manejo, la degradación progresiva de los ecosistemas acuáticos prevalecerá, debido a que no se planteó de una manera integral el problema.

### c. Etapa 3. Clasificación FPEIR por PROGRAMA

Según el Estudio Previo Justificativo para efectuar la recategorización del Nevado de Toluca, el principal objetivo de la categoría de APFF es: “ordenar las actividades productivas y extractivas que generan un deterioro creciente de los ecosistemas y de sus elementos, así como propiciar la conservación y/o restauración de aquellas superficies que aún se encuentran poco impactadas y que requieren de un cuidado especial para asegurar la integridad a largo plazo” (CONANP, 2013). De acuerdo con lo anterior, podría relacionarse la Respuesta (R) como una forma de abordar el Estado (E) de los ecosistemas, lo cual llevaría a indicar que la política busca una gestión basada en la prevención y por tal, en pro de un desarrollo sustentable (Bobadilla *et al.*, 2013). Sin embargo, mediante los antecedentes de la creación de la política es posible visibilizar que, tanto el APFFNT, como el resto de los programas implementados en el Nevado de Toluca están enfocados en la protección, restauración y mantenimiento de la cobertura forestal, así como al fomento al turismo, dejando la conservación del resto de recursos naturales y ecosistemas en segundo plano. Es decir, el sector forestal se constituye como la principal motivación de las políticas ambientales en la región.

Como consecuencia de la protección forestal, teóricamente se concibe un mantenimiento de diversos servicios ecosistémicos, principalmente el de provisión de agua para satisfacer las necesidades de la población local y regional. Respecto a los ecosistemas acuáticos, uno de los principales focos del Programa de Manejo, dado la importancia turística, son los lagos cráter, sin embargo, en la investigación se detectó que los pobladores locales expusieron tener poca relación con los mismos, por el contrario, los ríos y arroyo se constituyeron como elementos importantes en las actividades de subsistencia.

De manera particular, el problema de degradación del estado ecológico de los ecosistemas lóticos y las repercusiones de éste sobre las condiciones de vida de la población local, no se ha concebido como un elemento central en los programas de conservación en el Nevado de Toluca. Asimismo, no se han atendido de manera integral los elementos de perturbación de los ecosistemas, de modo que se han desarrollado soluciones paliativas y no preventivas.

## **11. Discusión**

### **11.1 Evaluación del estado ecológico de los arroyos**

#### **a. Caracterización fisicoquímica, hidromorfológica y bacteriológica**

La caracterización fisicoquímica de los arroyos estudiados fue congruente con la composición geológica de las cuencas de captación y esto se reflejó en la baja concentración de nitrógeno y fósforo, pues se registraron valores parecidos a otros reportes previos (Ramírez-Lynn, 2010; Bojorge-García, 2013); por lo tanto, se pueden clasificar como aguas de oligotróficas a eutróficas (Doods, 2003). En casos puntuales, la química del agua se vio alterada por el desarrollo de actividades humanas difusas; por ejemplo, el arroyo de las Raíces mostró un incremento en la concentración de nitritos superior a los valores promedio para aguas superficiales naturales, según Chapman (1996). El incremento en esta forma de nitrógeno puede ser indicador de contaminación fecal (Tchobanoglous y Burton, 1991), lo que fue congruente con la densidad bacteriana cuantificada en el sitio, ya que dicho arroyo presentó concentraciones elevadas tanto de bacterias coliformes fecales como de enterococos fecales. En este sentido, mediante la observación en campo y las encuestas levantadas se detectaron elementos de degradación de la calidad del agua, como la presencia de baños para la actividad turística y el pastoreo en las orillas del río, lo cual promueve la contaminación de origen fecal.

La calidad hidromorfológica (CH) fue uno de los elementos más importantes para caracterizar los impactos derivados de las actividades humanas. Se identificaron dos tipos de sitios de acuerdo con la CH: óptimos y marginales. Entre los primeros se clasificaron los arroyos de Agua Blanca y San Mateo Almomoloa, donde las principales intervenciones se relacionaron con la presencia de infraestructura para el abastecimiento hídrico, sin embargo, presentaron una buena conservación de elementos del ecosistema como la naturalidad del canal fluvial y de la vegetación riparia. Pese a ello, se detectaron cambios importantes en la CH a lo largo de un ciclo anual, relacionados con intervenciones puntuales, como el incremento en el número de desviaciones de agua y del pastoreo a las orillas del río. En este sentido, la extracción desmedida de agua superficial puede modificar el volumen, la calidad

y la estacionalidad de los sistemas fluviales (Allan, 1997), comprometiendo el funcionamiento de los ecosistemas.

Así mismo, la degradación de la calidad del agua, producto del incremento de heces fecales en los arroyos implica un riesgo sanitario <sup>15</sup> para la población que se abastecen directamente de estas fuentes de agua (Yommi, 2013). Por lo anterior, es de suma importancia regular y ordenar las actividades de las cuales dependen los pobladores para subsistir, de modo que se tomen medidas preventivas que permitan mantener los procesos ecológicos y los servicios en calidad y cantidad que los arroyos proveen a la población.

Por su parte, el arroyo de Las Raíces mostró tener una CH marginal producto de la afectación sobre la vegetación riparia, por la presencia de residuos sólidos en el cauce, así como de efluentes directos al arroyo. Estas transformaciones drásticas se relacionaron con el impacto de la infraestructura para el turismo y con la presencia de ganadería extensiva. Lo anterior da indicios de la falta de planeación en las actividades turísticas, lo que concuerda con los hallazgos de Vázquez Orozco (2015), quien menciona que, derivado de la falta de personal, infraestructura, equipamiento inadecuados y el poco control sobre los visitantes, se ha generado un deterioro en suelos, flora, fauna y cuerpos de agua superficiales.

#### b. Bioindicadores: macroinvertebrados bentónicos y algas macroscópicas

Los grupos biológicos utilizados en el estudio fueron complementarios y brindaron información sobre el estado de las características fisicoquímicas e hidromorfológicas del ecosistema acuático. Por un lado, el análisis de macroinvertebrados mediante la aproximación de grupos funcionales alimenticios y de diversidad reflejó principalmente el estado de calidad hidromorfológica en los arroyos estudiados. Mientras que las algas macroscópicas, gracias al análisis de las características ecológicas y rasgos como el nivel de organización y la forma de crecimiento brindaron indicios sobre el estado trófico del agua y la calidad de los sustratos en los cauces.

En cuanto a los macroinvertebrados, el género de náyades *Baetis* obtuvo los valores de abundancia más altos durante las colectas; esto es similar a otros estudios en los que se ha registrado la dominancia de las efímeras en ríos de montaña de la región central de México

---

<sup>15</sup> Población expuesta a contraer enfermedades de origen hídrico.

(Carmona-Jiménez y Caro Borrero, 2017; Márquez, 2019). Las efímeras como *Baetis* buscan establecerse en zonas con mayor disponibilidad de sustratos (Doeg y Lake, 1981), mismos que colonizan de una manera óptima dado su hábito alimenticio recolector-raspador, es decir, tienen la capacidad de alimentarse de materia orgánica particulada presente en el flujo de agua o raspando los biofilms que se desarrollan en las caras de los sustratos (Merrit *et al.*, 2008)

Por su parte, las especies de macroalgas identificadas en el estudio han sido registradas en ríos de montaña con afinidad por sistemas templados y son características de los ríos de la Franja Volcánica Transmexicana (Ramírez y Cantoral, 2003; Bojorge-García, 2010; Rodríguez-Flores, 2016; Rodríguez-Flores y Carmona-Jiménez, 2018). En promedio, las Cyanophytas fueron el grupo con la mayor cobertura porcentual en los arroyos del Nevado de Toluca. Este grupo cuenta con una gran complejidad morfológica que les permite establecerse y desarrollarse adecuadamente en los sistemas lóticos; el desarrollo de rizoides en los crecimientos filamentosos representa una adaptación para resistir el flujo de agua constante; asimismo, la producción de mucílago en los crecimientos coloniales les proporciona tolerancia condiciones de radiación elevada (Branco *et al.*, 2014; Ramírez y Carmona, 2005).

Respecto a los análisis por sitios, en el arroyo de Agua Blanca se registraron, como dominantes, los macroinvertebrados *Baetis* y tricópteros de los géneros *Glossosoma*, *Helicopsyche*, *Hesperophylax*, y *Limnephilus*, los cuales han sido descritos como indicadores de un buen estado ecológico (Caro-Borrero *et al.*, 2015). Así mismo, la presencia de organismos trituradores como *Hesperophylax* y *Limnephilus* (Merrit *et al.*, 2008), validan el buen estado del ecosistema ribereño. En cuanto a las algas, Agua Blanca presentó los mayores valores de diversidad ( $H' = 1.32$ ,  $D' = 0.69$ ), con la dominancia de *Phormidium autumnale* (filamento con forma de crecimiento en mata) (Bojorge-García *et al.*, 2009), seguido de *Placoma regulare* (colonias mucilaginosas) (Rodríguez-Flores, 2014). Las especies de *Placoma regulare*, *Nostoc parmelioides*, y *Vaucheria bursata* (filamento con crecimiento en tapete) han sido registradas como especies indicadoras de calidad hidromorfológica buena (Ramírez *et al.*, 2001; Rodríguez-Flores, 2014; Carmona-Jiménez y

Caro-Borrero, 2016). Estos resultados son congruentes con el análisis, tanto de CH como de macroinvertebrados.

El arroyo de las Raíces tuvo los valores de diversidad de macroinvertebrados más bajos, los taxa presentes en el sitio tales como el díptero del género *Simulium*, de la clase Oligochaeta, así como del quironómido de la subfamilia Orthoclaadiinae y de la planaria Dugesiidae, puede deberse a que estos taxa se han registrado en condiciones ambientales similares a las del arroyo, como el incremento de nutrientes en el sistema y baja CH (Carmona-Jiménez y Caro-Borrero, 2016; Caro Borrero *et al.*, 2015). Los grupos funcionales alimenticios predominantes fueron los recolectores y los filtradores, lo cual refleja una presencia de materia orgánica particulada fina (MOPF) en altas cantidades, dinámica esperada para las partes bajas de los ríos, según la Teoría del Río Continuo<sup>16</sup> (Vannote *et al.*, 1980). Sin embargo, el sitio se encuentra en la parte alta-media del arroyo, ésta incongruencia entre lo postulado y la evidencia puede ser resultado de la alteración provocada por las actividades humanas, principalmente por la fragmentación de la vegetación riparia derivada de las actividades turísticas y agropecuarias. Lo anterior debido a que la zona de ribera actúa como un filtro, tanto de sedimentos como de contaminantes (Mendoza-Cariño *et al.*, 2014).

Por otro lado, Las Raíces presentó una disminución en el número de especies algales y coberturas porcentuales muy bajas. Únicamente se registró la presencia de *Placoma regulare* (colonia mucilaginoso) y de un crecimiento identificado como Chlorococcal (colonia costrosa). Respecto a la primera especie, varios estudios han detectado su presencia en sitios con niveles intermedios de nutrientes (estado mesotrófico); así mismo, la producción de mucílago le permite proliferar en circunstancias de radiación elevada (Carmona-Jiménez y Caro Borrero, 2016; Ramírez-Lynn, 2010; Sheath y Hambrook, 1990). Estas características ambientales fueron distintivas del sitio producto de la contaminación del cauce y de la

---

<sup>16</sup> Platea que, en ríos y arroyos pequeños, de manera longitudinal la estructura de las comunidades biológicas se modifica de acuerdo con la incorporación de materia y energía. Predice que, en la parte alta de los ríos abundará la materia orgánica particulada gruesa (MOPG), proveniente de la zona ribereña y los macroinvertebrados que puedan aprovechar dicho aporte como alimento: los trituradores; además, derivado de la fragmentación de MOPG abundará la materia orgánica particulada fina (MOPF), y, por ende, los colectores. En contraste, en la parte media del río se predice un incremento de materia orgánica, de la producción algal y la dominancia de los organismos raspadores y colectores. Finalmente, en la parte baja incrementará la productividad algal y producto de la alta presencia de MOPF en suspensión, dominarán los colectores (Vannote *et al.*, 1980).

reducción drástica de los estratos arbóreos y arbustivo, lo cual permite la incidencia de radiación de manera más directa. En esta misma línea, la aparición de la Chlorophyta (Chlorococal) puede ratificar el incremento de la radiación, ya que para su proliferación se requiere una mayor incidencia de luz para realizar fotosíntesis (Lunning, 1990). El bajo número de especies registradas en el arroyo puede relacionarse con la premisa de relación positiva entre riqueza específica y el tamaño de sustrato (Schneck *et al.*, 2011), en este sentido en el arroyo se identificó una heterogeneidad baja de sustratos, dominados principalmente por arcillas, lo cual puede estar limitando el desarrollo de los crecimientos algales.

Finalmente, el arroyo de San Mateo Almomoloa obtuvo los valores más altos de diversidad de macroinvertebrados ( $H' = 2.29$ ,  $D' = 0.83$ ) y el mejor nivel de CH. En este arroyo se registró como dominante a *Thraulodes*, uno de los géneros de Ephemeroptera más abundantes en el continente americano (Domínguez, 1987) y que ha sido descrito como un taxa sensible a la degradación del hábitat y al enriquecimiento de materia orgánica, por lo que exhiben una preferencia por aguas bien oxigenadas y buena CH (Domínguez, 1987; Roldán, 2003). Respecto a la proporción de grupos funcionales alimenticios, se presentó una dominancia de los recolectores, seguido de los raspadores. En el caso de SMA se esperaría una mayor presencia de organismos trituradores derivado de la buena conservación de la vegetación ribereña, que fungiría como parte de su alimento; sin embargo, la presencia de raspadores sugiere un incremento en la productividad primaria y un sustrato adecuado para la colonización de los efemerópteros, es decir, una conservación de la naturalidad de los cauces. En cuanto a los grupos algales, la dominancia de las Cyanophytas puede deberse a que el arroyo presentó una alta densidad arbórea que limitaba la entrada de luz al sistema, sin embargo, este grupo es tolerante a condiciones de sombra (Sheath y Hambrook, 1990). Particularmente, *Phormidium autumnale* ha sido registrada en sitios sombreados de la región central de México (Rodríguez-Flores, 2014; Bojorge-García, 2010).

## **11.2 Actividades económicas, uso de los arroyos y relación de los pobladores locales con la figura de Área de Protección de Flora y Fauna**

De manera general, el alto porcentaje de mujeres encuestadas en comparación con el de hombres puede deberse, entre otros factores, a que al momento de realizar las encuestas las

mujeres estaban disponibles en los hogares, mientras que los hombres estaban ocupados en labores como la agricultura y la construcción. Por otro lado, en el Nevado de Toluca se ha registrado una alta migración de hombres que ha llevado a que las mujeres se conformen como jefas de familia y sean las responsables tanto de las labores del hogar como del sustento económico (Juárez Vega, 2008).

Los medios de vida en las comunidades del Nevado de Toluca están basados en las prácticas agrícolas y el uso de recursos naturales locales. Pese a que la principal actividad económica es la agricultura, se observa una diversificación productiva como estrategia de subsistencia. Según Farrington *et al.* (1999) esta diversificación permite reducir la vulnerabilidad de la población dado que, además de las actividades agrícolas, se buscan otras fuentes de ingreso, como el trabajo asalariado, actividad que permite mitigar los efectos de escasez de capital o de tierra (Sraïri y Ghabiyel 2017). Todas las comunidades del estudio presentan un grado de marginación alto (La Dilatada Sur, San Mateo Almomoloa y Las Raíces) y muy alto (Baldío Amarillo, San Juan Tepehuizco y Agua Blanca) y, de acuerdo con el Banco Mundial (2005), el desarrollo de ocupaciones rurales no agrícolas<sup>17</sup> ha sido un factor importante para el sostenimiento de los ingresos para la población rural con pobreza moderada, pero no para la población en pobreza extrema. Aunado a que la diversificación de actividades, particularmente el trabajo asalariado, está relacionado con la relativa cercanía a las ciudades y el acceso a los mercados regionales (Fierros y Ávila-Foucat, 2017), aspecto importante, ya que en el estudio se registró que 13% de los encuestados expuso como su principal problema la carencia de transporte y la lejanía a los centros urbanos, circunstancias que afectan diversos ámbitos de su vida, como el acceso a los servicios de salud, educación y fuentes de empleo.

El bajo porcentaje de personas que se dedican a las actividades turísticas (12%) puede estar relacionado con varios factores; en primer lugar, la estacionalidad climática restringe las actividades turísticas a ciertas temporadas al año y, en segundo lugar, la mayoría de los prestadores de servicios turísticos son empresas externas y no las comunidades locales (González-Romero *et al.*, 2018). En nuestro estudio, San Mateo Almomoloa (comunidad limítrofe con el APFFNT), fue la única comunidad con actividades turísticas preponderantes,

---

<sup>17</sup> Cualquier actividad económica excepto del sector primario agrícola, incluyendo en éste a la ganadería, la silvicultura, caza y pesca (Da Silva *et al.*, 2010)

aunque en porcentajes muy bajos, lo cual puede dar indicios de que, para parte de la comunidad el turismo es una opción para mejorar sus condiciones económicas, pero no para la mayoría de la población, lo cual puede deberse a que los beneficios económicos del turismo se restringen a los meses de llegada de la mariposa monarca (noviembre-marzo) (López-Soriano 2014), por lo que se constituye como medio complementario a las actividades agropecuarias. Además, se ha detectado una concentración de los beneficios únicamente en ciertos grupos sociales, como los ejidatarios, excluyendo al resto de la población de San Mateo (Cruz Moreno y Zizumbo 2017).

Por su parte, la crianza de ganado fue ampliamente reconocida como una actividad complementaria (50%). Esta práctica es de gran importancia en zonas rurales, pues los productos obtenidos son destinados al autoconsumo y, en caso de necesidad económica, pueden ser vendidos para asegurar la supervivencia de los hogares (López- González *et al.*, 2012). Particularmente, en el Nevado de Toluca la ganadería de traspatio es una constante en los medios de vida de los pobladores y se considera como un factor de conformación de identidades campesinas (Ruíz-Torres, 2018).

a. Conocimiento en torno a la figura de Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

De acuerdo con Bobadilla *et al.* (2017) una de las características más importantes de los casos de éxito en la eficacia de ANP en el país es que las comunidades humanas que habitan el territorio se apropian de las leyes implementadas. En este estudio, se registró que cerca del 80% de las personas encuestadas desconocía el cambio de categoría en el Nevado de Parque Nacional a Área de Protección de Flora y Fauna, pese a que, de acuerdo con Lebreton e Imbernon (2017) diversas agencias federales y estatales encargadas de la recategorización aseguraron que el cambio de categoría fue respuesta a las necesidades de todos los actores involucrados en el manejo del Nevado de Toluca. Además, según el Estudio Previo Justificativo (EPJ) una de las bases del APFFNT para la conservación de los ecosistemas es la participación de la sociedad (CONANP, 2013); sin embargo, los pobladores encuestados expusieron una exclusión de las actividades desarrolladas por instituciones como CONANP.

De igual manera, uno de los principales argumentos para efectuar la recategorización fue la necesidad de un ordenamiento de las actividades productivas y extractivas para evitar el

deterioro de los ecosistemas (CONANP, 2013); lo anterior debería implicar una integración de las comunidades en las estrategias para el ordenamiento; sin embargo, los resultados del estudio revelaron que los pobladores desconocen los lineamientos del APFFNT. En este sentido, aunque la participación social es considerada como un tema central en la administración de ANP del país, mencionado en la mayoría de los programas de manejo, se concibe simplemente como la cooperación de los actores locales con las decisiones del gobierno sobre cuestiones ambientales, y, en muchos casos, como en la recategorización del Nevado de Toluca su participación es sumamente limitada (Durand y Lazos, 2008; Espíndola-Pérez, 2019; Ceballos, 2011; Lebreton e Imbernon, 2017).

Sin embargo, para garantizar que un ANP cumpla las premisas de impactar positivamente sobre el desarrollo comunitario y la conservación de los ecosistemas es indispensable que los pobladores locales, incluyendo de manera equitativa a comunidades, ejidos y residentes, generen y se apropien de las estrategias. También es necesario un trabajo conjunto entre las diversas instituciones que permita generar programas de conservación y desarrollo compatibles, complementarios y sinérgicos (López, 2016; Pinkus Rendón *et al.*, 2014).

b. El papel de los ecosistemas acuáticos como fuente de agua para consumo humano y el desarrollo de actividades económicas

En zonas rurales, marginadas y con alto y mediano grado de dispersión rural el aprovisionamiento de agua ha sido un proceso de construcción organizativa basada en el servicio comunitario (Montes de Oca y Casillas 2014). El Nevado de Toluca no es la excepción. Los asentamientos humanos, principalmente los más alejados de los centros urbanos, suelen carecer de servicios básicos como agua potable y pese a que la población ha crecido y demandado más servicios, la ubicación y lejanía de las comunidades limitan la dotación de infraestructura, sin dejar de lado la falta de voluntad política (Nava, 2013).

Los ríos y arroyos del Nevado de Toluca representaron la principal fuente de agua para un alto porcentaje de residentes, lo que concuerda con los resultados de Anastacio-Martínez (2012), además de mencionar que, en diversas comunidades son los propios usuarios quienes recaudan fondos y realizan faenas para la construcción y el mantenimiento de la infraestructura para el abastecimiento hídrico. El agua proveniente de los ecosistemas acuáticos del área es fuente, tanto para consumo y actividades domésticas, como para

actividades agrícolas y pecuarias (Solís Correo 2015; Anastacio- Martínez, 2012), sin dejar de lado su papel en la cultura e identidad de las comunidades locales y en la conformación del paisaje que representa un gran atractivo turístico (Olvera y Pichardo, 2017).

En cuanto a la percepción sobre la disminución en la calidad y cantidad de agua de los ríos y manantiales a través del tiempo, se encontró que un mayor porcentaje de personas perciben cambios en la cantidad en contraste con la calidad de agua. Esto puede deberse, por un lado, a que en el estudio se encontraron arroyos con una buena calidad de agua pese a que se presentaron elementos con potencial de degradación. Por otro lado, Gil *et al.*, (2014) plantean que en las comunidades rurales del país los usuarios suelen dar mayor prioridad a la cantidad que a la calidad de agua, debido a su mayor impacto sobre el desarrollo de actividades productivas. Además de que, para solucionar o minimizar los problemas de calidad de agua, los pobladores han implementado medidas como clorar o hervir el agua.

### **11.3 Variables asociadas al uso de los arroyos como principal fuente de agua para los pobladores del Nevado de Toluca**

En el estudio se detectó que, sin importar si las localidades cuentan con un cuerpo de agua adyacente, los pobladores hacen uso de los arroyos como fuente principal de abastecimiento. En este sentido, mediante el trabajo en campo se detectó que las comunidades desarrollan diversas estrategias para abastecerse de los recursos de la región, como el suministro con ductos, que en ocasiones recorren distancias largas y provienen de terrenos de otros ejidos o comunidades. Así mismo, los acuerdos entre los mismos integrantes de las comunidades resultan de gran importancia por la posibilidad de ayudar para el abasto del recurso en situaciones de escasez (Abasolo Palacio, 2006). De tal manera que las redes de colaboración entre los grupos sociales son indispensables para proveer del recurso a las comunidades, para el mantenimiento de los cuerpos de agua mediante la limpieza de los cauces y para la rehabilitación de la infraestructura hidráulica (Montes de Oca y Casillas Sánchez, 2014).

En este estudio se confirmó que en los medios rurales las mujeres juegan un papel preponderante en las actividades de mantenimiento del hogar, pequeños cultivos y ganadería de traspatio, así como con las labores de abastecimiento y almacenaje de agua (Sandoval 2005; Soares 2006; Hernández y Herrerías, 2004; Iris 2013; Guevara y Lara 2015). Por lo

anterior, las mujeres son actores indispensables, tanto para el diseño como para la implementación de estrategias de conservación de los ecosistemas acuáticos.

Muchos de los pobladores encuestados tenían ganado en pequeñas cantidades que servía para el autoconsumo y/o venta local de baja magnitud; por lo tanto, es de esperarse que, al no tener otra fuente de agua, los ríos y arroyos locales sean de gran importancia para el desarrollo y mantenimiento de estas actividades dentro del Nevado (Solís-Correo, 2015). En este estudio se encontró que el uso de los ríos para el ganado se da en dos formas: directa e indirecta, la primera de ellas se refiere al ganado que abreva en los cuerpos de agua. La segunda modalidad hace referencia al ganado estabulado que es dotado dentro de sus corrales de agua proveniente de los arroyos, misma que en muchas ocasiones también es fuente para los hogares.

La percepción de carencia de agua fue una variable asociada al uso de los arroyos como principal fuente de agua; en este sentido, estudios analizan que, en las comunidades rurales del Estado de México, al presentarse una carencia de agua, ya sea por la disminución del recurso en temporada de secas o problemas con la infraestructura para el abastecimiento hídrico, los pobladores suelen abastecerse del agua de ríos más alejados, recorriendo en ocasiones grandes distancias (Iris, 2013). Esta situación, desde el punto de vista ecológico genera una mayor presión sobre los recursos hídricos locales, situación que compromete la sostenibilidad hídrica <sup>18</sup>del área.

Por otro lado, las consecuencias de fenómenos como el crecimiento poblacional pueden estar influyendo en la percepción de carencia de agua, la cual, se ha visto reflejada en una disminución en la cantidad de agua de los ríos y en el desarrollo de estrategias locales para el abasto, como el tandeo de agua. En este sentido, la percepción de disminución de agua en los arroyos del Nevado también fue un elemento asociado a la dependencia con los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, esta variable no mostró un comportamiento como el esperado (relación negativa), ya que la alteración de los ecosistemas lóticos, reflejada en cambios en el flujo hídrico a lo largo del tiempo, produce una insuficiencia en el agua superficial disponible para el abastecimiento de comunidades humanas (Herzing, 2010), lo

---

<sup>18</sup> Manejo del agua que permita satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la cobertura de las necesidades de generaciones futuras.

cual llevaría a los pobladores a buscar otras fuentes de abastecimiento. Por el contrario, se encontró que, a mayor percepción de disminución del agua, mayor uso de los recursos. Lo anterior puede ser reflejo de la carencia de otras fuentes de agua alternas o de la imposibilidad, principalmente económica para acceder a ellas, de modo que, aunque se percibe una afectación a los recursos, las personas requieren seguir extrayendo agua para efectuar sus actividades. Por ello, para una conservación de las aguas superficiales, además de promover un aprovechamiento sostenible de los ecosistemas, se requiere brindar fuentes de agua alternas o complementarias que promuevan no sólo el mantenimiento del caudal de los ríos, sino del mejoramiento de las condiciones de vida de la población local.

La cercanía de las localidades con los cuerpos de agua tiene una influencia positiva sobre el uso de los ríos cercanos, lo cual fue congruente con la hipótesis planteada. Esta cercanía parece generar mayores posibilidades de establecer infraestructura local para suministrar agua, lo que implica menores costes de tiempo, esfuerzo y dinero. Esta situación se vio reflejada en los resultados, puesto que la comunidad Agua Blanca, asentada a las orillas del río, fue la única que no expuso tener problemas de carencia de agua y durante el trabajo de campo se pudo observar el uso directo de grandes cantidades de agua, principalmente en las actividades domésticas (lavado de ropa y suministro a los hogares mediante mangueras) y pecuarias.

Finalmente, se esperaba una relación negativa entre el trabajo asalariado y el uso de los ríos y arroyos, ya que los ingresos económicos constantes podrían reducir la dependencia y uso directo de los recursos naturales con la búsqueda alternativa del agua (Fisher, 2004; Nguyen *et al.*, 2015), por ejemplo, a través de la compra de pipas o de agua embotellada. Sin embargo, varios factores juegan un papel importante como ya se mostró anteriormente; en primer lugar, la cercanía con los cuerpos de agua y la marginación persistente a pesar de los trabajos asalariados, pues estos están mal pagados, son usualmente informales y la mayor parte del ingreso se dedica al pago de alimento, transporte y/o incluso otras actividades productivas (Sofer, 2001). En el caso del Nevado de Toluca, los ingresos generados pueden ayudar al mantenimiento del ganado en los hogares, que como se registró, incrementan el uso de los recursos hídricos. Lo anterior pudiera ser una forma de explicar la relación positiva entre el trabajo asalariado y el uso de los ríos como fuente principal de agua.

Es importante mencionar que, en éste estudio se plantearon hipótesis sobre la relación de las variables arrojadas por el modelo de regresión logística, sin embargo, la asociación no necesariamente implican una causalidad. Por lo anterior, se requieren estudios a profundidad que permitan comprender de manera integral la relación de los pobladores con los cuerpos de agua superficial. Este trabajo es de suma importancia para la selección e integración de las características inherentes a las poblaciones, como las actividades económicas, las relaciones sociales y las percepciones sobre medio natural, en las estrategias de conservación de los ecosistemas acuáticos, lo cual permitiría generar concordancia entre las actividades humanas locales y las políticas ambientales.

#### **11.4 Evaluación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca: la conservación de los ecosistemas acuáticos**

La evaluación del APFFNT mediante el esquema de Bobadilla y colaboradores (2013) ayudó a estructurar la información en torno a los elementos relacionados con la conservación de los ecosistemas acuáticos en el Nevado de Toluca. Permitió estimar de manera cualitativa y cuantitativa dichos elementos, como el estado ecológico actual de los ecosistemas, las causas de la degradación ecológica, las respuestas ante el problema, así como la pertinencia y el grado de cumplimiento de los objetivos de conservación, aunado a la caracterización de los posibles vínculos entre estos elementos. Sin embargo, se requiere contemplar que el esquema de evaluación y, con ello, la adopción del marco FPEIR presenta diversas desventajas, como la incapacidad de plasmar de manera completa la complejidad de los problemas socio-ecológicos (Díaz-Martín, 2015).

##### **a. Cumplimiento de los lineamientos del Área de Protección de Flora y Fauna**

En cuanto al grado de cumplimiento de los objetivos para la conservación de los ecosistemas acuáticos planteados en el Programa de Manejo del APFFNT, mediante los indicadores de respuesta es posible visibilizar que las acciones llevadas a la práctica según los POA (2013-2018) son escasas, entre las que destacan el desarrollo de campañas de limpieza en los cauces y caminos. Lo anterior puede derivarse de la falta de capacidades institucionales, en términos de capital humano y financiero para llevar a cabo de manera completa las acciones planteadas y el seguimiento de éstas (Binnqüist *et al.*, 2017; Pinkus-Rendón *et al.*, 2014).

De acuerdo con Durán y Ramos (2010) entre los principales factores que limitan la conservación y manejo de los recursos naturales en un ANP se encuentra la carencia de insumos, ya que *“Sin equipo, infraestructura y recursos financieros apropiados, los logros a favor de la conservación son por demás limitados”*. Esta dificultad parece tener un futuro desalentador, dado que, de acuerdo con Provencio y Carabias (2019), en el 2019 se llevó a cabo un retroceso en el presupuesto destinado a la conservación, situación que se complica más para instituciones como la CONANP, ya que sus responsabilidades han crecido, de 2012 a 2018 se incrementó la superficie terrestre y marina bajo la administración de CONANP en un 400%, más no así el presupuesto destinado para la institución y, como los mencionan los autores, *“Con el objetivo de que las ANP puedan operar y cumplir con compromisos nacionales e internacionales, es de vital importancia que cuenten con un presupuesto para mantener un personal suficiente y bien capacitado, y consolidar la operación administrativa en la aplicación y ejecución de los programas y recursos a su cargo”*.

Los indicadores de Presión reflejaron un bajo cumplimiento de la subzonificación del PM, lo cual puede estar íntimamente relacionado con que gran parte de los pobladores desconoce la figura de Área de Protección de Flora y Fauna, así como de las actividades permitidas y restringidas de acuerdo con la ubicación de su hogar. Además, los indicadores de impacto mostraron que, de acuerdo con la percepción de los pobladores, la implementación del APFFNT no ha tenido un efecto en sus condiciones de vida (80% de los encuestados).

Entre las críticas al modelo de Programa de Manejo utilizado por la CONANP se encuentra que en éste se plantea suplir las actividades productivas tradicionales de los pobladores por otras con menor impacto ecológico; sin embargo, la mayoría de las veces las personas no reciben capacitación ni seguimiento para modificar sus actividades cotidianas (Riemman *et al.*, 2011). En este sentido, destaca el caso de la comunidad de Agua Blanca, cuyos habitantes expusieron a la ganadería como una de sus principales actividades económicas; sin embargo, de acuerdo con la subzonificación, en el área está prohibido el desarrollo de actividades ganaderas, por lo cual, aunque se encuentra restringido, las personas requieren efectuar la actividad para subsistir, pues no han tenido ninguna capacitación o apoyo logístico y financiero para reconvertir sus actividades económicas.

Lo anterior brinda evidencia de que se requiere de un ejercicio de inclusión integral de la diversidad de actividades que se manifiestan en el área tomando en cuenta las necesidades y múltiples actividades realizadas por una sola comunidad, grupo o familia (Olvera y Pichardo, 2017). De este modo, se debe esperar que no se contrapongan las actividades humanas con las de conservación, sino que se diseñen estrategias que busquen incrementar la calidad de vida de la población local y mejorar el estado ecológico de los ecosistemas (Naughton-Treves *et al.*, 2005). Una de ellas puede darse mediante el ordenamiento de las actividades ganaderas y la capacitación a los productores, por ejemplo, mediante el confinamiento de los animales en establos o la restricción del pastoreo a las orillas de los cuerpos de agua, de modo que se promueva la conservación de la vegetación riparia y de la calidad del agua (Mendoza-Cariño *et al.*, 2014).

Asimismo, en el estudio se registró que en gran parte de los cultivos agrícolas en el Nevado de Toluca se utilizan agroquímicos como fertilizantes y pesticidas. En este sentido, Pinkus-Rendón *et al* (2014) y Fernández-Vázquez (2014) mencionan que uno de los problemas en la implementación de las ANP es la falta de convergencia entre las instituciones, ya que a través de estrategias como el Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES) y el Programa de Empleo Temporal (PET), la CONANP alienta proyectos para la conservación y el uso sustentable de los recursos naturales en las zonas de amortiguamiento de las ANP (CONANP, 2013). Sin embargo, de manera simultánea se encuentran otras instituciones que promueven actividades incongruentes con los objetivos de conservación, como el impulso a la compra de insumos químicos para los cultivos agrícolas planteado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), actualmente llamado Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Pinkus-Rendón *et al.*, 2014; GOB, 2019). Para potenciar y garantizar la sinergia entre las diversas instituciones Pinkus-Rendón *et al.*, (2014) proponen establecer en los programas de manejo de manera específica cuáles son las instituciones y dependencias de los distintos niveles de gobierno que intervienen en todas las actividades productivas y de conservación en cada ANP.

De acuerdo con Brenner (2018), muchas políticas públicas tienen efectos ambientales considerables en los ecosistemas de México e inclusive algunos siguen sustentando el

deterioro ecológico. En este sentido, en los indicadores de Estado se observa un reflejo tanto de las Respuestas (instrumentos de política ambiental) y su Impacto, como de los elementos de Presión. Dichos indicadores mostraron que la degradación de los arroyos es diferente en las comunidades estudiadas, como resultado de múltiples factores, como las características económicas de los pobladores, la capacidad de organización social e infraestructura para el abastecimiento hídrico y la intensidad de las intervenciones humanas. El arroyo de la comunidad Agua Blanca mostró indicios de un buen estado ecológico; sin embargo, se detectaron ciertos elementos que pueden comprometer el funcionamiento de los ecosistemas, como la disminución en la calidad hidromorfológica como producto de las desviaciones de agua para el abastecimiento hídrico y alteraciones a la vegetación riparia. En contraste, el arroyo de Las Raíces mostró mayor degradación ecológica producto del impacto de las actividades turísticas y pecuarias, principalmente sobre la vegetación riparia, elemento clave para el mantenimiento de la estructura y función de los ecosistemas (Mendoza-Cariño *et al.*, 2014). La detección de los elementos de perturbación y sus consecuencias ecológicas en los diferentes contextos sociales es un elemento fundamental para poder diseñar estrategias para la conservación de los ecosistemas acuáticos (Garrido *et al.*, 2016).

#### b. El problema ecológico y la pertinencia de las Respuestas

Durante el desarrollo del trabajo en campo, se detectó que el problema de degradación ecológica de los arroyos del Nevado de Toluca involucra una serie de factores humanos, tanto a escala local como regional. El impacto de cada uno es diferencial, ya que, pese a que en la investigación se indagó en torno a los elementos de perturbación a escala local, no puede perderse de vista que a nivel de área de natural protegida se presentan diversos elementos que juegan un papel preponderante en la alteración de los ecosistemas. Entre ellos, se presentan los cultivos industriales, la tala y minería clandestina, así como el turismo y la acuicultura no regulados (CONANP, 2016).

Una de las acciones más relevantes en torno a los ecosistemas acuáticos del Nevado de Toluca es el Programa de Localización y Caracterización de manantiales, ya que éste trabajo es fundamental para la selección de áreas prioritarias y medidas de acción acordes con las características ecológicas de los sistemas. Pese a ello, mediante el desglose del problema y del análisis de las respuestas, se detectó que, debido a una carencia de visión integral del

problema ecológico y ,con ello, la falta de concordancia entre las respuestas y el problema, se han priorizado acciones paliativas al problema de degradación, como el desarrollo de campañas de limpieza en los cauces, que si bien son necesarias, no fomentan la atención a las causas de fondo del problema, como las desviaciones de agua sin regulación a escala local, y la falta de ordenamiento en las actividades económicas a escala regional.

Los indicadores de Fuerza motriz mostraron que, de manera histórica, gran parte de las acciones de conservación implementadas en el Nevado de Toluca se han centrado en la protección, restauración y mantenimiento cobertura forestal, así como del fomento al ecoturismo (CONANP, 2013; CONANP,2016; Olvera y Pichardo, 2017). En este sentido, entre las políticas y estrategias que el gobierno mexicano ha adoptado para afrontar los problemas ecológicos relacionados con la calidad y cantidad de agua para satisfacer las necesidades nacionales, destaca el diseño de instrumentos económicos, como el Programa Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos que busca garantizar la conservación de los bosques, lo que en principio repercute en la recarga de los mantos acuíferos (Aguilar-Gómez *et al.*, 2015). Sin embargo, éstas medidas resultan sumamente limitadas e insuficientes ante los problemas actuales de deterioro de los ecosistemas acuáticos, que no sólo implica problemas en cuanto a la calidad y cantidad de agua, sino de la pérdida de la integridad de los ecosistemas.

A manera de contraste, pese a que el territorio de San Mateo Almomoloa no se encuentra bajo la regulación de actividades del Área de Protección de Flora y Fauna, en él se registró uno de los arroyos mejor conservados, aspecto relacionado con la integración de los ejidatarios en las estrategias de cuidado, tanto del bosque como de los cuerpos de agua. Los encargados del área mostraron una delimitación de actividades turísticas y agropecuarias, protegiendo el territorio con ríos y arroyos, lo cual se reflejó en una buena conservación de los estratos arbóreos, vegetación riparia y de manera general, del estado ecológico del arroyo. Así mismo, expusieron realizar faenas cada determinado tiempo para dar mantenimiento a la infraestructura para el abastecimiento hídrico.

En esta línea, en muchas las comunidades rurales del país se destaca la capacidad autogestora de los grupos para la provisión de agua y la protección de los cuerpos de agua superficial, bajo la denominación de trabajo colaborativo y colectivo (Montes de Oca y Casillas, 2014).

Este modelo de gestión del agua se sustenta en los artículos 2 y 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, los cuales reconocen y garantizan el derecho de las comunidades originarias a la libre determinación y autonomía para acceder al uso y disfrute preferente de los recursos naturales, así como preservar la integridad de sus tierras (Const.,2012, Art. 2 y 27). Sin embargo, los alcances de éste modelo para la conservación de los ecosistemas pueden verse limitados por la dimensión de los problemas socioecológicos actuales y las capacidades en cuanto a capital humano y financiero, misma situación descrita en las estrategias implementadas por el gobierno municipal y federal.

Por lo anterior, se requiere el fortalecimiento de gobernanza<sup>19</sup> en el territorio, la cual es uno de los principios para un manejo sostenible del agua (Ruelas-Monjardín, 2017). Ya que, como lo plantea Koenig-Archibugi, 2010: “La solución de problemas no es el dominio de la autoridad central capaz de imponer soluciones sobre individuos y agencias subordinadas, sino el resultado de la interacción de una pluralidad de actores que frecuentemente tienen intereses diferentes, valores, orientaciones cognitivas y recursos de poder” (citado en Kenneth, 2010).

---

<sup>19</sup> La gobernanza es definida como el proceso de dirección socio-política que incrementa las interacciones entre los actores sociales y gubernamentales (Kooiman, 2003).

## 12. CONCLUSIONES

- En el estudio se identificó que la implementación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca ha tenido poco impacto sobre la regulación de las actividades humanas en el territorio, como la ganadería, el turismo y las desviaciones de agua, lo cual se reflejó en indicadores de degradación ecológica en los arroyos evaluados. Lo anterior puede deberse a diversos factores, como la falta de integración de los pobladores en las decisiones de conservación, la carencia de un programa que contemple las necesidades de los pobladores locales y la incapacidad institucional en términos de capital humano y financiero para llevar a cabo de manera completa las actividades planteadas para el logro de los objetivos de conservación.
- El estado ecológico de los arroyos del Nevado de Toluca fue diferente en las comunidades estudiadas, el grado de alteración ecológica a nivel local se relacionó con el impacto de la infraestructura para el abastecimiento hídrico, la intensidad de las actividades económicas y la falta de saneamiento en los hogares.
- Uno de los elementos del ecosistema con mayor afectación en los sitios degradados fue la vegetación ribereña, lo cual, aunado al aporte de residuos y modificaciones al cauce provocaron una disminución en la calidad y cantidad del agua, así como cambios en la estructura de los organismos biológicos.
- Los arroyos constituyen la principal fuente de agua para la mayor parte de los pobladores locales, quienes utilizan el agua tanto para consumo humano como para el desarrollo de actividades productivas, como la ganadería.
- Entre las variables relacionadas con el uso de los arroyos se identificó que la crianza de ganado, la presencia de cuerpos de agua adyacentes y el papel de las mujeres en las labores de abastecimiento resultan determinantes para el aprovechamiento de los ecosistemas.

- En la evaluación del APFFNT, se identificó que la mayor parte de los pobladores desconoce los lineamientos del APFFNT y mencionaron no estar involucrados con el manejo del área, lo cual denota un sistema con participación social pobre, con decisiones y ejecución de actividades unilaterales. Los indicadores de presión e impacto revelaron un bajo cumplimiento de la regulación de actividades según la subzonificación del APFFNT, reflejado en los indicadores de degradación ecológica de los arroyos, como la disminución en la calidad hidromorfológica, el incremento de nutrientes y de bacterias de origen fecal en el agua.
  
- Se identificó una falta de congruencia entre los objetivos y estrategias planteados en el Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca y el problema de degradación ecológica desglosado en el estudio, lo cual se asocia a la carencia de un plan de conservación de los ecosistemas lóticos que contemple aspectos como el caudal ecológico, la protección al ecosistema ribereño y la prevención de contaminación tanto por fuentes directas como difusas.
  
- El arroyo con mejor estado ecológico se localizó en el ejido de San Mateo Almomoloa, que no se encuentra bajo la regulación del APFFNT. Sin embargo, los miembros del ejido se organizan para labores de provisión de agua, el mantenimiento de la infraestructura hídrica y el cuidado de los cuerpos de agua superficial. Lo anterior, recalca la importancia de las acciones locales y el potencial de los pobladores para generar estrategias de manejo de los recursos naturales que permitan asegurar la integridad ecosistémica.

## 12. REFERENCIAS

- Aguilar-Gómez, C. R., Arteaga-Reyes, T. T., & Franco-Maass, S. (2015). Pagos por servicios ambientales hidrológicos en el Nevado de Toluca, México. En Ayala, O.D., Camacho, V.D., Castañeda, Z.Y., y López, L.A. *Crisis Civilizatoria en el México Rural Tomo V, Ambiente, Desarrollo e Investigación rural* (59-77). México: Asociación Mexicana de Estudios Rurales A.C.
- Alfie Cohen, M. (2013). Democracia deliberativa y gobernanza ambiental: ¿conceptos transversales de una nueva democracia ecológica? *Sociológica (México)*, 28(80), 73-122.
- Allan, J. D. (1995). *Stream ecology: structure and function of running waters*. Londres: Chapman & Hall.
- Anastacio-Martínez (2012). *Uso y manejo del recurso agua por comunidades rurales en un Área Natural Protegida, caso de estudio La Peñuela, México*. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. Estado de México, México.
- Anastacio-Martínez, N. D., Nava-Bernal, G., y Franco-Maass, S. (2014). El desarrollo agropecuario de los pueblos de alta montaña: La Peñuela, Estado de México. *Economía, sociedad y territorio*, 14(45), 397-418.
- Angelier, E. (2002). *Ecología de las aguas corrientes*. Zaragoza, España: Editorial ACRIBIA.
- APHA (American Public Health Association), American Water Works Association and Water Environmental Federation. (2005). *Standard methods for examination of water and wastewater*. United States of America: Port City Press.
- Arriaga, L., Espinoza, J., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., y Loa (coord). (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- Arteaga-Reyes T., Aguilar Gómez, C. R., González Romero, N. I., y Sotero García, A. I. (2017). Agua-suelo en la agricultura familiar de alta montaña. En: Gómez, W y Thomé, H (coord). *Estudios de caso sobre ciencias agropecuarias y rurales en el siglo XXI* (276). Estado de México, México: Colofón S.A. de C.V.

- Arteaga-Reyes, T., Aguilar Gómez, C. R., Herrera Tapia, F., y Reyes, J. A. (2010). Pago por servicios ambientales hidrológicos: hacia un instrumento de política pública para la sustentabilidad agropecuaria en áreas naturales protegidas. En: Brunett, P.L., Gómez, D.W., Gutiérrez, C.A., Salgado, M.L y Jaimes, A.E (Coord). *Sustentabilidad agropecuaria. Experiencias de investigación para el desarrollo agropecuario forestal y rural* (323). Estado de México, México: Colofón S.A. de C.V.
- Ávila- Foucat. V (coord.). (2014). *Pobreza y sustentabilidad. Capitales en comunidades rurales*. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila-Foucat, S. V., Ramírez, F., y Ortiz-Monasterio, A. (2009). Criterios para la evaluación de la eficacia de algunos instrumentos de conservación *in-situ*. En: *México: capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad* (95-116). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Ávila-García, P. (2008). Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México *Ciencias*. *Ciencias*, (90), 46-57.
- Babigumira, R., Angelsen, A., Buis, M., Bauch, S., Sunderland, T., & Wunder, S. (2014). Forest Clearing in Rural Livelihoods: Household-Level Global-Comparative Evidence. *World Development*, 64(S1), 67-79.
- Banco Mundial. (2004). La pobreza rural en México, generación de ingreso y protección social para los pobres. Fecha de consulta: 25 de marzo de 2019. Recuperado de: [http://siteresources.worldbank.org/INTMEXICO/Resources/La\\_Pobreza\\_Rural\\_en\\_Mexico.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTMEXICO/Resources/La_Pobreza_Rural_en_Mexico.pdf)
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish* (Vol. 339). Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Water.
- Barrantes, G. (2006). Identificación y uso de variables e indicadores: conceptos básicos y ejemplos. Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2018. Recuperado de: *Instituto de Políticas para la Sustentabilidad* (IPS). <http://www.ips.or.cr/Publicaciones/Indicadores%20para%20el%20Desarrollo%20Sostenible.pdf>

- Bellinger, E. G., & Sigeo, D. C. (2015). *Freshwater algae: identification and use as bioindicators*. Reino Unido: John Wiley & Sons.
- Bennett, N. J. (2016). Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. *Conservation Biology*, 30(3), 582-592.
- Binnqüist, C., Sven, G., Chávez Cortés, M. M., & Colín Castro, G. (2017). Evaluación del programa de conservación y manejo del Parque Nacional Huatulco. *Política y cultura*, (47), 167-199.
- Bobadilla, M., Espejel Carbajal, M. I., Lara Valencia, F., Álvarez Borrego, S., Ávila Foucat, S., Almada, F., & Luis, J. (2013). Esquema de evaluación para instrumentos de política ambiental. *Política y cultura*, (40), 99-122.
- Bojorge-García, M. G., & Cantoral Uriza, E. A. (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. *Hidrobiológica*, 26(1), 1-8.
- Bojorge-García, M., Carmona, J., Beltrán, Y., & Cartajena, M. (2010). Temporal and spatial distribution of macroalgal communities of mountain streams in Valle de Bravo Basin, central Mexico. *Hydrobiologia*, 641(1), 159-169.
- Bojorge-García, M.G. (2013). Comunidades algales de efluentes de la presa Valle de Bravo, Estado de México. Tesis que para obtener el grado de Doctora en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Branco, C. C., Bispo, P. C., Peres, C. K., Tonetto, A. F., & Branco, L. H. (2014). The roles of environmental conditions and spatial factors in controlling stream macroalgal communities. *Hydrobiologia*, 732(1), 123-132.
- Brechin, S. R., Wilshusen, P. R., Fortwangler, C. L., & West, P. C. (2002). Beyond the square wheel: toward a more comprehensive understanding of biodiversity conservation as social and political process. *Society & Natural Resources*, 15(1), 41-64.
- Brenner, L. (2018). Los impactos ambientales de las políticas públicas en los manglares de Chiapas, México: Una consecuencia de la falta de integración de la política ambiental. *Gestión y Política Pública*, 27(1), 237-267.
- Brunett, E., Baró, J. E., Cadena, E., & Esteller, M. V. (2010). Pago por servicios ambientales hidrológicos: caso de estudio Parque Nacional del Nevado de Toluca, México. *CIENCIA ergo-sum: revista científica multidisciplinaria de la Universidad Autónoma del Estado de México*, 17(3), 286-294.

- Bueno-Soria, J. (2010). *Guía de identificación ilustrada de los géneros de larvas de insectos del orden Trichoptera de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carbonell Baeza, A., Aparicio García-Molina, V. A., & Delgado Fernández, M. (2009). Efectos del envejecimiento en las capacidades físicas: implicaciones en las recomendaciones de ejercicio físico en personas mayores. *RICYDE. Revista internacional de Ciencias del Deporte*, (17).
- Cardozo Brum, M. (2006). *La evaluación de políticas y programas públicos. El caso de los programas del desarrollo social en México*. México: Porrúa.
- Carmona-Jiménez y Caro-Borrero (2016). La calidad ecológica de los ríos periurbanos de la cuenca de México y del Distrito Federal. En: Aguilar M.A (Coord). *La Ciudad de México en el Siglo XXI Realidades y Retos*. México: Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación. Gobierno de la Ciudad de México.
- Caro-Borrero, A., Jiménez, J. C., & Hiriart, M. M. (2015). Evaluation of ecological quality in peri-urban rivers in Mexico City: a proposal for identifying and validating reference sites using benthic macroinvertebrates as indicators. *Journal of Limnology*, 75(s1).
- Casson, S. A., Martin, V. G., Watson, A., Stringer, A., & Kormos, C. (2016). Wilderness Protected Areas: Management Guidelines for IUCN Category 1b. *Wilderness*, 20, 36-42.
- Cavendish, W. (2000). Empirical regularities in the poverty-environment relationship of rural households: Evidence from Zimbabwe. *World development*, 28(11), 1979-2003.
- Ceballos, G. (2011). *Propuesta de Recategorización y decreto del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estudio Técnico*. México: Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Estado de México, H. Ayuntamiento de Toluca.
- Chambers, R y Conway, G. (1992). *Sustainable Rural Livelihood: Practical Concepts for de 21st Century*. Reino Unido: Institute of Development Studies.
- Chapman, D. (Ed.). 1996. *Water Quality Assessments. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. Cambridge, Reino Unido: Chapman & Hall.
- Cifuentes, M., Izurieta, A., & de Faria, H. H. (2000). *Medición de la efectividad del manejo de áreas protegidas*. Turrialba, Costa Rica: WWF, GTZ, UICN.
- Colín, B. G., Contreras, A. T. R., & Bordi, I. V. (2017). Visibilización de la participación femenina en los Comités Comunitarios de Agua Potable de Toluca, Estado de México. *Sociedad y Ambiente*, (15), 67-92.

- Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (2019). Fecha de consulta: 16 de febrero de 2019. Recuperado de: [http://cepanaf.edomex.gob.mx/areas\\_naturales\\_protegidas](http://cepanaf.edomex.gob.mx/areas_naturales_protegidas)
- CONAGUA. (2010). Estadísticas del Agua en México, Edición 2010. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- CONANP (2010). Informe Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México
- CONANP (2016). Las Áreas Naturales Protegidas de México. Dirección de comunicación y cultura para la conservación. Fecha de consulta: enero de 2019. Recuperado de: <https://www.conanp.gob.mx/regionales/>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2013). Estudio Previo Justificativo para la Modificación de la Declaratoria del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México, México.
- CONANP. (2016). Programa de manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- CONAPO (2010) Índice de marginación por localidad 2010. Consejo Nacional de Población. Colección: índices sociodemográficos. Fecha de consulta: diciembre de 2017. Recuperado de: [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices\\_margina/2010/documentoprincipal/Capitulo01.pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/2010/documentoprincipal/Capitulo01.pdf)
- Consejo Nacional de Población. (2000). Índices Sociodemográficos (en línea). México: CONAPO. Fecha de consulta: noviembre de 2017. Recuperado de: <http://www.conapo.gob.mx>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Const.)(1917,5 de febrero). Diario Oficial de la Federación. 27 de enero de 2016.
- Cruz Moreno, I. A., & Zizumbo V, L. (2017). Alcances de la política social y el turismo rural para el desarrollo local en San Mateo Almomoloa–México. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 26(4), 944-963.
- Cruz-Burga, ZA. 2014. *Percepción local del impacto de la conservación sobre la población rural en áreas naturales protegidas*. Tesis doctoral. Barcelona, España, Universitat Autònoma de Barcelona.

- Cumming, G. S., Olsson, P., Chapin, F. S., & Holling, C. S. (2013). Resilience, experimentation, and scale mismatches in social-ecological landscapes. *Landscape Ecology*, 28(6), 1139-1150.
- Cummins, K. W., Merritt, R. W., & Andrade, P. C. (2005). The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1), 69-89.
- Curcio, P. C. (2007). Metodología para la evaluación de políticas de salud. *Revista Política*, 62-63.
- Da Silva, J. G., Gómez, S., & Castañeda, R. (2017). Boom agrícola y persistencia de la pobreza rural en América Latina. Algunas reflexiones. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, (18), 5-20.
- De la Maza Elvira, R., & De la Maza Elvira, J. (2005). Una historia de las áreas naturales protegidas en México. *Gaceta Ecológica*, 51, 15-68.
- Díaz Martín, D. (2015). *Aplicación de las metodologías DPSIR, ANP y ARS en el manejo y conservación del Parque Nacional Waraira Repano, Venezuela*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València. España.
- Dodds, W. K. (2003). Misuse of inorganic N and soluble reactive P concentrations to indicate nutrient status of surface waters. *Journal of the North American Benthological Society*, 22(2), 171-181.
- Doeg, T., y Lake, P. S. (1981). A technique for assessing the composition and density of the macroinvertebrate fauna of large stones in streams. *Hydrobiologia*, 80(1),3-6.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1997). NOM-001-SEMARNAT/1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2000). NOM-127-SSAI-1994, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México: Secretaría de Salud.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2012). Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). Reforma actual. México, 4.
- Domínguez, E. (1987). El género Thraulodes (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) en la República Argentina. *Acta Zoologica Lilloana*, 39(1), 47-65.

- Dourojeanni, R., & Jouravlev, A. (1999). *Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos*. Comisión Encómica para América Latina y el Caribe-CEPAL.
- Duan, X. H., Zhao-Yin, W. A. N. G., & Xu, M. Z. (2011). Effects of fluvial processes and human activities on stream macro-invertebrates. *International Journal of Sediment Research*, 26(4), 416-430.
- Durán, R., & Ramos-Pacheco, L. (2010). *Papel de las Áreas Naturales Protegidas en la conservación de la biodiversidad. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. México: CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Durand, L., & Jiménez, J. (2010). Sobre áreas naturales protegidas y la construcción de no-lugares: Notas para México. *Revista lider*,(16), 59-72.
- Durand, L., & Lazos, E. (2008). The local perception of tropical deforestation and its relation to conservation policies in Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Mexico. *Human Ecology*, 36(3), 383.
- Ervin, J. (2003). Protected Area Assessments in Perspective. *BioScience*, 53(9), 819-822.
- FAO. (2018). México rural del siglo XXI. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Ciudad de México, México. Fecha de consulta: enero de 2019. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i9548es/I9548ES.pdf>
- Farrington, J., Carney, D., Ashley, C., & Turton, C. (1999). Sustainable Livelihoods in Practice: Early Applications of Concepts in Rural Areas. Natural Resources Perspectives No. 42. Overseas Development Institute (ODI), London.
- Fernández-Lomelín, L.E. (2018). Gestión pluricultural del agua en un territorio indígena: el caso de Cuetzalan, Puebla, México. En Barrera-Bassols y Floriani Nicolas. *Saberes locales, paisajes y territorios rurales en América Latina* (51-74). Popayán, Colombia: Universidad del Cauca.
- Fernández-Vázquez, E. (2014). Integración de la política ambiental en México: El caso de la política agropecuaria. *Gestión y política pública*, 23(2), 465-505.
- Fierros, I., y Ávila-Foucat, V. S. (2017). Medios de vida sustentables y contexto de vulnerabilidad de los hogares rurales de México. *Problemas del desarrollo*, 48(191), 107-131.
- Figuroa, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., & Linaje, M. (2011). Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente?. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(3), 951-963.

- Fisher, M. (2004). Household welfare and forest dependence in Southern Malawi. *Environment and Development Economics*, 9(2), 135-154.
- Fremier, A. K. (2004). *Stream ecology: concepts and case study of macroinvertebrates in the Skeena River Watershed*. British Columbia: University of California Davis.
- Galindo, C. J. (Ed.) (1998). *Técnicas de investigación en sociedad, cultura y comunicación*. México: Comisión Nacional de Cultura/Addison Wesley Longman.
- García-Frapolli, E., & Toledo, V. M. (2008). Evaluación de sistemas socioecológicos en áreas protegidas: un instrumento desde la economía ecológica. *Argumentos* (México), 21(56), 103-116.
- Garrido, A., Cuevas, M. L., Cotler, H., González, D. I., & Tharme, R. (2010). El estado de alteración ecohidrológica de los ríos de México. En: *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Gil Antonio, M. A., Reyes Hernández, H., Márquez Mireles, L. E., Cardona Benavides, A. (2014). Disponibilidad y uso eficiente de agua en zonas rurales. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (63), 67-73.
- Gobierno del Estado de México (GEM). Secretaría del Medio Ambiente, Localización y Caracterización de Manantiales en el Estado de México. Fecha de consulta: enero de 2017. Recuperado de: [https://sma.edomex.gob.mx/manantiales\\_del\\_estado](https://sma.edomex.gob.mx/manantiales_del_estado)
- González-Romero, N. I., Galicia, L., Arteaga-Reyes, T. T., Thomé-Ortíz, H., & Héritier, S. (2018). Actividades recreativas y conservación en Áreas Naturales Protegidas en el centro de México: un enfoque desde los Socioecosistemas. *Revista Ecosistemas*, 27(1), 116-126.
- Gregory, A. J., Atkins, J. P., Burdon, D., & Elliott, M. (2013). A problem structuring method for ecosystem-based management: The DPSIR modelling process. *European Journal of Operational Research*, 227(3), 558-569.
- Guevara, A., y Lara-Pulido, J.A (2015). Agua, pobreza y uso del tiempo en México: Análisis cuantitativo como sustento del diseño de una política pública de doble dividendo. *Nova Scientia*, 7(15), 462-481.
- Guillén Estany, M. (2006). Indicadores de dependencia y calidad de vida. Recuperado de: <http://www.imserso.es/InterPresent2/groups/imserso/documents/binario/indeca.pdf>.

- Hammer, O.; Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001): "PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 9.
- Hernández-Magaña, A. (2015). *Microorganismos en agua como indicadores del proceso de degradación de la cuenca del Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas, México*. Tesis para obtener el título de Bióloga. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Hernández, R., y Herrerías, G. (2004). Tecnologías de regeneración de cuencas para la obtención de agua. *Revista Christus, Revista de Teología y Ciencias Humanas*, 69(743), 14-19.
- Hershey, A. E., & Lamberti, G. A. (1998). Stream macroinvertebrate communities. *River Ecology and Management-Lessons from the Pacific coastal ecoregion*, 169-199.
- Herzig, M., Sánchez, O., Peters, E, Márquez-Huitzil, R y Zambrano, L. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Hufty, M. (2008). Una propuesta para concretar el concepto de gobernanza: el marco analítico de la gobernanza. En: Mazurek, Hubert (ed.). *Gobernabilidad y gobernanza de los territorios en América Latina* pp: 77-100. Lima: Actes & Mémoires de l'Institut François d'Études Andines.
- Iris, T.I. (2013). *Parteaguas: la propuesta mazahua a la ciudad de México: reciprocidad, no-violencia y sustentabilidad*. México: El Colegio de Michoacán
- Izurieta, A. (1997). Evaluación de la Eficiencia del Manejo de Áreas Protegidas: Validación de una Metodología Aplicada a un Subsistema de Áreas Protegidas y sus Zonas de Influencia, en el Área de Conservación Osa, Costa Rica. Tesis de Maestría en Ciencias. Turrialba, Costa Rica.
- Jodha, N.S., 1986. Common property resources and rural poor in dry regions of India. *Economic and political weekly* 21 (27), 1169–1181.
- Jones, J. A., Swanson, F. J., Wemple, B. C., & Snyder, K. U. (2000). Effects of roads on hydrology, geomorphology, and disturbance patches in stream networks. *Conservation Biology*, 14(1), 76-85.
- Jouravlev, Andrei (2001). *Administración del agua en América Latina y el Caribe en el umbral del siglo XXI, Serie Recursos Naturales e Infraestructura*. Santiago, Chile: Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

- Juárez-Vega, M. 2008. Crecimiento económico y deterioro ambiental de las localidades del Parque Nacional Nevado de Toluca. *Páramo del Campo la Ciudad* 15, 140–159.
- Kaplan, M (1998): La crisis ambiental: análisis y alternativas. En: *La responsabilidad jurídica en el daño ambiental*. México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kenneth, P. 2010. Global perspectives on governance. En: Osborne, S. (ed.). *The new public governance? Emerging perspectives on the theory and practice of public governance*. Routledge.
- Kooiman, J. (2003). Modern governance. New government-society interactions. Londres: Sage publications.
- Lebreton, C., & Imbernon, J. (2017). Controversia científica y democrática: el caso de la recategorización del Parque Nacional del Nevado de Toluca, México. *Sociedad y Ambiente*, (14), 5-30.
- Leverington, F., Costa, K. L., Pavese, H., Lisle, A., & Hockings, M. (2010). A global analysis of protected area management effectiveness. *Environmental management*, 46(5), 685-698.
- Lewison, R. L., Rudd, M. A., Al-Hayek, W., Baldwin, C., Beger, M., Lieske, S. N., Jones, S., Satumanatpan, S., Juchompoo, C & Hines, E. (2016). How the DPSIR framework can be used for structuring problems and facilitating empirical research in coastal systems. *Environmental Science & Policy*, 56, 110-119.
- Lezama, J.L (2010). Sociedad, medio ambiente y política ambiental. En: Lezama, J. L y Graizbord, B (coords.), *Los grandes problemas de México*. México: El Colegio de México.
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S.R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A.N., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C.L., Schneider, S.H., Taylor, W.W. 2007. Complexity of coupled human and natural systems. *Science* 317(5844), 1513-1516
- López- Romo, H. (1998). *La metodología de la encuesta. Técnicas de investigación en sociedad, cultura y comunicación*. Ciudad de México, México: Pearson.
- López, G. J., Damián H, M., Álvarez G, F., Parra I, F. y Zuluaga S, G. (2012). La economía de traspatio como estrategia de supervivencia en San Nicolás de los Ranchos, Puebla, México. *Revista de Geografía Agrícola*, 48-49, 51-63.

- López-Soriano, E. (2014). *Capital social y Turismo en San Mateo Almomoloa, Temascaltepec, México*. Tesis para obtener el título de licenciada en Turismo. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Lüning, K. (1990). *Seaweeds: their environment, biogeography, and ecophysiology*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Maddala, G. S. (1986). *Limited-dependent and qualitative variables in econometrics*. United States of America: Cambridge University Press.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunlap, P. V., & Clark, D. P. (2009). *Brock. Biología de los Microorganismos*. Madrid, España: Pearson.
- Mamo, G., Sjaastad, E., & Vedeld, P. (2007). Economic dependence on forest resources: A case from Dendi District, Ethiopia. *Forest Policy and Economics*, 9(8), 916-927.
- Márquez-Santamaría, K.P. (2019). *Caracterización de las interacciones bióticas entre algas macroscópicas y macroinvertebrados bentónicos: preferencia de hábitat en ríos de la región central de México*. Tesis para obtener el grado de Bióloga. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Martínez- Castillo, Róger. (2008). Características socio- ambientales de la huella ecológica. *Revista Biocenosis*, Vol. 21 (1-2), p. 55-64.
- Mendoza-Cariño, M., Quevedo, N.A., Bravo, V.A., Flores, M. H., De la Isla, D.M., y Zamora, M.B (2014). Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva Ley General de Aguas de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(4), 429-436.
- Merlo, G. A. (2014). *Efecto de la heterogeneidad espacial sobre la diversidad taxonómica y funcional de los macroinvertebrados acuáticos de Xochimilco*. Tesis de Maestría, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Merritt, W. & W. Cummins. (2008). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. United States of America: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Metcalfe, J. 1989. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. *Environmental Pollution* 60(1): 101-139.
- Montes de Oca H.A., y Casillas S.K. (2015). Organizaciones comunitarias y sus derechos de participación en el aprovechamiento de agua potable en México. En: Quezada R.M., Serrano A.T., Reyna B.A., Vázquez S.g., y Ortiz L.A. (2014). *Temas de investigación social en*

México. TOMO II. Desarrollo y Pobreza. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Munguía, R. P., López, R. P & Nava, M. M. (2007). Integridad biótica de ambientes acuáticos. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*, 71.
- Naciones Unidas. (2013). Objetivos del milenio. Informe de 2013. Podemos erradicar la pobreza. Fecha de consulta: 15 abril de 2018. Recuperado de: <http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/mdg-report-2013-spanish.pdf>
- Narain, U., Gupta, S., & van't Veld, K. (2008). Poverty and resource dependence in rural India. *Ecological Economics*, 66(1), 161-176.
- Naughton-Treves, L., Holland, M. B., & Brandon, K. (2005). The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. *Annual Review of Environmental Resources* 30, 219-252.
- Nava Z., Mireles, L y Valdéz P, M. (2013). Manejo del agua en la comunidad Santa María del Monte, Zinacantepec, Estado de México. En: Orozco-Hernández, M. E., Zarza, N., Saray, E., Mireles Lezama, P., & Valdez Pérez, M. (2014). *Comunidades y recursos naturales. Gestión del desarrollo rural*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Necchi Jr, O., Branco, L. H. Z., & Branco, C. C. Z. (1995). Comparison of three techniques for estimating periphyton abundance in bedrock streams. *Archiv fur Hydrobiologie. Stuttgart*, 134(3), 393-402.
- Nguyen, T. T., Do, T. L., Bühler, D., Hartje, R., & Grote, U. (2015). Rural livelihoods and environmental resource dependence in Cambodia. *Ecological Economics*, 120, 282-295.
- Nilsson C., Reidy C.A., Dynesius E. y Revenga C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308, 405- 408.
- Ocampo-Fletes, I., Parra-Inzunza, F., & Ruiz-Barbosa, Á. E. (2018). Derechos al uso de agua y estrategias de apropiación en la región semiárida de Puebla, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(1), 63-83.
- Olvera García, J., & Pichardo Pagaza, I. (2017). *Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Retos y oportunidades*. Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Omori, M. e Ikeda, T. 1984. *Methods in marine zooplankton ecology*. New York: John Wiley Sonso.

- Oñate, J. J., Pereira, D., Suárez, F., Rodríguez, J. J., & Cachón, J. (2002). *Evaluación ambiental estratégica: la evaluación ambiental de políticas, planes y programas*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Ordaz, J., Melgar, M., & Rubio, C. (2011). *Métodos estadísticos y econométricos en la empresa y para finanzas*. Sevilla: Universidad Pablo de Olavide.
- Ortiz-Fernández, R. (2017). La Calidad Hidromorfológica de la Cuenca de México: una propuesta metodológica para reconocer la calidad del ecosistema de ribera. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Palmer, C. G., Maart, B., Palmer, A. R., & O'Keeffe, J. H. (1996). An assessment of macroinvertebrate functional feeding groups as water quality indicators in the Buffalo River, eastern Cape Province, South Africa. *Hydrobiologia*, 318(3), 153-164.
- Palumbo, D.J (1987). *The Politics of Program Evaluation*. Beverley Hills and London: Sage.
- Parsons, W. (2007). Políticas públicas. *Una introducción a la teoría y la práctica del análisis de Políticas Públicas*. México: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO).
- Peña E.J., Palacios M.L y Ospina N. (2005). *Algas como indicadoras de contaminación*. Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Peñuela Arévalo.L.A (2012). La teoría de los sistemas de flujo de agua subterránea como herramienta para la definición de zonas de interés en programas de pago por servicio ambiental hidrológico, Mexico. En: Pérez, C.E., Perevochtchikova, M y Ávila-Foucat, V. (coord.) *Hacia un manejo sustentable del suelo de conservación del Distrito Federal*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Pinkus Rendón, M. J., Pinkus Rendón, M. Á., & Ortega-Rubio, A. (2014). Recomendaciones para el manejo sustentable en las áreas naturales protegidas de México. *Investigación y Ciencia*, 22(60), 102-110.
- Plasencia-Soler, J. A. P., Delgado, F. M., Sanjuán, A. M. B., & García, M. N. (2018). Modelos para evaluar la sostenibilidad de las organizaciones. *Estudios Gerenciales*, 34(126), 63-73.
- Provencio y Carabias, 2019. El presupuesto de medio ambiente: un trato injustificado y desproporcionado. ESTE PAIS. Número 336. Abril. Fecha de consulta: 18-04-2019. Recuperado de: <http://www.estepais.com/articulo.php?id=2124&t=el-presupuesto-federal-de-medio-ambiente-un-trato-injustificado-y-desproporcionado>

- Ramírez V, M. R., Beltrán M, Y., Bojorge G, M., Carmona Jiménez, J., Cantoral Uriza., & Valdéz C, F. (2001). Flora algal del río la Magdalena Distrito Federal, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (68), 45-67.
- Ramírez- Vázquez, M, & Cantoral Uriza, E. (2003). Flora algal de ríos templados en la zona occidental de la cuenca del Valle de México (parte B). *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica*, 74(2), 143-194.
- Ramírez, R. R. & Carmona, J. J (2005). Taxonomy and distribution of freshwater Prasiola (Prasiolales, Chlorophyta) in central México. *Cryptogamie. Algologie*, 26(2), 177-188.
- Ramírez-Lynn J.E. (2010). Caracterización del ecosistema de ribera y su valor indicador del estado ecológico en la subcuenca Valle de Bravo-Amanalco, Estado de México. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias (Limnología). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Regil, G. H. (2013). *Pérdida y recuperación de carbono derivadas de la dinámica de cambio de uso de suelo en el Parque Nacional Nevado de Toluca en el periodo 2000-2009*. Tesis de Doctorado. Toluca. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Reyes- Orta., Brum, M. I. C., García, C. A., Fierros, H. M., & Carbajal, M. I. E. (2013). Análisis del sistema de evaluación del PRODERS y su transformación al PROCODES. *Investigación ambiental Ciencia y Política Pública*, 5(1), 44-61.
- Reyna, B. N. (2011). *Retos de la gestión sustentable de los servicios de agua y saneamiento en comunidades rurales: caso de estudio de Tacotalpa, Tabasco*. México: Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Reynaga, M. C. (2009). Hábitos alimentarios de larvas de Trichoptera (Insecta) de una cuenca subtropical. *Ecología Austral*, 19(3), 207-214.
- Riemann, H., Santes-Álvarez, R. V., & Pombo, A. (2011). El papel de las áreas naturales protegidas en el desarrollo local: El caso de la península de Baja California. *Gestión y Política Pública*, 20(1), 141-172.
- Rockstrom, J., W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sorlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, y J.

- Foley. 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2): 32.
- Rodríguez, F.R. (2014). *Diversidad y distribución de algas macroscópicas de ríos de alta montaña de la Cuenca de México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Rodríguez, F.R. (2016). *Las algas macroscópicas como indicadores de la calidad ecológica en ríos periurbanos de la Ciudad de México*. Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias. Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Rodríguez-Flores, R., & Carmona-Jiménez, J. (2018). Ecology and distribution of macroscopic algae communities in streams from the Basin of Mexico. *Botanical Sciences*, 96(1), 63-75.
- Roldán, P.G. (2003). *Uso del método BMWP/Col*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Román-Cuesta, M. R., & Martínez-Vilalta, J. (2006). Effectiveness of protected areas in mitigating fire within their boundaries: case study of Chiapas, Mexico. *Conservation biology*, 20(4), 1074-1086.
- Rosenberg, D. M., McCully, P., y Pringle, C. M. (2000). Global-scale environmental effects of hydrological alterations: Introduction. *Bioscience*, 50(9), 746.
- Ruelas-Monjardín, L (2017). *Gobernanza para el manejo integral de cuencas: El programa de Gestión del Río Necaxa, una subcuenca de Montaña*. México: El Colegio de Veracruz, Juan Pablo Editor, México.
- Ruiz-Mallen, I., Newing, H., Porter-Bolland, L., Pritchard, D. J., Garcia-Frapolli, E., Méndez-López, M.E., Sánchez-González, C., De la Peña, A y Reyes-García, V. (2014). Cognisance, participation and protected areas in the Yucatan Peninsula. *Environmental Conservation*, 41(3), 265-275.
- Ruiz-Torres, M. (2018). Modos de vida rurales en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. *CIENCIA ergo-sum*, 26(1).

- Salinas-Camarillo, V.H. (2018). *Las diatomeas indicadoras de la calidad ecológica en los ríos de la cuenca de México*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias (Limnología). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Sánchez-Cordero, V., F. Figueroa, P. Illoldi-Rangel y M. Linaje. (2007). Efectividad de una selección de áreas protegidas para conservar la vegetación primaria y evitar el incremento de las áreas transformadas. En: *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies*. México: Comisión Nacional para la Conservación y Uso de la Biodiversidad/ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas/ The Nature Conservancy-Programa México/ Pronatura/ Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Sánchez-Montoya, M. M., Vidal-Abarca, M. R., Puntí, T., Poquet, J. M., Prat, N., Rieradevall, M., Alba-Tecedor J; Zamora-Muñoz C; Toro M; Robles S; Álvarez M & Suárez, NL. (2009). Defining criteria to select reference sites in Mediterranean streams. *Hydrobiologia*, 619 (1), 39-54.
- Sandoval Moreno, A., y Günther, M. G. (2015). Organización social y autogestión del agua: comunidades de la Ciénega de Chapala, Michoacán. *Política y cultura*, (44), 107-135.
- Sandoval, F. A. (2005). *Cultura y organización social en los indígenas mexiquenses*. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Schneck, F., Schwarzbald, A., & Melo, A. S. (2011). Substrate roughness affects stream benthic algal diversity, assemblage composition, and nestedness. *Journal of the North American Benthological Society*, 30(4), 1049-1056.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) (2013). Catálogo de Localidades. Fecha de consulta: 19 de enero de 2018. Recuperado de: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/Default.aspx>
- Shackleton, C. M., & Shackleton, S. E. (2006). Household wealth status and natural resource use in the Kat River valley, South Africa. *Ecological Economics*, 57(2), 306-317.
- Sheath, R.G y Hambrook, J.A. (1990). Freshwater ecology. En: Cole, K.M y Sheath, R.G. (eds), *Biology of the Red Algae*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sistema General de Programas Operativos Anuales (2013). Programa Operativo Anual Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.

- Sistema General de Programas Operativos Anuales (2014). Programa Operativo Anual Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- Sistema General de Programas Operativos Anuales (2015). Programa Operativo Anual Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- Sistema General de Programas Operativos Anuales (2016). Programa Operativo Anual Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- Sistema General de Programas Operativos Anuales (2017). Programa Operativo Anual Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- Sistema General de Programas Operativos Anuales (2018). Programa Operativo Anual Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- Soares, D. (2006). Mujeres, agua, leña y desarrollo: estudio de caso sobre género y recursos naturales en los Altos de Chiapas. En: Vázquez, V., Soares, D, de la Rosa, A., y Serrano, A. *Gestión y cultura del agua Tomo II*. México: IMTA y COLPOS.
- Sofer, M. (2001). Pluriactivity in the Moshav: family farming in Israel. *Journal of Rural Studies*, 17(3), 363-375.
- Solís-Correo, M. (2015). *Caracterización de la producción ovina y propuesta de manejo pecuario en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Caso Zinacantepec, Estado de México*. Tesis de licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Sraïri, M. T., & Ghabiyel, Y. (2017). Coping with the work constraints in crop-livestock farming systems. *Annals of Agricultural Sciences*, 62(1), 23-32.
- Steneck, R. S., & Dethier, M. N. (1994). A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos*, 69(3), 476-498.
- Sun, R., Yao, P., Wang, W., Yue, B., & Liu, G. (2017). Assessment of wetland ecosystem health in the Yangtze and Amazon River Basins. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(3), 81.

- Tchobanoglous, G. y E.D. Schroeder (1985). *Water quality: Characteristics, modeling, modification*. United States of America: Reading, Addison-Wesley Publ.
- Thondhlana, G., & Muchapondwa, E. (2014). Dependence on environmental resources and implications for household welfare: Evidence from the Kalahari drylands, South Africa. *Ecological Economics*, 100(108), 59-67.
- Toledo, V. M. (2005). Repensar la conservación: ¿áreas naturales protegidas o estrategia bioregional? *Gaceta ecológica*, (77), 67-83.
- Toscana Aparicio, A., & Granados Ramírez, R. (2015). Recategorización del Parque Nacional Nevado de Toluca. *Política y cultura*, (44), 79-105.
- Unites States. Enviromental Protection Agency (USEPA). (2012). Recreational Water Quality Criteria. Washington D.C. Recuperado de: <https://www.epa.gov/wqc/2012-recreational-water-quality-criteria>
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 130-137.
- Vergara-Olaya, D. L. (2009). *Entomofauna lótica bioindicadora de la calidad del agua*. Tesis de Grado en Medio Ambiente y Desarrollo. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Vilchis, M. I. (2006). *Cartografía morfoedáfica escala 1:20,000; 7 estudios de caso en el volcán Nevado de Toluca, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Wakild, E. (2011). *Revolutionary parks: conservation, social justice, and Mexico's national parks, 1910-1940*. Tucson: University of Arizona Press.
- Wehr, J. D y Sheath, R. G. (Eds.). (2003). *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. United States of America: Elsevier.
- Wilshusen, P. R., Brechin, S. R., Fortwangler, C. L., & West, P. C. (2002). Reinventing a square wheel: Critique of a resurgent" protection paradigm" in international biodiversity conservation. *Society & Natural Resources*, 15(1), 17-40.
- Yommi, M.R. (2013). Gestión integral de agua y saneamiento. En: Rueda-Puente, E.O y Lisa, M.L. (coord.) *La importancia de la sustentabilidad en pro del desarrollo comunitario*. México: Jorale Editores.

## ANEXOS

### 1. Cálculos para la determinación del tamaño muestral

Para el tamaño muestral se utilizó la fórmula 1, tomando como base el total de viviendas particulares habitadas (vph) del conjunto de localidades del estudio.

Fórmula 1. Tamaño muestral

$$n = \frac{Z\sigma^2 * N * p * q}{i^2 (N-1) + Z\sigma^2 * p * q}$$

Dónde: n= tamaño de la muestra., Z= distribución normal de Gauss para un 95% de confianza (1.96), N= valor de viviendas particulares habitadas dentro del APFFNT (503)., p=heterogeneidad esperada (.80)., q=1-p (.2) e i= error que se prevé cometer (0.05).

$$n = \frac{1.96^2 * 503 * 0.8 * 0.2}{0.05^2 (502) + 1.96^2 * 0.8 * 0.2}$$

De modo que, **n=100 encuestas**

Posteriormente se registró el nvh por cada localidad del estudio y de acuerdo con el criterio de los investigadores, el levantamiento de encuestas cubrió el 20% de las vph por localidad, cumpliendo con el tamaño muestral y obteniendo la suficiente representatividad por localidad, los datos se presentan a continuación:

LOCALIDAD	VPH	20%	EFFECTUADAS
Dilatada sur	331	66.2	68
Agua blanca	19	3.8	5
Baldío amarillo	3	0.6	2
Las raíces	141	28.2	29
San Juan Tepehuizco	9	1.8	2
SUMA	503	100	106

Nota: En el caso de la localidad de San Mateo Almomoloa únicamente se levantaron 10 encuestas, la muestra no es considerada representativa, por lo cual no es válida para todo el universo de estudio.

**2. Encuesta aplicada a las comunidades residentes en la montaña del Nevado de Toluca**

**El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca como modelo para entender los vínculos entre la política ambiental y el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos**

Nombre del encuestador	
Fecha	
No. Encuesta	
Anotaciones	

**I. Aspectos generales: Caracterización de la población**

1.Nombre	
2. Edad	
3. Sexo	(a) M <input type="checkbox"/> (b) F <input type="checkbox"/>
4.Municipio	
5.Localidad	
6.Escolaridad	(a) sin estudios (b) primaria incompleta (c) primaria completa (d) secundaria (e) preparatoria (f) técnico (g) profesional

7.Tiempo de residencia en la montaña	
8. Lugar de origen	
9. ¿Usted tiene tierras?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
10. ¿Cómo las obtuvo?	(a) por decreto presidencial (b) herencia (c) matrimonio (d) renta (e) préstamo (f) ocupación (g) compra (h) otro (nombrar)
11. ¿Usted es?	(a)ejidatario (b) comunero (c) propietario privado (d) avecindado (e) otro ¿cuál?

## II. Actividades económicas

12. ¿Cuáles son las actividades económicas más importantes en su comunidad?

Actividad	SI	NO	Orden de importancia
(a) agricultura			
(b) ganadería			
(c) floricultura			
(d) granjas de peces			
(e) extracción de material (mina)			
(f) turismo			
(g) comercio			
(h) producción forestal			
(i) trabajo asalariado			
(j) otro			

13. ¿Cuál es su principal actividad económica?

Actividad	SI	NO	F= consumo familiar C= comercio A= ambos	Orden de importancia
(a) agricultura (*) (preg.14-19)				
(b) ganadería (*) (preg.25-28)				
(c) floricultura (*) (preg.29-32)				
(d) granjas de peces (*) (preg. 33-35)				
(e) extracción de material (mina)				
(f) turismo (*)				
(g) comercio				
(h) producción forestal (*)				
(i) trabajo asalariado				

(\*) SÍ ES ENTREVISTADO MENCIONÓ CUALQUIERA DE ESTAS ACTIVIDADES, LLENAR LOS APARTADOS SIGUIENTES PARA CARACTERIZAR LAS ACTIVIDADES. EN CASO DE QUE NO, SALTE A LA PREGUNTA **31**

Actividad Agrícola

14. ¿Usted qué produce en su tierra?

(a) maíz	(b) avena	(c) frijol	(d) haba	(e) papa
(f) aguacate,	(g) frutales	(h) Flores	(e) otro ¿cuál?	

15. Del total de su parcela ¿Cuántas ha tiene enmontadas (con bosque)?	
16. ¿Cuántas hectáreas tiene cultivadas?	
17. Su cultivo es:	(a) de temporal      (b) de riego
18. ¿Cómo obtiene el agua para su cultivo?	
19. ¿Usa fertilizantes comerciales en sus cultivos? Si sí, menciónelos	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
20. ¿Usa pesticidas en sus cultivos? Si sí, menciónelos	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
21. ¿En la comunidad se rentan tierras para el pastoreo del ganado?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
22. ¿En la comunidad se rentan tierras para la siembra de papa?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
23. ¿Hay gente que se ha enfermado en la comunidad por cultivar la tierra?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
24. ¿de qué? ¿por qué?	

#### Actividad ganadera

25. Tipo de ganado	(a) vacas      (b) borregos      (c) chivos      (d) puercos
26. Están:	(a) libres (b) semiestabulados (en establo pero los sacan a pastar) (c) estabulados (confinados)
27. ¿Con qué los alimenta?	(a) pasto natural (b) forraje propio (b) pasturas compradas y forraje (c) alimento balanceado comercial nombre: (d) otro:
28. ¿De dónde obtiene el agua para el ganado?	

Actividad forestal

29. ¿La comunidad hace aprovechamiento forestal comercial?	(a) SI <input type="checkbox"/>	(b) NO <input type="checkbox"/>
30. ¿Tienen plan de manejo forestal?	(a) SI <input type="checkbox"/>	(b) NO <input type="checkbox"/>
31. Ahora que se puede hacer manejo forestal ¿qué ventajas va a tener esto para el mantenimiento del monte?		

**32. ¿Qué productos del bosque usa su familia? (PREGUNTAR A TODOS)**

Actividad	SI	NO	F= consumo familiar C= comercio A= ambos	Orden de importancia
(a) leña,				
(b) plantas comestibles				
(c) plantas medicinales				
(d) fibras para escobas				
(e) plantas ornamentales y rituales				
(f) forraje				
(g) extracción de tierra comercio				
(h) árboles jóvenes para fabricar estacas				
(i) madera para la casa				

Actividad piscícola

33. ¿Qué peces crían?	
34. ¿En dónde los cultivan?	
35. ¿En dónde se desecha el agua de los estanques de peces?	

Actividad turística

36. ¿Qué tipo de actividad turística ofrece la comunidad?	
-----------------------------------------------------------	--

37. ¿Hay grupos organizados para las actividades turísticas en la comunidad?	(a) SI <input type="checkbox"/>	(b) NO <input type="checkbox"/>
38. ¿Venden artesanía a los turistas?	(a) SI <input type="checkbox"/>	(b) NO <input type="checkbox"/>
39. ¿Qué infraestructura tienen?	(a) restaurantes (c) hotel (d) senderos demostrativos (e) tiendas de artesanías	(b) cabañas (d) zonas para acampar

Medios de vida: Fuentes de alimentación

40. ¿De dónde obtienen los alimentos que consume la familia?

Actividad	SI	NO	Orden de importancia
(a) colecta			
(b) cacería en el bosque			
(c) producción en la parcela			
(d) compra o intercambio con vecinos			
(e) tienda local			
(f) tienda en un municipio cercano			
(g) tienda alejada			

### III. Formas de uso del agua

41. ¿Cuáles son sus principales fuentes de abastecimiento de agua?	(a) Lagos del cráter (c) pipa (e) colecta de agua de lluvia, (f) otro ¿cuál?	(b) ríos o arroyos (d) agua entubada
42. ¿En su comunidad falta el agua?	(a) SI <input type="checkbox"/>	(b) NO <input type="checkbox"/>
43. ¿por qué?		
44. ¿Ha habido algún cambio en la cantidad de agua en la comunidad en los últimos cinco años?	(a) SI <input type="checkbox"/>	(b) NO <input type="checkbox"/>
45. ¿por qué cree que pasó?		
46. ¿Ha habido cambio en la calidad del agua (olor, sabor, color)?	(a) SI <input type="checkbox"/>	(b) NO <input type="checkbox"/>
47. ¿Qué tipo de cambio?		

48. Los cambios en la cantidad y calidad del agua han afectado la subsistencia de su familia de alguna manera?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
49. ¿De qué manera?	
50. El agua usada de su casa ¿en dónde la desechan?	(a) la casa está conectada al drenaje (b) va al río (c) va a una barranca (d) directo a la calle (e) en su terreno (e) otro

Formas de uso: uso del bosque

51. ¿Usted considera que ha habido cambios en el número de árboles del bosque en el Nevado?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
52. ¿Usted considera que ha habido cambios en el número de ha del bosque en el Nevado?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
53. ¿A qué se deben estos cambios?	(a) ganadería (b) agricultura (c) explotación de madera (d) tala clandestina (e) programas de gobiernos para el bosque (f) incendios (g) plagas (h) viento (i) otro ¿cuál?
54. Los cambios en el bosque han afectado la subsistencia de su familia de alguna manera?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
55. ¿de qué manera?	

**IV. Desastres naturales: Vulnerabilidad**

56. ¿Alguna vez, usted o algún integrante de su familia ha sido víctima en la comunidad de....?	(a) incendio (b) inundación (c) deslaves (d) pérdida de cultivos por exceso/falta de lluvia (e) falta de lluvia (f) heladas (g) otro ¿cuál?
-------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

57. ¿Cuál ha sido la causa más frecuente de los incendios en los últimos cinco años?	
58. ¿cuáles son las ventajas de vivir en la montaña?	
59. ¿Qué es lo más difícil de vivir en la montaña?	
60. ¿Alguna vez ha pensado irse a vivir a otro lado?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
61. si sí, ¿cuál podría ser una razón para irse a vivir a otro lado? Mencione el lugar	

#### V. Factores que afectan sus actividades económicas: Políticas públicas

62. ¿Usted recibe apoyo de algún programa de gobierno?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
63. si sí, ¿qué programa?	
64. ¿Conoce algún otro programa de gobierno en el que participen otras personas de la comunidad?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
65. si sí, ¿cuál?	
66. ¿Conoce algún programa para la comunidad que sea para cuidar el bosque?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
67. ¿Tienen apoyo para el manejo forestal comercial?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
68. ¿Hay algún programa de apoyo a la producción agrícola?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
69. ¿Hay algún programa para producción orgánica?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
70. ¿Hay algún programa de apoyo al ecoturismo?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
71. ¿Tienen apoyo para el ganado?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>

## VI. Efectos del instrumento de conservación

72. ¿Cómo ha influido vivir en un área natural protegida?

Conocimiento del instrumento

73. ¿Usted sabe si hubo un cambio en el tipo de área protegida del Nevado?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
74. ¿El cambio de categoría del área protegida le afecta de alguna manera (positivo o negativo)?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
75. ¿en qué sentido le ha afectado?	
76. ¿ La comunidad tuvo oportunidad de opinar sobre la recategorización?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/> (c) NA <input type="checkbox"/>
77. Si sí, ¿De qué manera?	
78. ¿ La comunidad tuvo oportunidad de opinar sobre las actividades del plan de manejo?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/> (c) NA <input type="checkbox"/>
79. Si sí, ¿De qué manera?	
80. Su comunidad ¿en qué zona del APFF se encuentra?	(a). núcleo (b) amortiguamiento (c) NS
81. ¿Conoce qué actividades económicas se pueden hacer en esta zona de APFF?	NS <input type="checkbox"/>
82. ¿Cuáles no?	NS <input type="checkbox"/>

Acompañamiento

83. ¿Tienen contacto con las dependencias de gobierno que manejan el APFF?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/> (c) NS <input type="checkbox"/>
----------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------

84. ¿Han recibido algún tipo de capacitación para la realización de actividades productivas en la montaña?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/> (c) NS <input type="checkbox"/>
85. ¿Le ha servido de algo esta capacitación?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/> (c) NS <input type="checkbox"/>

Percepción sobre sus recursos

86. ¿Por qué es importante el monte para ustedes?	
87. ¿Qué pasaría si se acabara?	
88. ¿Cuál es la principal amenaza para el monte en el Nevado?	
89. ¿Usted ha subido en los últimos cinco años a los lagos?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
90. ¿Son importantes para usted los lagos del Nevado?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/>
91. ¿Son importantes para la montaña los lagos del Nevado?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/> (c) NS <input type="checkbox"/>
92. ¿Ha notado cambios en los lagos desde que los vi por primera vez hasta su última visita?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/> (c) NS <input type="checkbox"/>
93. Si sí, explique de qué tipo	
94. ¿Ha notado cambios en los ríos y manantiales cercanos?	(a) SI <input type="checkbox"/> (b) NO <input type="checkbox"/> (c) NS <input type="checkbox"/>
95. Si sí, explique de qué tipo	



SUBPROGRA- MA	COMPON ENTE	OBJETIVOS	METAS Y RESULTADOS ESPERADOS	ACTIVIDADES Y ACCIONES	PLAZO
				<p><i>Impulsar un programa de reconversión productiva</i></p> <p>Promover la reconversión de los usos agrícolas y ganaderos a proyectos agroforestales y agropastoriles, en coordinación con las autoridades competentes.</p>	M
<b>Restauración</b>	Conservación de Agua y Suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducir la degradación del suelo y agua mediante la formulación de un programa de conservación y restauración de suelos con un enfoque de cuenca.</li> <li>Desarrollar las actividades necesarias para atender los principales problemas de erosión del Área de Protección de Flora y Fauna a fin de evitar la pérdida de suelos y el azolvamiento de cuerpos de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contar en el corto plazo con un diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra cada una de las microcuencas que se forman en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.</li> <li>Realizar al menos dos obras de conservación de suelo y agua iniciando en las cabeceras de las cuencas.</li> <li>Iniciar con la recuperación de suelos en áreas con suelos degradados o sin cubierta vegetal a través de la aplicación de técnicas de manejo y restauración de suelos a corto plazo.</li> </ul>	<p><i>Elaborar un programa de evaluación del estado de conservación de las cuencas del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.</i></p> <p>Establecer convenios con universidades, centros de investigación y Organizaciones de la Sociedad Civil para llevar a cabo investigaciones que generen la información para la mejor toma de decisiones para la restauración del área natural protegida.</p> <p>Elaborar un diagnóstico por microcuenca para la identificación de áreas impactadas por la deforestación y erosión, y sus formas de uso.</p> <p><i>Promover el manejo y uso sustentable del bosque, suelo y agua para garantizar la continuidad de los procesos ecológicos.</i></p> <p>Promover la elaboración de un programa de protección del suelo y agua con fines de conservación y restauración de áreas erosionadas con las autoridades competentes.</p> <p>Coordinar con la CONAFOR, CONAGUA, PROBOSQUE acciones de restauración de suelos en cuencas que han sido severamente impactadas iniciando en las cabeceras y aplicando diferentes técnicas.</p> <p>Gestionar la realización de estudios en los bosques fragmentados por la agricultura y/o ganadería para la implementación de sistemas agroforestales, teniendo como fin último la reconversión.</p>	M
					M
					C
					C
					L

SUBPROGRA- MA	COMPON ENTE	OBJETIVOS	METAS Y RESULTADOS ESPERADOS	ACTIVIDADES Y ACCIONES	PLAZO
				Promover la regularización de las concesiones para el aprovechamiento del agua en el Área Natural Protegida.	C
				Promover la realización de monitoreo periódicos para monitorear la calidad del agua en las principales corrientes del Área Natural Protegida.	C
				Determinar con la autoridad competente para mejorar la calidad del agua en sitios que se detecten como problemáticos.	P
				Realizar obras de control de la erosión laminar a través de la construcción de presas de rama, piedra acomodada.	P
				Realizar obras de corrección de cárcavas	P
<b>Restauración</b>	Mantenimiento y Rehabilitación de Vegetación acuática y Subacuática y Sistemas fluviales	Mantener la integridad de las áreas con vegetación acuática y subacuática y sistemas fluviales en su dinámica natural, a través de su conservación o recuperación para continuar con el funcionamiento de los procesos ecológicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contar con un diagnóstico para identificar los ríos con una intensa actividad erosiva y alertar sobre la necesidad de atenderlos, a mediano plazo.</li> <li>• Contar con un programa de rehabilitación vinculado con el diagnóstico y los trabajos de investigación científica para determinar las técnicas más apropiadas para la protección-recuperación de la vegetación acuática y subacuática.</li> </ul>	<i>Realizar un diagnóstico del estado de conservación de la vegetación acuática y subacuática</i>	
				Gestionar la realización de trabajos de investigación encaminados a evaluar el estado de conservación de los cauces y riberas de los ríos y sus procesos erosivos y otros daños como la deforestación de la vegetación acuática y subacuática.	C
				Elaborar una base de datos cartográfica para monitorear las áreas prioritarias para la conservación.	M

SUBPROGRA- MA	COMPON ENTE	OBJETIVOS	METAS Y RESULTADOS ESPERADOS	ACTIVIDADES Y ACCIONES	PLAZO
				Impulsar programas de limpieza en los arroyos que son utilizados como depósito de basura y constante vigilancia para evitar la disposición de aguas residuales a los ríos y arroyos.	C
				Desarrollar y aplicar un programa para la protección y en su caso restauración de la vegetación acuática y subacuática.	M
				Elaborar un programa anual de recuperación de la vegetación acuática y subacuática con trabajos de limpieza de cauces en coordinación entre instituciones gubernamentales y dueños y poseedores.	P

4. Actividades permitidas y restringidas por comunidad según la subzonificación en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

**Tabla 17.** Resumen del Programa de manejo del APFFNT. Zonificación de actividades.

COMUNIDAD	SUBZONA	ACTIVIDADES PERMITIDAS	ACTIVIDADES NO PERMITIDAS
<b>Agua Blanca</b>	Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales: Áreas Forestales	<p>En esta subzona se incluyen las superficies dentro de la Zona de Amortiguamiento del APFFNT que presentan bosques densos y semidensos de pino y oyamel en pendientes menores a 40%, condición que permite que puedan ser aprovechados, siempre que se efectúe bajo esquemas de aprovechamiento sustentable.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apertura de brechas de saca</li> <li>2. Colecta científica de ejemplares de la vida silvestre.</li> <li>3. Colecta científica de recursos biológicos forestales.</li> <li>4. Conservación del bosque para el mantenimiento de servicios ambientales, protección, restauración de recursos naturales.</li> <li>5. Construcción de infraestructura para manejo de vida silvestre, investigación científica y operación del área natural protegida.</li> <li>6. Encender fogatas</li> <li>7. Establecimiento de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre con fines de restauración, protección, mantenimiento, recuperación, reproducción, investigación, rescate, resguardo, rehabilitación, recreación, educación ambiental y aprovechamiento extractivo mediante colecta y captura.</li> <li>8. Filmaciones, actividades de fotografía o captura de imágenes o sonidos por cualquier medio.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrir o explotar bancos de material y extraer materiales para construcción, como arena, grava, tepojal, entre otros.</li> <li>2. Acosar, molestar o dañar de cualquier forma a las especies silvestres.</li> <li>3. Alterar o destruir los sitios de alimentación, anidación, refugio o reproducción de la vida silvestre.</li> <li>4. Apertura de nuevas brechas o caminos, salvo brechas de saca.</li> <li>5. Aprovechamiento extractivo de especies silvestres mediante caza</li> <li>6. Arrojar, verter, descargar o depositar desechos orgánicos, residuos sólidos, o líquidos u otro tipo de sustancias contaminantes como insecticidas, fungicidas y pesticidas, entre otros, en el suelo, subsuelo y cualquier clase de cauce, vaso, acuífero y manantial o desarrollar cualquier tipo de actividad que pueda contaminar.</li> <li>7. Cambiar el uso de suelo, incluyendo ampliar la frontera agropecuaria mediante la remoción permanente de vegetación natural.</li> <li>8. Construir confinamientos de residuos, así como de materiales y sustancias peligrosas.</li> </ol>

COMUNIDAD	SUBZONA	ACTIVIDADES PERMITIDAS	ACTIVIDADES NO PERMITIDAS
		<ul style="list-style-type: none"> <li>9. Investigación científica y monitoreo ambiental.</li> <li>10. Manejo forestal</li> <li>11. Mantenimiento de brechas y caminos, siempre y cuando no se amplíen ni pavimenten.</li> <li>12. Mantenimiento de la infraestructura existente</li> <li>13. Obras de conservación de suelos y captación de agua que no modifiquen el paisaje original.</li> <li>14. Turismo de bajo impacto ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>9. Construir infraestructura pública o privada, salvo aquella de apoyo a actividades de manejo de la vida silvestre, investigación científica y operación del Área Natural Protegida.</li> <li>10. Construir sitios para la disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.</li> <li>11. Establecer asentamientos humanos, así como áreas habitadas o urbanizadas que, partiendo de un núcleo central, presenten continuidad física en todas direcciones en las cuales se presenten asentamientos humanos concentrados, que incluyan la administración pública, el comercio organizado y la industria, y que cuenten con infraestructura, equipamiento y servicios urbanos tales como energía eléctrica, drenaje y red de agua potable.</li> <li>12. Ganadería, incluyendo el pastoreo.</li> <li>13. Introducir ejemplares o poblaciones exóticas de la vida silvestre.</li> <li>14. Realizar obras y/o actividades que pongan en riesgo la estructura dinámica natural de los ecosistemas o de las especies silvestres que habiten el área, particularmente aquellas que se encuentren en alguna categoría de riesgo.</li> <li>15. Rellenar, desecar o modificar los cauces naturales de los ríos y arroyos, corrientes y manantiales, entre otros.</li> <li>16. Usar altavoces, radios o cualquier aparato de sonido que altere el comportamiento de las poblaciones o ejemplares de las especies silvestres o que impida el disfrute del APFFNT por los visitantes.</li> </ul>

COMUNIDAD	SUBZONA		ACTIVIDADES PERMITIDAS	ACTIVIDADES NO PERMITIDAS
<b>Baldío</b>	Aprovechamiento	Se incluyen las	1. Actividades agroforestales, silvopastoriles y agrosilvopastoriles	1. Abrir o explotar bancos de material y extraer materiales para construcción, como arena, grava, tepojal, entre otros.
<b>Amarillo</b>	Sustentable de	superficies dentro de	2. Agricultura orgánica sin ampliar la frontera agrícola.	2. Acosar, molestar o dañar de cualquier forma a las especies silvestres.
<b>San Juan</b>	Ecosistemas	la Zona de	3. Aprovechamiento forestal no maderable.	3. Agricultura, salvo la orgánica.
<b>Tepehuizco</b>	Áreas	Amortiguamiento	4. Colecta científica de ejemplares de la vida silvestre	4. Alterar o destruir los sitios de alimentación, anidación, refugio o reproducción de la vida silvestre.
	Agropecuarias A	que presentan	5. Colecta científica de recursos biológicos forestales	5. Ampliar la frontera agropecuaria mediante la remoción permanente de vegetación natural.
		actualmente usos	6. Construcción de infraestructura de apoyo a las actividades agropecuarias.	6. Apertura de nuevas brechas o caminos.
		agrícolas y pecuarios	7. Educación ambiental	7. Arrojar, verter descargar o depositar desechos orgánicos, residuos sólidos o líquidos, u otro tipo de sustancias contaminantes como insecticidas, fungicidas y pesticidas, entre otros, en el suelo, subsuelo y cualquier clase de cauce, vaso, acuífero y manantial, o desarrollar cualquier tipo de actividad que pueda contaminar.
			8. Encender fogatas	8. Construir confinamientos de residuos, así como de materiales y sustancias peligrosas.
			9. Establecimiento de plantaciones forestales comerciales con especies nativas del área natural protegida.	9. Construir infraestructura pública o privada, salvo la necesaria para el desarrollo sustentable de las actividades agropecuarias.
			10. Establecimiento de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA).	10. Construir sitios para la disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
			11. Fotografía o captura de imágenes o sonidos por cualquier medio.	11. Establecer asentamientos humanos, así como áreas habitadas o urbanizadas que, partiendo de un núcleo central, presenten continuidad física en todas direcciones, en las cuales se presenten asentamientos humanos concentrados, que
			12. Ganadería sustentable, estabulada y semiestabulada.	
			13. Investigación científica y monitoreo ambiental.	
			14. Manejo forestal, exclusivamente acciones y procedimientos que tienen por objeto la protección, la conservación, la restauración y servicios ambientales de un ecosistema forestal.	

COMUNIDAD	SUBZONA	ACTIVIDADES PERMITIDAS	ACTIVIDADES NO PERMITIDAS
		15. Mantenimiento de brechas y caminos, siempre y cuando no se pavimenten ni se modifiquen sus condiciones actuales. 16. Mantenimiento de la infraestructura existente. 17. Obras de conservación de suelos que no modifiquen el paisaje original. 18. Reconversión de uso agropecuario a forestal 19. Restauración de ecosistemas y reintroducción de especies nativas. 20. Turismo de bajo impacto ambiental.	incluyan la administración pública, el comercio organizado y la industria, y que cuenten con infraestructura, equipamiento y servicios urbanos tales como energía eléctrica, drenaje y red de agua potable. 12. Ganadería extensiva 13. Introducir ejemplares o poblaciones exóticas de la vida silvestre. 14. Manejo forestal, salvo las acciones y procedimientos que tienen por objeto la protección, la conservación, la restauración y servicios ambientales de un ecosistema forestal. 15. Realizar obras y/o actividades que pongan en riesgo la estructura y dinámica natural de los ecosistemas o de las poblaciones de especies silvestres que habiten el área, particularmente aquellas que se encuentren en alguna categoría de riesgo. 16. Rellenar, desecar o modificar los cauces naturales de los ríos, arroyos, corrientes y manantiales, entre otros. 17. Usar altavoces, radios o cualquier aparato de sonido que altere el comportamiento de las poblaciones o ejemplares de las especies silvestres o que impida el disfrute del APFFNT
<b>Dilatada Sur</b>	Aprovechamiento Sustentable de los Ecosistemas Áreas Agropecuarias B	Se incluyen las superficies dentro de la Zona de Amortiguamiento del APFFNT que presentan actualmente usos	1. Actividades agroforestales, silvopastoriles y agrosilvopastoriles 2. Agricultura orgánica sin ampliar la frontera agrícola. 3. Aprovechamiento forestal no maderable. 4. Colecta científica de ejemplares de la vida silvestre
			1. Abrir o explotar bancos de material y extraer materiales para construcción, como arena, grava, tepojal, entre otros. 2. Acosar, molestar o dañar de cualquier forma a las especies silvestres. 3. Agricultura, salvo la orgánica.

COMUNIDAD	SUBZONA	ACTIVIDADES PERMITIDAS	ACTIVIDADES NO PERMITIDAS
	agrícolas y pecuarios, donde existen casas habitación aisladas.	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Colecta científica de recursos biológicos forestales</li> <li>6. Construcción de infraestructura de apoyo a las actividades agropecuarias y destinada a usos de casa habitación por los habitantes de las localidades rurales asentadas en el APFFNT previo a la expedición del Decreto de 2013.</li> <li>7. Educación ambiental</li> <li>8. Encender fogatas</li> <li>9. Establecimiento de plantaciones forestales comerciales con especies nativas del área natural protegida.</li> <li>10. Establecimiento de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA).</li> <li>11. Fotografía o captura de imágenes o sonidos por cualquier medio.</li> <li>12. Ganadería sustentable, estabulada y semiestabulada.</li> <li>13. Investigación científica y monitoreo ambiental.</li> <li>14. Manejo forestal, exclusivamente acciones y procedimientos que tienen por objeto la protección, la conservación, la restauración y servicios ambientales de un ecosistema forestal.</li> <li>15. Mantenimiento de brechas y caminos, siempre y cuando no se pavimenten ni se modifiquen sus condiciones actuales.</li> <li>16. Mantenimiento de la infraestructura existente.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Alterar o destruir los sitios de alimentación, anidación, refugio o reproducción de la vida silvestre.</li> <li>5. Ampliar la frontera agropecuaria mediante la remoción permanente de vegetación natural.</li> <li>6. Apertura de nuevas brechas o caminos.</li> <li>7. Arrojar, verter descargar o depositar desechos orgánicos, residuos sólidos o líquidos, u otro tipo de sustancias contaminantes como insecticidas, fungicidas y pesticidas, entre otros, en el suelo, subsuelo y cualquier clase de cauce, vaso, acuífero y manantial, o desarrollar cualquier tipo de actividad que pueda contaminar.</li> <li>8. Construir confinamientos de residuos, así como de materiales y sustancias peligrosas.</li> <li>9. Construir infraestructura pública o privada, salvo la necesaria para el desarrollo sustentable de las actividades agropecuarias y destinadas a uso de casa habitación por los habitantes de las localidades rurales asentadas en el APFFNT previo a la expedición del decreto de 2013.</li> <li>10. Construir sitios para la disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.</li> <li>11. Establecer asentamientos humanos, así como áreas habitadas o urbanizadas que, partiendo de un núcleo central, presenten continuidad física en todas direcciones, en las cuales se presenten asentamientos humanos concentrados, que incluyan la administración pública, el comercio organizado y la industria, y que cuenten con infraestructura, equipamiento y servicios urbanos tales como energía eléctrica, drenaje y red de agua potable.</li> <li>12. Ganadería extensiva</li> </ol>

COMUNIDAD	SUBZONA		ACTIVIDADES PERMITIDAS	ACTIVIDADES NO PERMITIDAS
			17. Obras de conservación de suelos que no modifiquen el paisaje original. 18. Reconversión de uso agropecuario a forestal 19. Restauración de ecosistemas y reintroducción de especies nativas. 20. Turismo de bajo impacto ambiental.	13. Introducir ejemplares o poblaciones exóticas de la vida silvestre. 14. Manejo forestal, salvo las acciones y procedimientos que tienen por objeto la protección, la conservación, la restauración y servicios ambientales de un ecosistema forestal. 15. Realizar obras y/o actividades que pongan en riesgo la estructura y dinámica natural de los ecosistemas o de las poblaciones de especies silvestres que habiten el área, particularmente aquellas que se encuentren en alguna categoría de riesgo. 16. Rellenar, desecar o modificar los cauces naturales de los ríos, arroyos, corrientes y manantiales, entre otros. 17. Usar altavoces, radios o cualquier aparato de sonido que altere el comportamiento de las poblaciones o ejemplares de las especies silvestres o que impida el disfrute del APFFNT
<b>Las Raíces</b>	Asentamientos Humanos	En esta subzona se incluyen las superficies dentro de la zona de amortiguamiento del APFFNT donde se ha llevado a cabo una modificación sustancial o desaparición de los ecosistemas originales, debido al desarrollo de	1. Agricultura orgánica y ganadería de traspatio 2. Agroforestería 3. Colecta científica de ejemplares de la vida silvestre 4. Colecta científica de recursos biológicos forestales 5. Construcción de infraestructura 6. Educación ambiental 7. Fotografía o captura de imágenes o sonidos por cualquier medio. 8. Investigación científica y monitoreo ambiental.	1. Abrir o explotar bancos de material y extraer materiales para construcción, como arena, grava, tepojal, entre otros. 2. Acosar, molestar o dañar de cualquier forma a las especies silvestres. 3. Alterar o destruir los sitios de alimentación, anidación, refugio o reproducción de vida silvestre. 4. Ampliar la frontera agropecuaria mediante la remoción permanente de vegetación natural. 5. Arrojar, verter, descargar o depositar desechos orgánicos, residuos sólidos o líquidos u otro tipo de sustancias contaminantes como insecticidas, fungicidas y pesticidas, entre otros, en el suelo, subsuelo y cualquier clase de cauce, vaso, acuífero

COMUNIDAD	SUBZONA	ACTIVIDADES PERMITIDAS	ACTIVIDADES NO PERMITIDAS
	asentamientos humanos.	9. Mantenimiento de brechas y caminos existentes. 10. Turismo	y manantial, o desarrollar cualquier tipo de actividad que pueda contaminar. 6. Construir confinamientos de residuos, así como de materiales y sustancias peligrosas. 7. Construir sitios para la disposición final de residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial. 8. Establecer áreas habitadas o urbanizadas que, partiendo de un núcleo central, presenten continuidad física en todas las direcciones, en las cuales se presenten asentamientos humanos concentrados, que incluyan la administración pública, el comercio organizado y la industria, y que cuenten con infraestructura, equipamiento y servicios urbanos tales como energía eléctrica, drenaje y red de agua potable. 9. Introducir ejemplares o poblaciones exóticas de la vida silvestre. 10. Realizar obras y/o actividades que pongan en riesgo la estructura y dinámica natural de los ecosistemas o de las poblaciones de especies silvestres que habiten el área, particularmente aquellas que se encuentren en alguna categoría de riesgo. 11. Rellenar, desecar o modificar los cauces naturales de los ríos, arroyos, corrientes y manantiales, entre otros. 12. Usar altavoces, radios o cualquier comportamiento de las poblaciones o ejemplares de las especies silvestres o que impida el disfrute del APFFNT por los visitantes.