UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

MODELACIÓN DE LA COBERTURA FORESTAL DEL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA NEVADO DE TOLUCA (1970-2060), UNA PROPUESTA DE CONSERVACIÓN SUSTENTABLE

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

MAEG. PARIX LUNEX LUNA PALACIOS

DIRECTOR DE TESIS

DR. SALVADOR ADAME MARTÍNEZ

CODIRECTORES

DR. JESÚS GASTÓN GUTIÉRREZ CEDILLO

DR. NOEL BONFILIO PINEDA JAIMES

TOLUCA, MÉXICO JUNIO DE 2025.

ÍNDICE

RESUMEN ---------- vii
INTRODUCCIÓN ---------- 1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ---------- 3
JUSTIFICACIÓN ---------- 5
OBJETIVOS E HIPÓTESIS ---------- 7

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO ---------- 8
1.1 Desarrollo Sustentable ---------- 10
1.1.1 Concepto ---------- 10
1.1.2 El Desarrollo Sustentable en México ---------- 11
1.1.3 El Desarrollo Sustentable Forestal en México ---------- 16
1.2 Cobertura vegetal en México ---------- 17
1.2.1 Tipos de vegetación en el Estado de México ---------- 24
1.2.2 Cobertura Arbórea ---------- 26
1.3 Áreas Naturales Protegidas ---------- 29
1.3.1 Definición de las ANP ---------- 29
1.3.2 Clasificación de las ANP ---------- 31
1.3.2.1 Áreas Federales ---------- 31
1.3.2.2 Áreas Estatales o Municipales ---------- 32
1.3.2.3 Locales (comunitarias o privadas) ---------- 32
1.3.2.4 Clasificación de las zonas dentro de un ANP ---------- 33
1.4 Geomática ---------- 34
1.4.1 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ---------- 34
1.4.2 Teledetección ---------- 36
1.4.2.1 Beneficios de la teledetección ---------- 36
1.4.2.2 Ventajas de la observación espacial ---------- 36
1.4.2.3 Limitantes de la teledetección ---------- 37
1.4.3 Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) ---------- 38
1.4.3.1 Definición de GPS ---------- 38
1.4.3.1.1 Segmento espacial ---------- 39
1.4.3.1.2 Segmento de control ---------- 40
1.4.3.1.3 Segmento de usuarios ---------- 41
1.5 Matrices de transición ---------- 41
1.5.1 Tasas de cambio de cobertura/uso de suelo ---------- 42
1.5.2 Índices de cambio ---------- 43
1.6 Modelos Estadísticos de probabilidad ---------- 44
1.6.1 Clasificación de los modelos ---------- 46
1.6.2 Clasificación de los métodos según la temporalidad ---------- 47
1.6.3 Modelos analógicos y modelos digitales ---------- 47
1.6.4 Modelos de predicción ---------- 47
1.6.5 Los autómatas celulares ---------- 48
1.6.5.1 Clasificación de los autómatas celulares ---------- 49
1.6.6 Cadenas de Márkov ---------- 50
1.6.7 Análisis multicriterio ---------- 51
1.7 Estudios a de cobertura forestal y uso de suelo a nivel internacional, nacional y estatal ---------- 53
1.7.1 Estudios a nivel internacional ---------- 54
1.7.2 Estudios a nivel nacional ---------- 65
1.7.3 Estudios a nivel estatal ---------- 70

1.8 Marco Jurídico ---------- 79
1.8.1 Acuerdos Internacionales ---------- 79
1.8.2 Marco jurídico Federal ---------- 80
1.8.3 Marco jurídico Estatal ---------- 83

CAPÍTULO 2. CONTEXTO GEOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO ---------- 87
2.1 Localización geográfica ---------- 87
2.2 Caracterización biofísica ---------- 89
3.2.1 Orografía ---------- 90
3.2.3 Climas ---------- 91
3.2.4 Geología ---------- 93
3.2.5 Hidrología ---------- 94
3.2.6 Edafología ---------- 96
2.3. Vegetación ---------- 98
2.4. Caracterización social ---------- 105

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA ---------- 109
3.1 Recopilación de información ---------- 110
3.2 Procesamiento de los datos ---------- 110
3.3 Análisis de los cambios de uso de suelo y vegetación ---------- 113
3.4 Visualización de resultados ---------- 117

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ---------- 119
4.1 Estandarización de datos analógicos y digitales ---------- 120
4.2 Análisis de los cambios de las coberturas de vegetación y uso de suelo ------ 122
4.2.1 Comparación de coberturas y usos ---------- 123
4.2.2 Tasas de cambio ---------- 126
4.2.3 Análisis por medio de matrices de cambio ---------- 127
4.2.4 Análisis gráficos de los cambios ---------- 132
4.2.3 Análisis por medio de la matriz de comportamiento ---------- 143
4.3 Modelación de escenarios para el año 2030, 2045 y 2060 ---------- 152
4.4 Propuesta de conservación ---------- 168
4.4.1 Propuesta para revertir el proceso de pérdida forestal del Suelo en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca---------- 169
4.5 Visualización de resultados web como herramienta para la toma de decisiones ---------- 173
4.6 Discusión teórico-empírica ---------- 177

CONCLUSIONES ---------- 183
RECOMENDACIONES ---------- 185
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ---------- 186
ANEXOS ---------- 198

ÍNDICE DE TABLAS

No.	Tabla	Pág.
1.	Tipos de vegetación clasificación de Miranda	25
2.	Matriz de transición	44
3.	Matriz de Saaty	52
4.	Resumen de los autores internacionales consultados	64
5.	Resumen de los autores Nacionales consultados	69
6.	Resumen de los autores Estatales consultados	78
7.	Superficie del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) por municipio	88
8.	Localidades dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nevada de Toluca y su población de 2000-2020	106
9.	Localidades urbanas parcialmente integradas en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca y su población de 2000-2020	107
10.	Cantidad de cobertura de uso de suelo del periodo 1970-1995 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca	124
11.	Cantidad de cobertura de uso de suelo del periodo 2000-2021 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca	124
12.	Cantidad de cobertura de uso de suelo del periodo 1970-1995 en la zona de influencia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca	125
13.	Cantidad de cobertura de uso de suelo del periodo 2000-2021 en la zona de influencia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca	125
14.	Tasa de cambio de las coberturas del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca	126
15.	Tasa de cambio de las coberturas en la zona de influencia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca	127
16.	Ejemplo de una de las Matrices de pérdidas y ganancias de cobertura del periodo 1970 – 2021 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca	129
17.	Ejemplo de una de las Matrices de intercambio, cambio total y cambio neto de coberturas del periodo 1970–2021 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca	130
18.	Ejemplo de una de las matrices de pérdidas y ganancias de cobertura del periodo 1970–2021 en la zona de influencia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca	131
19.	Ejemplo de una de las Matrices de intercambio, cambio total y cambio neto de coberturas del período 1970–2021 en la zona de influencia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca	131
20.	Intercambios y persistencias de las coberturas del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020	151
21.	Transiciones de ganancia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020	154
22.	Transiciones de pérdida del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020	155
23.	Cantidad de transiciones de cambio dentro y fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020	158
24.	Cantidad de cobertura de uso de suelo en el Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2060	166
25.	Cantidad de cobertura de uso de suelo fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2060	167

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Figura	Pág.
1.	Comportamiento del PIB y de los Costos Totales por Agotamiento y Degradación Ambiental……	14
2.	Gastos en protección ambiental del sector público como proporción del PIB en México……	15
3.	Comportamiento de los autómatas celulares……..	48
4.	Localización del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)……..	87
5.	Mapa de curvas de nivel del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. …….	91
6.	Mapa de climas de nivel del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. ……...	92
7.	Mapa de escurrimientos superficiales del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)……	95
8.	Mapa de Edafología del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)…….	97
9.	Mapa de vegetación y uso de suelo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)……	99
10.	Localidades dentro y fuera del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca ……...	107
11.	Esquema Metodológico……	109
11.	Años estudiados y sus procesos correspondientes ……	112
13.	Visualizador web……	118
14.	Mapa de los límites manejados en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)……	119
15.	Puntos de muestreo utilizados para la clasificación de imágenes y fotointerpretación ……..	120
16.	Resultados de los 11 tiempos generados del APFFNT……..	121
17.	Ejemplo de uno de los mapas finales de los 11 tiempos generados……	122
18.	Series de cartografía generadas del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, con y sin zona de influencia……	123
19.	Gráficas de comportamiento de la agricultura dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 – 2021……	133
20.	Gráficas de comportamiento del Bosque de coníferas de pino y táscate dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 – 2021……...	134
21.	Gráficas de comportamiento del Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 -2021……	136
22.	Comparativo de imágenes del crecimiento de coníferas por reforestación en el Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……	137
23.	Gráficas de comportamiento del pastizal dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 – 2021……	138
24.	Gráficas de comportamiento de los asentamientos humanos dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 – 2021……	139
25.	Gráficas de comportamiento de cobertura de mina de arena dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 – 2021……	140
26.	Gráfica de comportamiento del pastizal alpino en el Área de Protección flora y fauna de Toluca en el periodo de 1970 – 2021……	141
27.	Gráfica de comportamiento de los cuerpos de agua fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 – 2021……..	142
28.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de agricultura entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……	143
29.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de pino y táscate entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……	144
30.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de oyamel, Ayarín y cedro entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……	145
31.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de pastizal entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……	145
32.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de asentamientos humanos entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……	146
33.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de minas de arena entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……	146
34.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de agricultura entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca…..……	147
35.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de pino y táscate entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……..	148

No.	Figura	Pág.
36.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……	149
37.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de pastizal entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……	150
38.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de asentamientos humanos entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca….	150
39.	Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de minas de arena entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca……..	151
40.	Resultados automáticos del submódulo denominado Análisis de Cambios del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020 ……	155
41.	Persistencias de coberturas dentro y fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020……	156
42.	Zonas con cambio de coberturas dentro y fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020…….	157
43.	Mapa de transiciones potenciales dentro y fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020……	159
44.	Matrices de Márkov de los periodos del 2030, 2045 y 2060 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca …….	160
45.	Mapas de las modelaciones, para los años 2030, 2045 y 2060 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca ……	161
46.	Mapa de vegetación y uso de suelo 2030 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) ……..	163
47.	Mapa de vegetación y uso de suelo 2045 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) ……..	164
48.	Mapa de vegetación y uso de suelo 2060 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) ……	165
49.	Página web del proyecto www.visualizadorforestal.com.....	173
50.	Página web pantalla de inicio…….	174
51.	Página web pantalla de Esquema de trabajo, apartado de Metodología……	174
52.	Página web pantalla de Características físico-geográficas del APFFNT, apartado de Relieve...	175
53.	Página web pantalla de Resultados, apartado de Cambio de vegetación y uso de suelo……	175
54.	Visualizador de mapas web……	176
55.	Capas que maneja el visualizador de mapas…….	176
56.	Página web pantalla de Descargas……	177

RESUMEN

En las últimas décadas, México ha enfrentado una severa pérdida de ecosistemas forestales, producto de diversos factores entre los que destacan el crecimiento demográfico, el aumento de las actividades humanas no reguladas y la planificación territorial inadecuada. Este fenómeno se ha traducido en una progresiva reducción de la masa forestal, poniendo en riesgo la biodiversidad, la estabilidad ecológica y la calidad de vida de las comunidades que dependen de estos recursos. En este contexto, los esfuerzos de conservación toman un papel crucial, especialmente dentro de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), cuyo objetivo es preservar la integridad ecológica de zonas estratégicas mediante un manejo sostenible.

Uno de los casos más representativos es el del Nevado de Toluca, también conocido como volcán Xinantecátl, ubicado en el Estado de México. Esta región, que fue declarada Parque Nacional en 1936 y más tarde reclasificada como Área de Protección de Flora y Fauna en 2013, ha sido objeto de una serie de modificaciones en el uso de suelo que amenazan su integridad ecológica. A pesar de su estatus como ANP, la cobertura forestal ha tenido un comportamiento al descenso del bosque de coníferas en las últimas décadas, entre 2001 y 2013 se registró la pérdida de al menos 115 hectáreas de cobertura forestal, y entre 2014 y 2019 se sumaron 104 hectáreas adicionales, reflejando una aceleración en el proceso, en parte debido al crecimiento urbano, la expansión agrícola, actividades extractivas y la fragmentación del mismo ecosistema.

Este estudio tiene como objetivo principal analizar los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) desde 1970 hasta 2021, así como generar proyecciones espaciales para los años 2030, 2045 y 2060. La investigación se realizó a través de un enfoque cuantitativo y espacial, empleando imágenes satelitales, cartografía temática e información georreferenciada. La metodología se estructuró en cuatro etapas: recopilación de imágenes e información cartográfica; tratamiento y clasificación de imágenes mediante técnicas de fotointerpretación y clasificación supervisada; análisis de cambios de cobertura con matrices de transición siguiendo el método de Pontius et al. (2004); y proyección de escenarios futuros usando el software TerrSet, basado en modelos de autómatas celulares y cadenas de Márkov.

En total, se analizaron 55 periodos de estudio entre 1970 y 2021, lo que permitió detectar tendencias, identificar patrones de cambio y reconocer zonas críticas dentro y fuera del área protegida. Asimismo, se desarrollaron tres escenarios de cambio para las próximas décadas, con base en la dinámica histórica registrada. Este enfoque permitió observar no solo las pérdidas y ganancias de cobertura forestal, sino también las persistencias, es decir, las áreas que han mantenido su condición a lo largo del tiempo.

Los resultados muestran que, a pesar de la pérdida en los últimos años, tomando en cuenta el periodo de 1970 al 2021, la tendencia general en el bosque de coníferas es a la ganancia progresiva. Además, se identificó un crecimiento constante de los asentamientos humanos dentro del área protegida, con una expansión aproximada de 150 hectáreas. Una de las situaciones más alarmantes es la presencia de una mina activa dentro del APFFNT, que abarca una superficie de 24.8 hectáreas, lo que contradice el objetivo de conservación del área.

La aplicación del modelo predictivo permitió proyectar posibles escenarios futuros de transformación del paisaje, los cuales revelan una tendencia al crecimiento urbano y la reducción paulatina de algunas zonas forestales y se pueden agravar si no se implementan medidas de conservación efectivas. Las simulaciones para 2030, 2045 y 2060 muestran áreas con alta probabilidad de cambio, que podrían verse afectadas por la expansión de actividades humanas.

Estas proyecciones son clave para el diseño de estrategias preventivas, planes de restauración y políticas públicas orientadas a la sostenibilidad ecológica.

Además, como parte de este trabajo, se desarrolló un visualizador web interactivo, que permite acceder a los mapas generados, visualizar los cambios de cobertura en distintas fechas, y consultar los resultados de los escenarios proyectados. Esta herramienta busca facilitar el acceso a la información para investigadores, tomadores de decisiones y actores sociales interesados en la conservación del Nevado de Toluca.

En síntesis, este estudio proporciona una visión integral sobre la dinámica espacial y temporal de la cobertura forestal en el APFFNT, evidenciando la necesidad de reforzar las acciones de conservación y ordenamiento territorial. La metodología utilizada permite no solo describir la evolución del paisaje, sino también anticipar futuros cambios y diseñar estrategias adaptadas a las particularidades del territorio. Asimismo, este enfoque puede replicarse en otras Áreas Naturales Protegidas que enfrentan presiones similares, convirtiéndose en una herramienta útil para la planeación ambiental y la gestión sustentable de los recursos forestales.

Palabras clave: cambios de uso de suelo, transformación multitemporal, matrices de transición, Área Natural Protegida (ANP), modelos predictivos.

ABSTRACT

In recent decades, Mexico has experienced a significant loss of forest ecosystems due to a range of factors, including population growth, unregulated human activities, and inadequate land-use planning. These pressures have led to a progressive reduction in forest cover, threatening biodiversity, ecological stability, and the well-being of communities that rely on these resources. Within this context, conservation efforts are particularly critical in Natural Protected Areas (NPAs), which aim to preserve the ecological integrity of strategic regions through sustainable management practices.

One of the most emblematic cases is Nevado de Toluca, also known as Xinantecátl volcano, located in the State of Mexico. Originally designated as a National Park in 1936 and later reclassified as a Flora and Fauna Protection Area in 2013, this region has undergone notable land-use changes that jeopardize its ecological integrity. Despite its NPA status, coniferous forest cover has steadily declined. Between 2001 and 2013, at least 115 hectares of forest were lost, followed by an additional 104 hectares between 2014 and 2019, indicating an accelerated degradation trend linked to urban expansion, agricultural development, extractive activities, and habitat fragmentation.

This study aims to analyze land use and land cover (LULC) changes in the Nevado de Toluca Flora and Fauna Protection Area (APFFNT) from 1970 to 2021 and to generate spatial projections for the years 2030, 2045, and 2060. A quantitative and spatial approach was employed, utilizing satellite imagery, thematic cartography, and georeferenced data. The methodology followed four main stages: (1) acquisition of imagery and cartographic data; (2) image processing and classification through supervised classification and visual photointerpretation; (3) change analysis using transition matrices based on the Pontius et al. (2004) method; and (4) future scenario modeling with the TerrSet software, incorporating cellular automata and Markov chain models.

A total of 55 time points were analyzed between 1970 and 2021, enabling the identification of long-term trends, change patterns, and critical areas both within and outside the protected area. Based on the historical dynamics, three future scenarios were developed to assess potential transformations. This approach not only quantified forest cover gains and losses but also highlighted areas of persistence—land parcels that have maintained their ecological status over time.

Results indicate that, although recent years have seen notable losses, the overall trend in coniferous forest cover from 1970 to 2021 suggests a gradual increase. Nonetheless, there has been a consistent expansion of human settlements within the protected area, with an estimated 150 hectares affected. Of particular concern is the presence of an active mining site within the APFFNT, occupying approximately 24.8 hectares—an apparent contradiction of the area's conservation objectives.

The predictive modeling approach enabled the simulation of potential future landscape transformations, revealing likely urban expansion and continued forest loss in some regions. Without the implementation of effective conservation measures, these changes may intensify. The scenarios for 2030, 2045, and 2060 highlight zones with a high probability of change driven by increasing human activity. These projections are essential for informing preventative strategies, ecological restoration plans, and public policies aimed at achieving long-term sustainability.

Additionally, this study developed an interactive web-based visualization tool that provides access to generated maps, facilitates the examination of LULC changes across different time periods, and presents projected scenario results. This platform aims to support access to information for researchers, policymakers, and community stakeholders engaged in the conservation of the Nevado de Toluca region.

In summary, this research offers a comprehensive analysis of the spatial and temporal dynamics of forest cover within the APFFNT, underlining the urgent need to strengthen conservation efforts and improve land-use governance. The applied methodology not only documents landscape evolution but also provides the means to anticipate future changes and design strategies tailored to the region's specific conditions. Moreover, this framework can be replicated in other NPs facing similar pressures, serving as a valuable tool for environmental planning and the sustainable management of forest resources.

Keywords: land use change, multitemporal transformation, transition matrices, Natural Protected Area (NPA), predictive models.

INTRODUCCIÓN

Conocer y comprender la problemática ambiental actual es fundamental para el diseño e implementación de estrategias eficaces de conservación, especialmente en lo que respecta a los recursos forestales. Estos ecosistemas, vitales para el equilibrio ecológico y el bienestar humano, han sufrido una degradación progresiva en las últimas décadas, derivada en gran medida del uso inadecuado del suelo y de una gestión deficiente de las zonas destinadas a la conservación. La presión antrópica sobre los ecosistemas forestales mediante el crecimiento urbano, la agricultura extensiva, la minería y otras actividades, han generado una disminución en la cobertura vegetal, afectando tanto la biodiversidad como los servicios ecosistémicos que estos territorios proporcionan. La deforestación es un ejemplo de afectación al medioambiente, que impacta a la flora y fauna, contribuye al cambio climático, el calentamiento global, a la erosión de los suelos, entre otros.

El impacto de la deforestación progresiva en los bosques es un proceso complejo de identificar mediante las técnicas tradicionales de medición muestral en el campo (Shun et al., 2021). La estimación de la cobertura arbórea es fundamental para una gestión eficaz de los ecosistemas, especialmente en lo que respecta a la conservación y el manejo sostenible de los recursos forestales. En este contexto, un inventario detallado de la cobertura forestal resulta esencial no solo para evaluar el estado de los bosques, sino también para la planificación de acciones orientadas a la mitigación del cambio climático (Xiao et al., 2021). Además, contar con datos precisos sobre la cobertura arbórea permite desarrollar políticas públicas informadas, identificar áreas de alto valor ecológico y promover prácticas de manejo forestal que contribuyan a la restauración de ecosistemas degradados y a la preservación de la biodiversidad.

Por otro lado, México se encuentra dentro del grupo selecto de naciones poseedoras de la mayor cantidad de animales y plantas. A nivel mundial, México ocupa el cuarto lugar dentro de los 12 países catalogados como megadiversos (CONABIO, 2016). Por lo que conocer los recursos forestales y su biodiversidad, se ha vuelto una política global de conservación, lo que a la vez está en concordancia con el Objetivo 15 del Desarrollo Sostenible (ODS), en específico el 15.2 que habla sobre “Promover la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, poner fin a la deforestación, recuperar los bosques degradados e incrementar la forestación y la reforestación a nivel mundial" (ONU, 2021).

Los recursos forestales que existen actualmente enfrentan serios problemas en su conservación debido a la creciente presión de la dinámica antrópica, la cual se ha vuelto cada vez más invasiva y destructiva. Ante esta realidad, muchos países han optado por la creación de áreas de conservación, mejor conocidas como Áreas Naturales Protegidas (ANP), que se han consolidado como el principal instrumento para promover la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de sus funciones ambientales. Las ANP suelen albergar una alta biodiversidad, lo que las convierte en territorios clave para la preservación de los ecosistemas. Es fundamental recordar que los bosques no solo son vitales para la conservación del medio ambiente, sino que también constituyen una fuente crucial de sustento para millones de personas, al mismo tiempo que desempeñan un papel esencial en la economía nacional y el desarrollo de muchos países (Michael et al., 2015).

Por otro lado, el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT), ubicada en el Estado de México, forma parte de estas zonas de conservación. Originalmente creada como Parque Nacional en 1936, esta sufrió una modificación en su categoría en 2014, transformándose en un Área de Protección de Flora y Fauna debido a la significativa pérdida de biodiversidad y a los problemas derivados de un manejo inadecuado de sus recursos naturales. Este cambio de

categoría resalta la necesidad urgente de analizar la dinámica temporal de los recursos forestales en la zona, con el fin de comprender el estado actual de los mismos y establecer medidas adecuadas de manejo.

Para evaluar estos cambios, se aplicó la metodología de cambio de uso del suelo propuesta por Pontius et al. (2004), la cual compara la cobertura del terreno en dos momentos específicos: uno inicial y otro final. Este enfoque permite cuantificar las transformaciones ocurridas durante un periodo determinado, proporcionando información valiosa sobre la dinámica del uso del suelo. En este estudio se analizaron periodos quinquenales desde 1970 hasta 2021, generando un total de 55 intervalos. Esto permitió identificar los años en los que se registraron cambios significativos en el uso del suelo. Los resultados evidenciaron, principalmente, pérdidas de cobertura vegetal, aunque en algunos casos también se observó un aumento en las zonas arbóreas. Esta información resultó fundamental para la proyección de escenarios futuros, al tomar como base las tendencias identificadas en los periodos anteriores y así explorar posibles comportamientos futuros de los recursos forestales. La generación de estos escenarios muestra una visión de las estrategias y políticas a seguir para mitigar o prevenir la pérdida de cobertura forestal, para así crear planes de conservación acorde a su problemática del área.

La modelización de la cobertura forestal en el APFFNT tiene como objetivo establecer una propuesta integral para la conservación sostenible de sus recursos naturales, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y con el Programa Nacional Estratégico de los Sistemas Socioecológicos (PRONACES). Sin embargo, la eficacia depende en gran medida de una planeación territorial basada en diagnósticos precisos, que permitan identificar los cambios en el uso de suelo, cuantificar las pérdidas y diseñar intervenciones adaptadas a la dinámica de cada región.

Por otro lado, la divulgación de resultados constituye un elemento clave tanto para el conocimiento público como para la evaluación e implementación de estrategias de conservación adaptadas a las particularidades de cada zona de estudio. En este sentido, se desarrolló un visualizador web interactivo que permite la consulta, difusión e interpretación de los resultados obtenidos en la investigación sobre el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT). Esta herramienta facilita el acceso a información geoespacial y analítica relevante, contribuyendo así a la toma de decisiones informadas en la gestión y planificación de acciones orientadas a la conservación de este territorio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Conocer y analizar los cambios de la cobertura forestal, así como sus diferentes factores y dinámicas que lo integran, es fundamental para la conservación del ambiente, así como la subsistencia de las especies faunísticas y florísticas de cualquier zona, por lo que evaluar y diagnosticar el estatus de conservación de cualquier área, se está volviendo una necesidad en cuestión del estatus real de salud de un nicho ecológico.

En la actualidad la mayoría de los países se preocupan por la conservación de áreas forestales, ya que son de vital importancia para la existencia humana, volviéndose una política global de conservación expresada en la agenda del desarrollo sostenible, la cual pide a cada país que realice sus acciones de conservación, datos de "Global Forest Watch de WRI" indica que en el 2023 se han perdido 3.7 millones de hectáreas de cobertura forestal en el mundo.

En la República Mexicana, el fenómeno de la deforestación alcanzó una cifra alarmante en el año 2020, con la pérdida de aproximadamente 100,000 hectáreas de bosques, según datos proporcionados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Esta significativa pérdida de cobertura forestal refleja no solo la creciente presión sobre los ecosistemas naturales del país, sino también las consecuencias de diversas actividades humanas, como la tala ilegal, la expansión agrícola y la urbanización. Greenpeace menciona que México ocupa uno de los primeros lugares en tasas de deforestación en el mundo. De acuerdo con el informe "Estimación de la tasa de deforestación bruta en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo" de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), para 2018 se estimaba una tasa anual de deforestación de 166 mil 337 hectáreas, esto representa más del doble que 17 años atrás, cuando se estimaba una tasa total de 79 mil 677 hectáreas deforestadas. El año de mayor deforestación en México fue 2016 con una tasa de 350 mil 298 hectáreas deforestadas (Soto, 2021). La deforestación en México continúa siendo un desafío ambiental de gran magnitud, que afecta la biodiversidad, el ciclo del agua y la mitigación del cambio climático, lo que subraya la urgencia de implementar políticas de conservación más efectivas y sostenibles.

El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) no ha sido ajena a los desafíos de la conservación. Anteriormente clasificada como Parque Nacional, esta zona sufrió un cambio de categoría en 2014, debido principalmente a la pérdida de cobertura forestal y a diversas presiones antrópicas, como el crecimiento urbano. Esta recategorización, de parque nacional a área de protección, obedeció a la necesidad de adoptar un enfoque de manejo más flexible frente a los problemas ambientales que enfrenta la región.

Uno de los cambios más significativos en el APFFNT ha sido precisamente este ajuste en su estatus de protección, el cual refleja el impacto creciente de la urbanización sobre el ecosistema. Entre las consecuencias más evidentes se encuentra la disminución de zonas de conservación, lo que afecta directamente a las especies vegetales y contribuye a la pérdida de diversidad biológica.

En la última década, además de la presión constante de la expansión urbana, el APFFNT ha enfrentado otras amenazas que han deteriorado su ecosistema y reducido su biodiversidad. Entre estas destacan la tala ilegal, la proliferación de plagas (como el muérdago) y los incendios forestales. Algunos de estos factores, aunque no son muy visibles, tienen efectos significativos sobre la cobertura forestal. Por ejemplo, según datos de la CONAFOR, el muérdago ha afectado aproximadamente 10,000 hectáreas, con riesgo de continuar expandiéndose.

Por otra parte, los incendios han incrementado la vulnerabilidad del ecosistema forestal, siendo su principal causa la intervención antrópica. En particular, algunos ganaderos recurren a la quema de pastizales con fines de renovación forrajera, una práctica que acelera la pérdida de cobertura vegetal, la cual reseca el suelo, intensifica los procesos de erosión y reduce significativamente la capacidad de regeneración natural del bosque. Estas alteraciones generan un entorno favorable para la proliferación de plagas, las cuales impactan negativamente la biodiversidad al favorecer el desplazamiento de especies nativas por especies secundarias más resistentes a estos cambios.

En cuanto a la deforestación, entre 2001 y 2013 el Xinantecátl perdió al menos 115 hectáreas de cobertura forestal. Sin embargo, entre 2014 y 2019, este proceso se intensificó, con una pérdida de 104 hectáreas en menos de cinco años, lo que representa un incremento notable, según datos del Atlas de Justicia Ambiental. Mientras que los incendios forestales afectan en promedio, alrededor de 2,000 hectáreas anuales, de acuerdo con cifras de PROBOSQUE.

Analizar los cambios del bosque, proporciona una visión más amplia de cómo se han generado estas transformaciones a través de los años y permite identificar las áreas con mayores dinámicas de cambio y así saber qué zonas necesitan mayor atención para su conservación. Por lo que evaluar la calidad del área dará una visión real de la condición de la zona de estudio y conocer si realmente las políticas de conservación se están llevando a cabo o no son adecuadas para la zona.

Este diagnóstico integral de evaluación tendrá como base el análisis de los cambios ocurridos en el periodo 1970 al 2021 mediante las tecnologías SIG, para saber cuáles son las áreas con mayor vegetación forestal primaria y las que han pasado a un estado secundario, así como sus transición entre coberturas de cambio de uso de suelo, para que finalmente se puedan entender las tendencias de comportamiento de pérdidas y ganancias del área, esto para poder modelar o simular un comportamiento de cambio para el año 2060 y así generar propuestas de conservación sostenibles para la zona.

JUSTIFICACIÓN

El análisis y monitoreo de los cambios en la cobertura forestal, así como la identificación de sus factores causales, se han vuelto tareas prioritarias en el contexto de la conservación ambiental. Estos procesos permiten evaluar el estado de salud de los ecosistemas, así como diseñar estrategias eficaces de manejo, restauración y protección. La pérdida acelerada de vegetación forestal no solo representa una amenaza directa para la biodiversidad, sino que compromete funciones ecológicas clave como la regulación hídrica, la captura de carbono, la fertilidad del suelo y la estabilidad climática, tanto a nivel regional como global.

La evaluación de la cobertura forestal constituye la forma de cuantificar los reservorios de carbono, los cuales pueden variar a través del tiempo debido a factores como el cambio de uso de suelo, la deforestación, la urbanización, plagas e incendios, que en ocasiones pueden afectar gran parte de estos recursos forestales. Por lo que cuantificar estos recursos se vuelve una prioridad para la comunidad académica, la cual tiene que brindar soluciones para la conservación de la biodiversidad, por medio de métodos científicos.

Por otra parte, la ubicación geográfica de la cobertura forestal es importante para la cuantificación de reservas de flora y fauna que tiene una zona, así como la utilización adecuada de estos recursos, de los cuales goza la sociedad y son necesarios para la sobrevivencia del ser humano, tanto en sus factores ambientales, sociales, culturales y económicos. Ambientalmente proporciona una reducción de las emisiones de dióxido de carbono y contribuye a disminuir el impacto ambiental causado por la utilización de combustibles fósiles que son utilizados en el proceso para generar energía. Por otra parte, la bioenergía constituye un factor clave en el desarrollo económico de las zonas rurales y mejora sus condiciones de vida, por lo que social y culturalmente se vuelve una forma de vida autosuficiente para la conservación de las coberturas forestales.

El cuidado de los bosques se vuelve aún mayor con los compromisos a nivel mundial de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ONU, 2021), en el cual en su objetivo 15 menciona “que los países deben disminuir la extracción de recursos naturales y reducir la pérdida de biodiversidad biológica”. Por lo que la conservación se ha vuelto una prioridad, ante la dinámica antrópica que poco a poco va absorbiendo coberturas vegetales indispensables para el desarrollo humano. Actualmente la elaboración de este tipo de proyectos es vital para el desarrollo de cualquier nación.

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son un primer alcance para la conservación de zonas estratégicas más importantes de flora y fauna que existen en el planeta, de aquí la importancia de saber si estas zonas realmente están proporcionando las funciones ambiéntales para las cuales fueron diseñadas. Las ANP se conceptualizan como los sitios dedicados para la conservar la biodiversidad, considerando que se encuentran enmarcados en un contexto social y cultural. (LGEEPA, 2018).

En este contexto, el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) representa un caso de recategorización. Esta zona, anteriormente clasificada como Parque Nacional, cambió de categoría en 2014 debido al notable deterioro de su cobertura forestal y a diversas presiones antrópicas, como el crecimiento urbano, la tala ilegal, los incendios forestales y la proliferación de plagas como el muérdago. Entre 2001 y 2019, el APFFNT registró una pérdida acumulada de al menos 219 hectáreas de bosque, con un promedio de 2,000 hectáreas afectadas anualmente por incendios, según datos de PROBOSQUE y del Atlas de Justicia Ambiental. Estos procesos no

solo disminuyen la calidad ambiental del área, sino que también reducen la resiliencia del ecosistema y su capacidad de regeneración natural.

Por otro lado, el conocer los aspectos en el cambio de coberturas en las ANP, dará una visión más completa sobre las alteraciones o mejoras que tiene un sitio. El localizar zonas específicas de perturbación dará pautas para proponer medidas para resguardar y mitigar problemas subsecuentes. Por lo que influir en la generación de acciones que influyan en la restauración de la riqueza forestal, traerá consecuencias positivas en una zona de protección. Aquí es donde la generación de propuestas es importante, ya que esta va aunada a las acciones pasadas y presentes que tiene un área, la cual se logra por medio del diagnóstico en tiempos determinados, para saber cómo sea modificado en sus diferentes ciclos y con esto poder inferir un comportamiento que tenga acciones que perjudiquen a las zonas de conservación.

Frente a esta problemática, el presente trabajo se justifica por la necesidad de realizar un diagnóstico integral del estado de conservación del APFFNT, a través del análisis espacial y temporal de los cambios en la cobertura forestal desde 1970 hasta 2021. Para ello, se utilizarán herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y modelos de simulación, que permitirán no solo evaluar las transformaciones pasadas, sino también proyectar escenarios futuros de cambio hasta el año 2060. Esta evaluación permitirá identificar las áreas más vulnerables, así como aquellas con mayor capacidad de recuperación, lo que resulta fundamental para el diseño de propuestas de conservación sostenibles y ajustadas a las condiciones específicas del territorio.

El entender el pasado y comprender nuestro presente, dará noción de lo que pueda pasar en un futuro. Al saber estas cuestiones se tendrán las herramientas para evaluar los cambios, así como las pérdidas y ganancias que se dan en cada una de las coberturas existentes en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, así como la visión de zonas que hay que darle más énfasis de conservación. De aquí la importancia de hacer estudios sobre la modelación y evaluación de la cobertura forestal, ya que estas nos permitirán generar un adecuado del uso y manejo de estas áreas.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

A continuación se presentan los objetivos e hipótesis del presente trabajo de investigación.

Objetivo general

Evaluar los cambios de la cobertura forestal del Área de Protección Nevado de Toluca para el periodo 1970-2021, mediante el análisis y elaboración de mapas de cobertura forestal, para generar un modelo de prospección al 2060, y con ello crear propuestas de conservación desde una perspectiva de sustentabilidad, acorde al Programa Nacional Estratégico de los Sistemas Socioecológicos (PRONACES).

Objetivos específicos

- Elaborar el Marco Teórico Conceptual relacionado con la modelación forestal y la sustentabilidad.
- Elaborar el Marco de Referencia o Revisión de Literatura a fin de conocer estudios relacionados el cambio cobertura y uso de suelo.
- Diseñar una metodología para la elaboración de los mapas de vegetación y uso de suelo a partir de fotografías aéreas, imágenes de satélite y servidores web.
- Procesar y analizar imágenes de satélite para confeccionar la cartografía de cobertura forestal del Área de Protección Nevado de Toluca del periodo de 1970 al 2021.
- Construir las matrices de cambio de la cobertura forestal y determinar la intensidad del cambio y analizar sus factores físicos y sociales que intervienen en este proceso.
- Generar un modelo de simulación de los cambios de cobertura forestal para los años 2030, 2045 y 2060.
- Proponer estrategias de conservación sustentable para el uso y manejo de los recursos forestales del Área de Protección Nevado de Toluca.
- Generar un visualizador web de consulta, análisis y toma de decisiones.

Hipótesis

El conocer la evolución de los cambios de la cobertura forestal en el Área de Protección Nevado de Toluca, por medio de los periodos estudiados dará una visión de cómo los factores endógenos y exógenos afectan a las pérdidas o ganancias de coberturas existentes de la zona y permitirá simular una aproximación de los cambios que ocurrirán para el año 2060, para así poder generar propuestas de conservación apropiadas a la zona.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

Los estudios para conservación de la cobertura forestal son amplios y abarcan diferentes cuestiones, en ocasiones solo se desarrollan en un tema específico, el presente capitulo trata de abordar las temáticas de mayor importancia, como lo es el desarrollo sustentable el cual busca satisfacer las necesidades básicas de extracción, con el fin de no comprometer la capacidad de las futuras generaciones, satisfaciendo las más próximas sin dejar de ver las generaciones futuras. Este enfoque promueve el equilibrio entre el crecimiento económico, la equidad social y la conservación del medio ambiente. En este contexto, el uso de suelo y vegetación son elementos clave para entender cómo las actividades humanas impactan al territorio y a los ecosistemas, ya que el manejo adecuado de estos recursos naturales es fundamental para garantizar la sustentabilidad a largo plazo.

Mientras que las áreas naturales protegidas (ANP) juegan un papel inicial en la conservación, a causa de que son el primer eslabón dentro de la conservación de manera oficial, ya que éstas tienen el fin de preservar la biodiversidad y los ecosistemas. También desempeñan un papel crucial en la conservación de los recursos naturales y en la regulación de la temperatura del planeta, ya que ayudan a preservar la flora, la fauna y los procesos ecológicos esenciales para el bienestar humano.

Contar con herramientas que ayuden a desarrollar los trabajos de conservación es importante. Actualmente la geomática, es una disciplina que utiliza herramientas tecnológicas que pueden ayudar a generar análisis más precisos en menor tiempo. Tal es el caso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales recolectan, analizan y gestionan datos geoespaciales de manera ordenada y concisa. Otro método empleado es la percepción remota, que permite clasificar imágenes satelitales mediante la agrupación de píxeles con valores o características similares. Estas agrupaciones forman imágenes en formato ráster, las cuales son utilizadas para estudios del medio ambiente. Estas tecnologías son esenciales para estudiar los cambios de coberturas y otros aspectos relacionados con la sostenibilidad, pues permiten monitorear y analizar cambios en el entorno de manera precisa y eficiente.

Los procedimientos mencionados con anterioridad generan la información de manera resumida, pero en la mayoría de las ocasiones se debe saber los datos de manera específica, los cuales sirven para generar análisis de forma más particular, con el fin de detectar tendencias. En este caso las matrices de transición son herramientas utilizadas en el análisis de cambios en el uso del suelo y vegetación a lo largo del tiempo. Estas representan las probabilidades de que un tipo de uso del suelo se transforme en otro, facilitando la predicción y el análisis de las dinámicas territoriales. Estas matrices, cuando se combinan con modelos de simulación, proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en la gestión territorial y la planeación del uso del suelo.

Por último, los modelos estadísticos son herramientas poderosas en el análisis de grandes volúmenes de datos espaciales y temporales. En el contexto del desarrollo sustentable, estos modelos se utilizan para entender y predecir fenómenos complejos como los cambios en el uso de suelo, la distribución de la vegetación o la dinámica de las áreas protegidas. Los modelos estadísticos ayudan a identificar patrones y tendencias, lo que facilita la formulación de políticas públicas y estrategias para la conservación y el manejo sostenible del territorio.

El presente capítulo tiene como finalidad establecer los fundamentos teóricos y conceptuales que sustentan esta investigación, abordando de manera integral los elementos clave para el análisis de la dinámica del uso del suelo y la cobertura forestal en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT). Para ello, se exploran diversos enfoques relacionados con el desarrollo sustentable, el uso y cambio del suelo, la vegetación, así como el papel fundamental que desempeñan las áreas naturales protegidas en la conservación ambiental.

En primer lugar, se revisa el concepto de desarrollo sustentable como eje transversal en las políticas ambientales contemporáneas, el cual busca equilibrar las dimensiones ecológica, económica y social. En este contexto, el uso del suelo y los cambios en la cobertura vegetal se analizan como indicadores críticos del grado de impacto humano sobre el territorio, y de la efectividad de las medidas de conservación implementadas.

Asimismo, se examina el papel de las áreas naturales protegidas (ANP), en particular en el contexto mexicano, como estrategias institucionales para la preservación de la biodiversidad y la regulación del uso del suelo en zonas de alto valor ecológico. En este sentido, se hace énfasis en la evolución del marco normativo que sustenta la creación y gestión de ANP, con especial atención al caso del Estado de México.

Posteriormente, se introduce la geomática como una herramienta tecnológica fundamental para el monitoreo ambiental, a través del uso de imágenes satelitales, cartografía temática y sistemas de información geográfica (SIG). A partir de estos insumos, se abordan las metodologías que permiten el análisis multitemporal de la cobertura forestal, destacando el uso de matrices de transición y modelos estadísticos de probabilidad, como las cadenas de Márkov y los autómatas celulares, aplicados en estudios de predicción espacial.

Finalmente, se presentan antecedentes relevantes sobre el estudio de la cobertura forestal a nivel internacional, nacional y estatal, lo cual permite contextualizar la problemática de deforestación en el Nevado de Toluca frente a otras regiones con condiciones ecológicas y presiones similares. Además, se incluye una revisión del marco jurídico ambiental vigente en el Estado de México, que regula el uso de suelo, la protección de recursos naturales y las competencias institucionales para la gestión de las ANP.

Este conjunto de elementos teóricos y técnicos proporciona la base necesaria para la interpretación de los resultados obtenidos en la presente investigación, y para la formulación de propuestas orientadas a la conservación sustentable del APFFNT.

1.1 Desarrollo Sustentable

Desde hace algunas décadas los efectos del proceso de industrialización y el crecimiento económico, han tenido repercusiones en el medio ambiente, lo que ha tenido efectos adversos en la naturaleza y el equilibrio ecológico, por la explotación de los recursos naturales de forma irracional. Como respuesta a esta problemática surgió el concepto de desarrollo sustentable, el cual fue definido en 1987 por la Comisión Sobre el Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas como el desarrollo capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (CMMAD, 1987).

El desarrollo sustentable en primera instancia incorpora los recursos naturales como un elemento fundamental del crecimiento económico y de la calidad de vida de las personas. Bajo estos principios del desarrollo sustentable debe sustituir el uso de los recursos no renovables por aquellos que sí los son, además, el uso de los recursos renovables debe hacerse sin exceder su tasa de regeneración (ONU, 2021). Actualmente la sustentabilidad compromete a todos los países a participar en dichos cambios, pues todos compartimos el mismo planeta y la contaminación que se genera en un lugar afecta al resto del geosistema.

Asimismo, las naciones deben gestionar mejor los recursos naturales que compartimos en las zonas fronterizas como los ríos o las regiones naturales, pues los límites políticos artificiales dificultan la administración de unidades ambientales compartidas. Además, los gobiernos deben asignar presupuesto a investigaciones que permitan comprender mejor el funcionamiento de la naturaleza, mitigar los daños, restaurar las regiones naturales afectadas y desarrollar tecnología más amigable con el medio ambiente. Igualmente, deben ofrecer educación ambiental para sensibilizar a la población sobre la degradación ambiental y sus efectos en la biodiversidad y en la calidad de vida de las personas (ONU, 2021).

1.1.1 Concepto

El concepto desarrollo sustentable es el resultado de una acción concertada de las naciones para impulsar un modelo de desarrollo económico mundial compatible con la conservación del medio ambiente y con la equidad social. Este consiste en la administración eficiente y responsable de los recursos naturales para preservar el equilibrio ecológico, a fin de garantizar la distribución equitativa de tales recursos en el presente y su disponibilidad para las generaciones futuras. La sustentabilidad se basa principalmente en estos tres ejes: el económico, el ecológico y el social (ONU, 2012).

El concepto desarrollo sustentable se refiere a la producción y distribución de bienes y riqueza de un lugar, contemplando el equilibrio ambiental para tener una mejor calidad de vida. Por lo que el objetivo del desarrollo sustentable es alcanzar cierto nivel de progreso material sin comprometer el medio ambiente, los recursos naturales y la calidad de vida de los seres humanos (ONU, 2012).

Los antecedentes del desarrollo sustentable se remontan a la década de 1950, cuando comenzaron a discutirse los efectos negativos de la sobreexplotación de los recursos naturales y la creciente contaminación ambiental, fenómenos intensificados tras la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, es hasta 1987 cuando la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD) de las Naciones Unidas, presidida por la Dra. Gro Harlem Brundtland, presenta el informe “Nuestro Futuro Común”, conocido también como “Informe Brundtland”, en el que se difunde y acuña la definición más conocida sobre el desarrollo sustentable: “ Es el desarrollo que

satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (CMMAD, 1987).

En 1987, la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) presentó el Informe Brundtland, llamado así por la presidenta de dicha comisión, Dra. Gro Harlem Brundtland. Según el informe, el desarrollo sustentable implica: "Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades" (CMMAD, 1987).

El concepto de desarrollo sustentable o sostenible se convirtió en el eje de las conferencias internacionales posteriores en materia de medio ambiente y desarrollo económico, tales como:

- Río de Janeiro, 1992: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, que dio como resultado la Declaración de Río.
- Nueva York, 1997: Cumbre de la Tierra +5.
- Johannesburgo, 2002: Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, conocida también como Río +10.
- Río de Janeiro, 2012: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, conocida como Río +20.
- Nueva York, 2015: Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, cuyo documento final fue Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Esta última conferencia Nueva York 2015 se fijó una agenda de diecisiete objetivos del desarrollo sostenible para el año 2030, el primero de los cuales es la erradicación de la pobreza. Incluye también el acceso a la salud, a la educación de calidad y al trabajo; la igualdad social y de género; la acción por el ambiente y la producción y consumo responsables, entre otros (ONU, 2021).

1.1.2 El Desarrollo Sustentable en México

Durante varias décadas, el desarrollo sustentable en México no contempló de forma adecuada los costos económicos, sociales y ambientales derivados del acelerado crecimiento demográfico. Las políticas públicas se enfocaron principalmente en el impulso económico, dejando de lado los efectos de la distribución desigual de la población y los impactos negativos asociados a este crecimiento. Esta distribución territorial desequilibrada, especialmente entre zonas urbanas y rurales, acentuó las tensiones sociales y económicas, mientras que las actividades productivas y la urbanización descontrolada provocaron un deterioro progresivo de la calidad del aire, del agua y de los suelos.

La falta de planeación ambiental y la ausencia de políticas eficaces para mitigar los efectos del deterioro ecológico derivaron en una serie de crisis ambientales, particularmente visibles en las grandes zonas metropolitanas. En estos espacios, la alta concentración poblacional, combinada con los procesos de industrialización, intensificó los problemas de contaminación y condujo al colapso de diversos ecosistemas locales (Hernández y Tolentino, 2021).

Paralelamente, la deforestación en zonas rurales desempeñó un papel central en la degradación de los suelos. La tala indiscriminada de bosques para usos agrícolas o de expansión urbana redujo significativamente la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, lo que favoreció procesos de erosión y desertificación. Esta pérdida de cobertura vegetal también impactó la biodiversidad, al fragmentar o eliminar hábitats naturales, lo que provocó el desplazamiento o

desaparición de múltiples especies. Como consecuencia, muchas comunidades rurales se volvieron más vulnerables a desastres naturales como inundaciones y sequías (Hernández y Tolentino, 2021).

Ante esta situación, en la década de 1970 comenzaron a establecerse las primeras instituciones gubernamentales destinadas a enfrentar los crecientes problemas ambientales. En 1971 se promulgó la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental; al año siguiente, en 1972, se creó la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, dentro de la Secretaría de Salud y Asistencia Pública, y en 1976 se fundó la Dirección General de Ecología Urbana en la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (Universidad Autónoma de Nuevo León, 2025). Estos esfuerzos sentaron las bases para una política ambiental incipiente en el país.

No obstante, el concepto de desarrollo sustentable comenzó a adquirir relevancia en México hasta finales de la década de 1980, impulsado tanto por el trabajo de la comunidad científica como por el compromiso del país con los acuerdos internacionales orientados a la protección ambiental. Este cambio marcó el inicio de una nueva etapa, caracterizada por la creación de instituciones específicas y la promulgación de leyes enfocadas en promover la sustentabilidad ambiental, tanto en el ámbito nacional como en el local (Universidad Autónoma de Nuevo León, 2025).

El primer antecedente en México se remonta a 1983, cuando se creó la Subsecretaría de Ecología dentro de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), lo que permitió asignar nuevas responsabilidades y reagrupar funciones relacionadas con el medio ambiente que estaban dispersas en diversas dependencias federales, fue en 1988 cuando el proceso global impulsado por el "Informe Brundtland" marcó un hito significativo en la transición hacia la sustentabilidad (SEMARNAT, 2001). Este informe, que destacó la necesidad de un desarrollo que equilibrara las necesidades económicas, sociales y ambientales, tuvo un fuerte eco en México, desencadenando una serie de cambios legislativos y de políticas ambientales. En ese contexto, México dio un paso crucial con la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual representó un esfuerzo sistemático por incorporar principios de sustentabilidad en las políticas públicas del país. Esta ley sentó las bases para la protección del medio ambiente, estableciendo marcos legales para la conservación de los recursos naturales y la gestión de los impactos ambientales generados por las actividades humanas, lo que reflejaba el compromiso de México con los principios globales de desarrollo sustentable impulsados por la comunidad internacional. (Universidad Autónoma de Nuevo León, 2025).

El desarrollo sustentable ha cobrado relevancia en México de manera significativa únicamente en las últimas décadas. Aunque la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos ya contemplaba una preocupación inicial por la gestión de los recursos naturales, el artículo 27 establecía la necesidad de regular su aprovechamiento “en beneficio social”, con el propósito de promover una distribución equitativa de la riqueza nacional y garantizar la conservación de dichos recursos. Asimismo, este artículo apuntaba a alcanzar un desarrollo equilibrado en todo el territorio nacional y a mejorar las condiciones de vida tanto de la población rural como urbana.

No obstante, pese a esta base constitucional, fue hasta 1988 cuando México dio un paso determinante hacia la institucionalización de la política ambiental, con la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Esta ley representó el primer esfuerzo integral y formal por establecer un marco jurídico específico para la protección ambiental, marcando el inicio de un proceso más estructurado hacia el desarrollo sustentable en el país (Universidad Autónoma de Nuevo León, 2025).

En 1992, el panorama institucional en México sufrió una transformación significativa con la reestructuración de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), que se convirtió en la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Este cambio tuvo como objetivo crear un marco institucional más articulado y coherente entre las políticas sociales y ambientales del país, reconociendo la necesidad de abordar los problemas ambientales dentro de un enfoque más integral que incluyera el bienestar social. En este proceso de reconfiguración institucional, la Subsecretaría de Ecología asumió nuevas funciones, separando sus responsabilidades en dos áreas clave: la normatividad y la inspección y verificación. Esta división dio origen a dos nuevas entidades: el Instituto Nacional de Ecología (INE), encargado de la investigación y la formulación de políticas ambientales, y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), cuya misión era velar por el cumplimiento de las normativas ambientales. De manera paralela, se creó la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), una institución clave en la conservación y el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad nacional. Estas reformas reflejaron un esfuerzo por fortalecer la institucionalidad ambiental del país y avanzar hacia un modelo de desarrollo más sustentable y coherente con los desafíos ecológicos emergentes (SEMARNAT, 2001).

A partir de 1994, México emprendió un importante avance en la institucionalización de la política ambiental con la creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Esta institución fue diseñada con el propósito de establecer y hacer cumplir las normativas medioambientales vigentes, con un enfoque integral que abarcaba la protección de los recursos naturales, promoviendo su uso consciente y responsable. Además, la SEMARNAP tenía como misión garantizar que estas acciones no comprometieran el desarrollo económico ni la calidad de vida de la población. Este paso representó un fortalecimiento significativo en la gestión gubernamental ambiental, pues permitió incorporar de manera formal la conservación ecológica y el uso sustentable de los recursos naturales como pilares fundamentales en las políticas públicas (SEMARNAT, 2001).

En el año 2000, la SEMARNAP experimentó una transformación importante, al convertirse en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). A partir de esta reestructuración, el ámbito de la pesca fue absorbido por el sector agropecuario, permitiendo a la SEMARNAT enfocarse más estrechamente en la gestión de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente. Desde entonces, México ha experimentado diversos ajustes y cambios en su ingeniería institucional dentro del sector gubernamental encargado de la gestión ambiental. Estos cambios han sido impulsados por la necesidad de responder con mayor eficacia y agilidad a los complejos desafíos medioambientales del país, buscando siempre el equilibrio entre desarrollo económico, bienestar social y sostenibilidad ecológica (SEMARNAT, 2001).

En 2001, México firmó el Convenio de Estocolmo, cuyo objetivo principal es proteger la salud humana y el medio ambiente de los contaminantes orgánicos persistentes (COP). Este acuerdo busca no solo mitigar los efectos negativos de los COP existentes, sino también promover el uso de mejores prácticas y tecnologías para reemplazarlos, a la vez que previene el desarrollo de nuevos COP. Para cumplir con estos compromisos, se plantea el fortalecimiento de las legislaciones nacionales y la implementación de planes nacionales de manejo forestal, los cuales se consideran esenciales para la ejecución efectiva de las políticas acordadas (SEMARNAT, 2024).

Sin embargo, fue hasta 2004 cuando estos compromisos adquirieron carácter obligatorio en los planes de manejo forestal, los cuales establecieron como herramienta clave la no utilización de agentes tóxicos, para así estandarizar las políticas de conservación. Como resultado de esta normativa, comenzaron a surgir instituciones estatales especializadas en la conservación y

manejo de los bosques, fortaleciendo el marco institucional para proteger los ecosistemas forestales y avanzar hacia un modelo de desarrollo más sustentable (SEMARNAT, 2024).

Aunque en México la degradación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales ha mostrado una tendencia creciente en la última década, afectando tanto al entorno natural como a la estabilidad económica del país. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), a través del Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México (SCEEM), los costos derivados de esta degradación, medidos en términos de agotamiento y deterioro de los recursos naturales, representaron en 2016 un 4.6% del Producto Interno Bruto (PIB). Este dato ilustra la magnitud de los efectos negativos de las actividades humanas sobre el medio ambiente, revelando un costo económico significativo debido a la pérdida de recursos y el deterioro de los ecosistemas que sustentan la vida y la economía del país (Universidad Autónoma de Nuevo León, 2025).

En 2019 la restructura de la SEMARNAT se hace presente dando énfasis en la conservación de zonas forestales, los cuales a la fecha no han tenido impacto claro en sus políticas de manejo y esto se observa más en la evaluación del Producto Interno Bruto Ecológico (PINE), que corresponde al valor monetario de la producción de bienes y servicios en un periodo determinado al descontar el consumo de capital físico y del capital natural; corrige las cuentas nacionales al incorporar los costos asociados por la degradación y el agotamiento de los recursos naturales.(SEMARNAT, 2021)

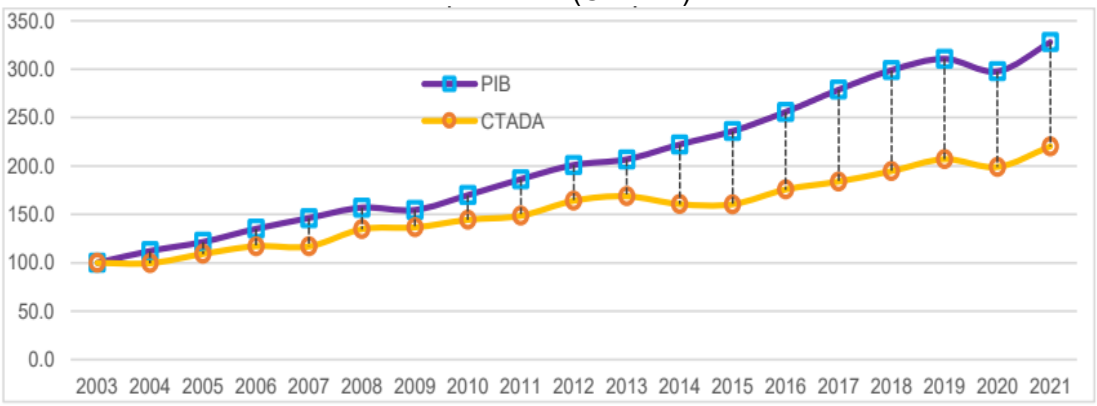
De 2003 a 2021, el PINE representó, en promedio, 78.5 % del Producto Interno Bruto (PIB) del país a precios de mercado. En 2007 se registró el mayor porcentaje, con 80.2 por ciento (INEGI, 2022). En 2020 se observó la menor participación, con 75.8 por ciento, el cual se calcula con la siguiente formula:

$$\text{PINE} = \text{PIN} - \text{CTAD}$$

Donde:
PIN = Producto Interno Neto,
CTADA = Costos totales por agotamiento y degradación ambiental.

Aunque observando el comportamiento de del PIB contra CTADA se observa un distanciamiento de inversión que a la vez parece ser mayor como se observa en la Figura 1.

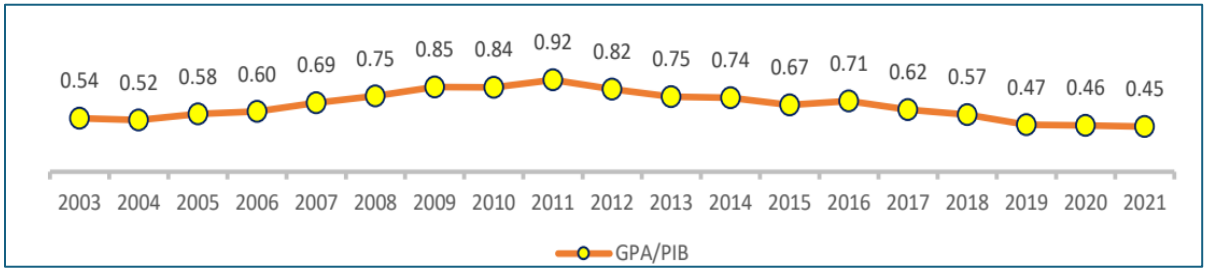
Figura 1. Comportamiento del PIB y de los Costos Totales por Agotamiento y Degradación Ambiental (CTADA)



Fuente: INEGI

Los costos por agotamiento consideran hidrocarburos, recursos forestales y agua subterránea; los derivados de la degradación ambiental incluyen al suelo y la contaminación atmosférica y del agua (INEGI, 2022).

Figura 2. Gastos en protección ambiental del sector público como proporción del PIB en México



Fuente: INEGI

En la Figura 2 se presenta el porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) destinado por el sector público a los gastos en protección ambiental, conforme a la Clasificación de Actividades Ambientales de las Naciones Unidas. Esta distribución incluye: protección del aire, ambiente y clima (37.2 %); gestión de aguas residuales (18.6 %); manejo de residuos (12.9 %); gestión pública y educación ambiental (9.9 %); investigación y desarrollo (9.2 %); otras actividades de protección ambiental (6.3 %); protección de la biodiversidad (4.5 %); y conservación del agua y del suelo (1.4 %) (INEGI, 2022).

Al sumar los porcentajes destinados específicamente a la biodiversidad y a la protección del agua y el suelo, se obtiene que solo el 12.2 % del gasto ambiental está vinculado directamente a la conservación de las coberturas vegetales. Esta cifra refleja una inversión limitada en un componente clave para el desarrollo sustentable, lo cual representa una barrera importante para la preservación efectiva de los ecosistemas forestales y de su función en la mitigación del cambio climático.

México, a pesar de contar con una notable riqueza natural y biodiversidad, enfrenta desafíos significativos para implementar de manera eficaz sus políticas de sustentabilidad. Si bien se han establecido marcos institucionales y normativos en favor del desarrollo sostenible, aún persiste la necesidad de consolidar un modelo de crecimiento económico que, además de ser competitivo, sea inclusivo, socialmente justo y ambientalmente responsable.

Para alcanzar este objetivo, es fundamental no solo aumentar la inversión en conservación ambiental, sino también asegurar una gestión eficiente y equitativa de los recursos naturales. Esto implica fomentar una cultura de uso racional, impulsar la participación ciudadana en la protección del entorno y garantizar la preservación del equilibrio ecológico. Solo así será posible construir un desarrollo sostenible a largo plazo que no comprometa el bienestar de las generaciones futuras.

Para que el desarrollo sustentable se convierta en una prioridad real y efectiva, México debe llevar a cabo una serie de cambios institucionales profundos en distintos niveles. Estos cambios no solo deben orientarse hacia la reestructuración de las políticas ambientales, sino que también deben involucrar a los diversos actores gubernamentales y sociales. En este sentido, es fundamental que las decisiones de política ambiental no se limiten a una sola secretaría o jurisdicción, sino que abarquen todos los sectores económicos y sociales, involucrando a los tres órdenes de gobierno: federal, estatal y municipal. Solo mediante una acción coordinada y una

gobernanza integrada será posible materializar las decisiones políticas de manera eficiente y alcanzar los objetivos de sostenibilidad propuestos.

1.1.3 Desarrollo Sustentable Forestal en México

En México el desarrollo sustentable es imperceptible por la población y aún más la conciencia del manejo de los recursos forestales que constituye una de las raíces más profundas de la problemática del manejo forestal que enfrenta el país. Mientras la sociedad continúe percibiendo los recursos forestales como un paisaje turístico, en lugar de reconocerlos como una fuente potencial de empleo, ingresos y bienestar humano, será muy difícil alcanzar un desarrollo forestal sustentable.

Para empezar el desarrollo forestal se define como una estrategia integral que busca promover el uso y manejo sostenible de los recursos forestales para generar beneficios tanto ambientales como económicos y sociales, garantizando la conservación y regeneración de los ecosistemas forestales (FAO, 2024). Este concepto no solo se centra en la explotación de los recursos naturales, sino en su manejo de manera responsable, que permita satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las de las futuras generaciones.

Por ello, la organización de los productores forestales, basada en criterios productivos y de aprovechamiento responsable y sustentable, se presenta como una de las prioridades más urgentes (CONAFOR, 2023). En este sentido, la formulación de una política de desarrollo forestal con visión prospectiva es esencial para promover la transformación del manejo forestal hacia un enfoque integral que abarque dimensiones filosóficas, socioeconómicas, políticas, culturales y ambientales. Este enfoque debe considerar, además, la participación de las comunidades y ejidos en los procesos de toma de decisiones, con el fin de consolidar un cambio de actitud profundo que impulse el desarrollo local con un enfoque de sustentabilidad. Este esfuerzo está alineado con el Plan Estratégico Forestal Nacional 2025, establecido por la Comisión Nacional Forestal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, cuyo propósito central es la consecución de un desarrollo forestal verdaderamente sustentable (CONAFOR, 2024).

El desarrollo forestal es un proceso integral que abarca varias dimensiones, estos principios se derivan de la ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, entre las que destacan:

- **Sostenibilidad ambiental**: Se enfoca en la conservación de ecosistemas forestales y la regeneración de los bosques para proteger la biodiversidad, suelos, agua y aire (CONAFOR, 2024).

- **Desarrollo económico**: Busca mejorar la calidad de vida de las comunidades a través del uso sostenible de los recursos forestales, como la producción de madera, productos no maderables y ecoturismo. (CONAFOR, 2024).

- **Beneficios sociales**: Promueve la inclusión de comunidades locales, ejidos y pueblos indígenas en la toma de decisiones, fomentando la equidad y el fortalecimiento de su capacidad para gestionar sus recursos. (CONAFOR, 2024).

- **Fortalecimiento institucional**: Implica el apoyo a políticas públicas y legislación que promuevan un manejo forestal sostenible y estrategias de conservación. (CONAFOR, 2024).

Este enfoque multidimensional requiere la participación de diversos actores, incluidos productores, comunidades, gobiernos y organizaciones. En México, los ejidos y comunidades forestales representan un importante componente en la cadena productiva en el sector forestal y a la vez constituyen un sistema sociocultural y ecológico clave para la realización de un desarrollo de base con una visión de sustentabilidad. Actualmente, entre 7,831 y 9,047 ejidos y comunidades son dueños de casi 80% de la superficie forestal de México; por lo que dos condiciones sociales caracterizan la situación de los bosques de México: la pobreza en que viven la gran mayoría de sus habitantes, y el carácter social de su tenencia. En la actualidad, sólo el 25% de las comunidades y ejidos con bosques en aprovechamiento llevan a cabo directamente aprovechamientos forestales, con una contribución a la producción industrial maderera nacional de solo el 17%. Las comunidades que integran el 75% restante explotan sus bosques (CONAFOR, 2024).

Lo anterior justifica que el papel del sector social es imprescindible para lograr en el futuro un desarrollo forestal sustentable. La experiencia actual aún en pocos ejidos y comunidades forestales exitosas subraya esa conclusión ya que manejan sus bosques para el beneficio local. Sin embargo, en general a pesar de que la tenencia del bosque es comunal, las comunidades y ejidos han sido enajenados de su recurso y no han logrado obtener los beneficios esperados con un enfoque de desarrollo sustentable. Por lo tanto, el desarrollo de la forestería comunitaria en México debe de avanzar en el futuro sobre una base sólida en donde los ejidos y comunidades forestales estén involucrados directamente en el proceso de toma de decisiones desde el diseño, implementación y evaluación de planes, programas y proyectos de desarrollo forestal con un enfoque holístico, ya que son ellos quienes viven con las consecuencias inmediatas de cualquier acción o decisión tomada en su ejido o comunidad (CONAFOR, 2024).

1.2 Cobertura vegetal en México

Los estudios sobre las coberturas vegetales de México tienen sus primeras raíces en la época de la llegada de Hernán Cortés, quien, en sus bitácoras, dejó constancia de las diversas especies de plantas que encontraba y ofreció una descripción general de la vegetación que halló en su travesía. No obstante, fue durante los siglos XVIII y XIX cuando comenzaron a surgir estudios más profundos y variados, con enfoques tanto botánicos como de conocimiento sobre las plantas, que permitieron una mejor comprensión de la inmensa riqueza natural del país. Entre estos estudios se destaca el trabajo del barón Alexander Von Humboldt, quien, en 1805, realizó un extenso recorrido por la República Mexicana, acompañado del botánico francés Amado Bonpland. Su expedición duró diez meses y se centró en las región central y occidental del país, donde hicieron importantes observaciones. Humboldt, además, desarrolló notables aportes sobre la clasificación de las coberturas vegetales en el continente americano, cuyas observaciones y conclusiones sirvieron como base para los estudios fitogeográficos (Sahagún, 1975).

Los primeros esfuerzos en la clasificación de las coberturas vegetales de México no comenzaron a desarrollarse de manera significativa sino hasta 1842, con el trabajo del botánico y explorador francés Eugène Galeotti. Su estudio se centró en analizar diversos aspectos del ambiente o hábitat en el que se distribuyen ciertos grupos de plantas, prestando especial atención a los helechos y orquídeas, y abarcando todo el territorio mexicano. (González, 2003) En este contexto, el trabajo de Galeotti puede considerarse uno de los primeros intentos formales de clasificar las regiones climáticas de México y de establecer la relación entre estas regiones y la topografía del país. Su enfoque pionero sentó las bases para posteriores investigaciones sobre cómo la geografía y el clima influyen en la distribución de las especies vegetales a lo largo y ancho del territorio mexicano.

Los estudios más completos sobre las coberturas vegetales en México comienzan a desarrollarse a partir de 1921, marcando un avance significativo en la comprensión de la vegetación del país. Estos estudios se basaron principalmente en la identificación de rasgos fisonómicos, es decir, en el análisis de las características visuales y estructurales de la vegetación. Entre los trabajos más destacados de esta etapa se encuentran los realizados por Sanders, Shelford, Smith y Johnston, cuyas investigaciones contribuyeron a la elaboración de los primeros mapas detallados de coberturas vegetales en México (González, 2003).

En particular, el trabajo de Johnston es notable por la clasificación que propone para la vegetación mexicana, dividiéndola en seis grandes categorías: bosque tropical y subtropical lluvioso, bosque tropical caducifolio, bosque espinoso, matorral desértico, chaparral californiano y zona montañosa. Sin embargo, aunque este trabajo fue pionero en su campo, su delimitación geográfica es relativamente aproximada. El mapa de clasificación que se elaboró abarca toda Latinoamérica y está dibujado a una escala pequeña, lo que hace que las fronteras entre las diferentes regiones vegetales sean difusas y menos precisas, dificultando su aplicación detallada a nivel local. A pesar de estas limitaciones, este esfuerzo representó un paso crucial hacia la sistematización del conocimiento sobre las coberturas vegetales del país y su variabilidad en función de factores climáticos y geográficos (González, 2003).

El trabajo de Leopold (1950) sobre las Zonas de Vegetación de México representa una propuesta formal y detallada para la clasificación de las comunidades vegetales del país. En su estudio, Leopold distingue 12 tipos de vegetación, proporcionando una descripción exhaustiva de cada uno de ellos y su distribución geográfica. A través de un mapa de vegetación a escala 1:20,000,000, el autor no solo ubica estas zonas en el territorio mexicano, sino que también ofrece una estimación precisa de la superficie que cada tipo de vegetación ocupa en el país. Este trabajo marcó un avance importante en la sistematización del conocimiento sobre las coberturas vegetales mexicanas, contribuyendo significativamente al desarrollo de estudios fitogeográficos más precisos.

Entre 1938 y 1968, se vivió un periodo de gran auge en los estudios sobre las coberturas vegetales en diversas regiones de México, un período que se caracteriza por una intensa actividad investigativa. Sin embargo, uno de los resultados más notables de este auge fue la proliferación excesiva de nombres y conceptos locales para describir las distintas formaciones vegetales. A menudo, estos términos eran difíciles de comparar entre sí, lo que generó una notable confusión en la comunidad científica y dificultó la estandarización del conocimiento sobre la vegetación del país. A pesar de esta proliferación de conceptos y la falta de consenso en muchos casos, estas investigaciones tuvieron un impacto muy positivo al generar un acopio sin precedentes de información sobre la vegetación mexicana, lo que permitió un conocimiento más detallado y preciso del entorno natural del país. Gracias a estos esfuerzos, se avanzó considerablemente en la comprensión de la diversidad ecológica de México y su relación con los distintos factores climáticos y geográficos.

Uno de los trabajos más influyentes y de mayor relevancia en la clasificación de las coberturas vegetales de México es la propuesta de Miranda y Hernández X (1963), cuya clasificación ha sido ampliamente utilizada en los estudios y levantamientos forestales del país. Este trabajo se publicó bajo el título de Apuntes de Geobotánica, y en él se incluye una sección dedicada específicamente a los tipos de vegetación que se encuentran en el territorio mexicano. El estudio fue ilustrado y difundido a través del boletín de la Sociedad Botánica de México, lo que permitió su acceso y difusión en la comunidad científica.

En este trabajo, los autores reconocen un total de 32 tipos de vegetación, proporcionando valiosa información sobre la distribución geográfica de cada uno de ellos. Sin embargo, aunque ofrece una detallada clasificación, carece de una cartografía precisa que permita visualizar las zonas de distribución de las coberturas vegetales con exactitud. Además, el estudio no profundiza en los principales factores ecológicos que influyen en la distribución de las diferentes formaciones vegetales ni en las relaciones que estas tienen con su entorno natural, lo que limita su aplicación para investigaciones más complejas.

A pesar de estas limitaciones, el trabajo de Miranda y Hernández X es muy valorado debido a su excelente nivel de ilustración, que facilita enormemente la identificación de los ejemplares vegetales. Estas ilustraciones, junto con las descripciones detalladas, son una herramienta invaluable para los investigadores y especialistas en botánica. Este trabajo se encuentra disponible en el Instituto de Geografía de la UNAM, donde sigue siendo una referencia clave en el estudio de la vegetación mexicana. La claridad y la accesibilidad de su contenido lo convierten en un recurso fundamental para estudios posteriores y una contribución importante a la geobotánica del país.

Gómez (1965) realizó una exhaustiva recopilación de los principales estudios sobre la vegetación en diversas regiones de la República Mexicana, con el objetivo de consolidar el conocimiento existente hasta ese momento. En su trabajo, adoptó el enfoque propuesto por Miranda y Hernández (1963), reconociendo y validando su clasificación de tipos de vegetación. Sin embargo, además de seguir este criterio, Gómez también aportó nuevas observaciones, señalando localidades previamente no identificadas para varios tipos de vegetación, basándose en sus propias exploraciones y estudios de campo. Esta contribución fue crucial para ampliar el panorama sobre la distribución vegetal del país, enriqueciendo las investigaciones previas con datos frescos y más detallados que ayudaron a mejorar la comprensión de las coberturas vegetales de México.

Por su parte, Flores et al. (1971) llevaron a cabo una revisión exhaustiva de la bibliografía existente sobre la vegetación de México, lo que les permitió analizar y consolidar el conocimiento disponible hasta esa fecha. En su trabajo, adoptaron un criterio claro y sistemático para la designación de los tipos de vegetación, con el fin de organizar y unificar la nomenclatura utilizada por diversos autores en ese período. Esta labor fue especialmente importante para seleccionar la terminología más adecuada y práctica, adaptada a las necesidades de la Dirección de Agrología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Al hacerlo, no solo ayudaron a estandarizar el lenguaje técnico, sino que también facilitaron el uso de esa terminología en estudios futuros, contribuyendo a la claridad y coherencia en la comunicación científica relacionada con la vegetación mexicana.

Posteriormente Rzedowski (1978), publicó su influyente obra “Vegetación de México”, en la que presentó una nueva clasificación de las coberturas vegetales del país, la cual difiere en varios aspectos de la propuesta por Miranda y Hernández (1963). En su clasificación, Rzedowski generaliza diez tipos de vegetación, los cuales son más fácilmente reconocibles y comprensibles, facilitando su identificación tanto para especialistas como para estudios de campo. Además de ofrecer una descripción detallada de cada uno de estos tipos vegetales, el trabajo incluye una sección especial sobre la vegetación litoral marina, la cual estuvo a cargo de la investigadora Laura Huerta M.

La clasificación de Rzedowski se basa principalmente en las comunidades clímax, entendidas como aquellas formaciones vegetales que se estabilizan bajo condiciones ambientales constantes. La propuesta de Rzedowski se centra en los factores del medio físico, principalmente

en la geología, que da origen a los tipos de suelos presentes en el país, y en el clima, que juega un papel fundamental en la variabilidad de la vegetación, pues influye en la adaptación de cada especie a las condiciones del entorno a lo largo del tiempo. Estos factores, combinados con los fenómenos naturales que afectan a cada región, explican la distribución y la evolución de los tipos de vegetación en México.

Otro de los aportes clave de este trabajo es el capítulo dedicado a la fitogeografía de México, que incluye un mapa de las provincias florísticas del país, un recurso visual que permite una mejor comprensión de las áreas geográficas en las que se encuentran concentradas las diferentes especies y formaciones vegetales. Este trabajo sigue siendo, hasta la fecha, el estudio más extenso e integrado sobre la vegetación de México, abarcando no solo la descripción de los tipos de vegetación, sino también una reflexión profunda sobre los factores ecológicos y geográficos que los determinan.

Los principales tipos de vegetación de Rzedowski presentes en México son: el bosque tropical perennifolio, el bosque tropical subcaducifolio, el bosque tropical caducifolio, el bosque espinoso, el bosque mesófilo de montaña, el bosque de coníferas, el bosque de Quercus, el matorral xerófilo, el pastizal, y la vegetación acuática y subacuática. Estos tipos de vegetación, clasificados de acuerdo con su adaptación a las condiciones climáticas, geológicas y ecológicas de cada región, proporcionan una visión integral de la biodiversidad vegetal del país, permitiendo una mejor comprensión de su complejidad ecológica. (Rzedowski, 1978)

En la Mesa Redonda sobre "Nomenclatura y caracterización de los tipos de vegetación en México", González Medrano en 1978 presentó un exhaustivo análisis crítico de las diversas clasificaciones de la vegetación del país. En su trabajo, destacó las inconsistencias y deficiencias presentes en la nomenclatura y la clasificación de las coberturas vegetales, señalando las dificultades y contradicciones que surgían de la aplicación de diferentes criterios y terminologías a lo largo de los estudios realizados hasta esa fecha. González Medrano no solo identificó las falencias en las clasificaciones previas, sino que también propuso un enfoque más riguroso y coherente para mejorar la sistematización de los tipos de vegetación en México, con el objetivo de evitar la confusión que a menudo generaba el uso de términos y conceptos locales que no siempre coincidían entre los distintos estudios. Su trabajo representó un paso importante hacia la estandarización de la terminología y la mejora en la precisión de las clasificaciones fitogeográficas del país (Gonzales, 2003)

Otro trabajo de gran relevancia en el estudio de las coberturas vegetales de México es el realizado por Balduzzi y Tomaseli en 1978-1979, en el cual llevaron a cabo una detallada descripción de los principales tipos de vegetación del país, basándose en sus observaciones personales y en un análisis exhaustivo de la bibliografía disponible sobre el tema. Estos autores representaron su clasificación en un mapa a una escala de 1:4,000,000, lo que permitió una visualización más clara y precisa de la distribución geográfica de las diferentes formaciones vegetales en el territorio mexicano. Este trabajo se distingue por su enfoque integral, ya que no solo revisaron los estudios más relevantes realizados sobre la vegetación de México desde finales del siglo XIX hasta 1978-1979, sino que también desarrollaron una clasificación más detallada y refinada. En su estudio, diferenciaron un total de 21 tipos principales de vegetación, los cuales subdividieron en 10 subtipos, tomando en cuenta sus características fisonómicas y estructurales, así como los factores bioclimáticos que influencian su distribución. Este enfoque permitió una clasificación más precisa y contextualizada, que no solo refleja la estructura de la vegetación, sino también las condiciones ambientales que sustentan su desarrollo.

Además, Balduzzi y Tomaseli incluyeron en su trabajo una lista de las principales especies que conforman cada tipo de vegetación, proporcionando información valiosa para la identificación de las especies clave dentro de cada formación vegetal. También señalaron la distribución geográfica de estas especies, lo que contribuyó significativamente al conocimiento de las regiones en las que se encuentran concentradas las diferentes formaciones vegetales.

Palacio Prieto, Bocco y González Medrano et al., en el 2000 publicaron una importante nota técnica en el Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM, que abordaba las investigaciones geográficas relacionadas con la condición actual de los recursos forestales en México. Este trabajo constituyó un análisis detallado de las formaciones vegetales del país, proporcionando datos precisos sobre la superficie que ocupan, los porcentajes que representan en el territorio nacional, así como una descripción de la distribución de los diferentes tipos de vegetación y usos del suelo. La información presentada en este estudio fue parte del Inventario Nacional Forestal 2000-2001, que permitió obtener una visión más clara y precisa del estado de los recursos naturales de México en ese momento.

Uno de los principales logros del trabajo fue la elaboración de 121 mapas detallados sobre la cobertura vegetal y el uso del suelo, elaborados a una escala de 1:250,000. Estos mapas fueron acompañados de 121 espaciomapas, que proporcionaban representaciones visuales y espaciales adicionales, facilitando la comprensión de la distribución y extensión de las coberturas vegetales en el país. Todos estos mapas, tanto en formato digital como impreso, fueron fundamentales para el análisis geográfico y la toma de decisiones en cuanto a la gestión y conservación de los recursos forestales. Además, se incluyeron datos cruciales sobre las superficies forestales y otras cubiertas, lo que permitió obtener un panorama más completo sobre el estado de los ecosistemas forestales y sus cambios a lo largo del tiempo. Este trabajo se convirtió en una herramienta clave para el monitoreo y la planificación de políticas ambientales y forestales en México.

En el año 2001, González Medrano y Trejo Vázquez presentaron un importante trabajo en el simposio titulado "Nomenclatura de los tipos de vegetación de México", en el que abordaron los principales problemas y perspectivas relacionados con la clasificación de la vegetación en México. Su investigación destacó las dificultades que aún existían en la unificación de criterios para clasificar y nombrar las diferentes formaciones vegetales del país, así como los retos asociados con la inconsistencia en el uso de la nomenclatura y la falta de una sistematización clara que facilitara la comparación entre estudios previos. Además, señalaron que una de las principales barreras para avanzar en la clasificación de la vegetación de México era la necesidad de adoptar un enfoque más integral que tuviera en cuenta no solo las características fisonómicas de las plantas, sino también los factores climáticos y ecológicos que influyen en su distribución (Gonzales, 2003).

En 2002, González Medrano presentó una propuesta más formal y detallada en su trabajo titulado "Una propuesta para la unificación (estandarización) de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México". En este estudio, realizó un análisis exhaustivo de la vegetación mexicana, considerando sus diversas unidades fitogeográficas y tomando en cuenta los rasgos ambientales y climáticos que caracterizan cada región del país. González Medrano identificó una serie de inconsistencias en los criterios utilizados hasta ese momento para diferenciar, clasificar y denominar las distintas unidades de vegetación, señalando que estas variaciones provocaban confusión y dificultaban la aplicación de una clasificación homogénea y universalmente aceptada (Gonzales, 2003).

Además, uno de los principales hallazgos de su investigación fue la dificultad para cartografiar con precisión las comunidades vegetales de México. Los problemas para representar de manera fiel la distribución de las coberturas vegetales en mapas cartográficos se debían, en gran parte, a la falta de un consenso en la nomenclatura y clasificación, así como a las complejidades inherentes a las variaciones regionales y a los fenómenos naturales que afectan la estructura de las comunidades vegetales. Esta propuesta de unificación fue un paso crucial hacia la estandarización de los métodos utilizados en los estudios fitogeográficos de México, buscando establecer una base sólida para investigaciones y una mejor gestión de los recursos naturales del país.

Con la aparición de tecnologías avanzadas como las imágenes satelitales digitales, a partir de la última parte del siglo XX, se abrió una nueva era en los estudios sobre las coberturas vegetales, lo que permitió realizar investigaciones más específicas y detalladas. Esta transformación tecnológica fue aprovechada por diversos investigadores, como González et al. (2000) y Pineda et al. (2009), quienes utilizaron herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) para mapear y clasificar la vegetación del Estado de México con un nivel de precisión mucho mayor que en los estudios previos. Estas tecnologías permitieron obtener una visión más detallada de la distribución y el estado de las coberturas vegetales, facilitando la identificación de patrones espaciales y la evaluación de su evolución a lo largo del tiempo.

Más recientemente, investigadores como Nava et al. (2009), Pineda (2010) y Sanabria (2015) han continuado con estudios detallados sobre los cambios en los bosques y selvas del Estado de México. Estos trabajos han permitido identificar con mayor claridad las zonas de transición entre diferentes coberturas vegetales, proporcionando información crucial sobre cómo las dinámicas ecológicas y los factores ambientales están afectando la distribución y la composición de la vegetación en la región. Utilizando tanto datos satelitales como técnicas de campo, estos estudios han contribuido significativamente al entendimiento de las transformaciones que ocurren en los ecosistemas del Estado de México, especialmente en relación con la fragmentación de hábitats y la influencia de actividades humanas. Esta nueva ola de investigaciones sigue consolidando el uso de tecnologías avanzadas en la cartografía y monitoreo de la vegetación, mejorando nuestra capacidad para gestionar y conservar los recursos naturales de la región de manera más efectiva.

Olvera y Pagaza (2017) realizaron un libro que consta de seis capítulos que abordan desde diferentes enfoques la complejidad del área. El primer capítulo analiza la importancia de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y los servicios que ofrecen en los contextos internacional, nacional y estatal, además de revisar las estrategias de gestión empleadas en respuesta a las condiciones particulares del país. El segundo capítulo explora el contexto histórico, económico, político y social que dio origen al Parque Nacional en los años treinta, así como los esfuerzos de conservación que han acompañado su transformación a APFFNT en las últimas décadas. El tercer capítulo describe los componentes físicos y biológicos que conforman el área, mientras que el cuarto se enfoca en los aspectos sociales, incluyendo la dinámica demográfica, las actividades agropecuarias, el turismo y la tenencia de la tierra. El capítulo cinco presenta un análisis de la situación actual del APFFNT, identifica los retos que enfrenta y expone algunas estrategias propuestas por los distintos actores involucrados. Finalmente, el sexto capítulo ofrece una reflexión sobre las lecciones aprendidas durante el proceso de cambio de categoría. En este contexto, el libro que se presenta reúne los resultados de diversos estudios realizados en el APFFNT, destacando su relevancia ecológica y su papel clave en el desarrollo regional y en el mantenimiento del equilibrio ambiental, a través de acciones locales con impacto global.

Por último, es importante destacar la labor realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el cual ha desempeñado un papel clave en la cartografía y clasificación de los

recursos naturales en México. Una de sus contribuciones más relevantes es la elaboración de la carta de vegetación y uso del suelo a escala 1:50,000, que cubre aproximadamente el 35 % del territorio nacional. Asimismo, ha desarrollado coberturas cartográficas a escalas 1:250,000 y 1:1,000,000, distribuidas en siete series, que permiten contar con una visión integral y sistemática del uso del suelo y de las coberturas vegetales en todo el país.

Para complementar este esfuerzo técnico y asegurar una interpretación estandarizada de la información generada, el INEGI ha producido guías especializadas que acompañan las cartas de uso del suelo y vegetación.

Estas guías, publicadas entre 1978 y 2017, ofrecen una descripción detallada de los distintos tipos de vegetación y categorías agrícolas representadas en la cartografía nacional. Su contenido se basa en la terminología adoptada por Flores Mata et al., lo que les otorga rigor científico y funcionalidad técnica. Como resultado, estas guías se han convertido en herramientas fundamentales para investigadores, responsables de políticas públicas y gestores del territorio, al facilitar la correcta interpretación de los mapas y garantizar la coherencia en el análisis del uso del suelo en México.

Adicionalmente, desde 1998, el INEGI ha puesto a disposición del público los diccionarios de datos de uso del suelo y vegetación, disponibles en su página de internet. Estos diccionarios ofrecen una descripción detallada de la vegetación natural e inducida en México, proporcionando una visión general de los diferentes tipos de vegetación, tanto en su estado natural como en aquellas áreas que han sido modificadas por actividades humanas. Esta información es especialmente útil para aquellos interesados en realizar estudios detallados sobre el impacto de las prácticas agrícolas, forestales y urbanas en los ecosistemas del país, constituyendo un recurso clave para los análisis ecológicos y la toma de decisiones en políticas ambientales y de manejo de recursos.

En resumen, los estudios sobre las coberturas vegetales de México han experimentado una notable evolución, que abarca desde los primeros registros históricos realizados por exploradores y naturalistas en los siglos XVI y XVII hasta las investigaciones más recientes basadas en tecnologías avanzadas, como la teledetección satelital y los sistemas de información geográfica (SIG). A lo largo de este proceso, las clasificaciones iniciales de la vegetación, que se basaban principalmente en observaciones cualitativas y descripciones generales, han dado paso a enfoques más sofisticados y precisos, impulsados por el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas. Estas innovaciones han permitido una clasificación más detallada y exacta de las diversas coberturas vegetales que conforman el territorio mexicano, ofreciendo una mejor comprensión de su distribución, variabilidad y dinámica a lo largo del tiempo.

La transición de los métodos tradicionales a los más modernos ha facilitado la creación de mapas detallados y representaciones cartográficas de la vegetación, que no solo mejoran la precisión en su identificación y localización, sino que también permiten un análisis más profundo de los factores ecológicos, climáticos y geológicos que influyen en su distribución. Este avance ha sido fundamental para el monitoreo de los cambios en los ecosistemas, especialmente en un contexto de transformación ambiental y cambio climático, proporcionando una base sólida para la planificación y gestión de los recursos naturales en el país.

Hoy en día, los estudios sobre las coberturas vegetales de México continúan evolucionando, incorporando nuevos enfoques, como la integración de datos satelitales, análisis de tendencias a largo plazo y modelos predictivos, lo que permite no solo una clasificación más precisa, sino también una mejor comprensión de la relación entre la vegetación y otros factores, como la

intervención humana, el uso del suelo y las políticas de conservación. Sin duda, esta evolución ha ampliado las posibilidades de gestionar y proteger la rica biodiversidad vegetal de México de manera más efectiva y sustentable.

1.2.1 Tipos de vegetación en el Estado de México

La vegetación en el Estado de México es una de las más variadas de la República Mexicana, esto se debe a su accidentada orografía y su variedad de climas, así como por su cercanía con el trópico. De acuerdo con Rzendowski los grupos vegetales presentes en el Estado de México están distribuidos en tres provincias florísticas; la Altiplanicie Mexicana, las Serranías Meridionales y la Depresión del Balsas. El Estado de México pertenece de acuerdo con su flora prácticamente por completo al reino Neotropical y sus zonas montañosas se ubican dentro de la zona de transición, todo esto aunado a los factores ya antes mencionados, dan origen a una gran variedad de especies que se han adaptado a las diversas altitudes, así como las condiciones físicas y químicas del terreno. En la entidad es posible encontrar variaciones de altura que van desde los 800 msnm hasta los 4500 msnm, con una gran diversidad geológica y una precipitación variable, lo cual permite la presencia de climas y microclimas diferentes, a lo anterior hay que sumar la capacidad de dispersión que tiene cada especie vegetal, lo que, aunado al factor cronológico, crea una flora muy variada dentro de sus límites territoriales.

En el Estado de México, la diversidad de condiciones geográficas y climáticas da lugar a una notable variedad de tipos de vegetación. Esta va desde el bosque tropical caducifolio, que se localiza principalmente en la región de la depresión del Balsas, hasta los bosques de coníferas que predominan en las zonas montañosas, así como los matorrales xerófilos que se encuentran en las áreas más áridas del estado. De acuerdo con la clasificación de Rzedowski (1978), los principales tipos de vegetación presentes en la entidad son: bosque de coníferas, bosque de Quercus, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, matorral xerófilo, pastizal y vegetación acuática. La superficie forestal total del Estado de México se estima en 709,359 hectáreas, lo que representa aproximadamente el 31.5 % de su territorio. De esta superficie, 558,069 hectáreas corresponden a bosques de coníferas, Quercus y mesófilo de montaña (26 % del total estatal), 87,789 hectáreas al bosque tropical caducifolio (4.1 %), y el 1.4 % restante a matorrales xerófilos (CONANP, 2020).

La clasificación de los tipos de vegetación puede variar dependiendo de los enfoques metodológicos y objetivos del análisis. Entre las clasificaciones más utilizadas en estudios ecológicos y cartográficos destacan la de Rzedowski (1978), Miranda y Hernández X (1963) y Flores Mata (1971). La selección de una u otra clasificación depende del tipo de información disponible, así como de la escala y nivel de detalle requeridos. En este sentido, la clasificación adoptada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se ha consolidado como una referencia oficial en México, ya que retoma y sintetiza los trabajos antes mencionados, con un énfasis particular en el sistema de Flores Mata. A continuación, se presentan los principales tipos de vegetación que se registran en el Estado de México (ver Tabla 1).

Las clasificaciones de la vegetación que desarrollaron los investigadores mencionados sirven como la base principal sobre la cual Flores Mata ha construido su propio sistema de clasificación. En su trabajo, Flores Mata ha generalizado y ampliado los tipos y subtipos de vegetación, aplicándolos a nivel nacional para ofrecer una visión más integral y comprensiva de las coberturas vegetales de México. Su enfoque abarca una amplia variedad de formaciones vegetales presentes en todo el país, con el objetivo de crear un marco clasificador que permita un análisis más claro y organizado de la vegetación mexicana.

Tabla 1. Tipos de vegetación clasificación de Miranda

Tipos de vegetación	Clima
Selva alta perennifolia	Af, Am
Selva mediana o baja perennifolia	Af, Am, Cfa, Cfb
Selva alta o mediana subperennifolia	Am, Aw
Selva alta o mediana subcaducifolia	Am, Aw
Selva baja subperennifolia	Am, Aw
Palmares	Am, Aw
Sabana	Am, Aw
Manglar	Am, Aw, BSh
Popal	Af, Am, Aw
Selva baja caducifolia	Aw, Cwa
Selva baja espinosa perennifolia	Aw, BSh, BW, Cx'
Selva baja espinosa caducifolia	BSh, BW
Matorral espinoso con espinas laterales	Aw, BSk, Cwa
Cardonales, tetecheras, etc	Bsh, BW
Izotales	BSh, BSk, BW
Nopaleras	BSk, BSk'
Matorral espinoso con espinas terminales	BSh, BSk, BW
Matorral inerme o subinerme parvofilo	BSh, BSk, BW
Crasi- rosulifolios espinosos	BSh, BSk, BW
Tulares, carrizales, etc	Af, Am, Aw, Cwa, Cwb
Pastizales	BSk
Zacatonales	Cwc
Agrupaciones de halofitos	Am, Aw, BS, Sw, Cx', Cs
Chaparral	Cs, (BSk', Cwa)
Bosque de enbros	BSk, BSk', Cwa, Cwb
Pinares	Cf, Cwa, Cwb, Cwc
Encinares	Am, Aw, Cf. Cwa, Cwb
Bosque caducifolio	Cfb
Bosque de abetos u oyameles	Cwb
Vegetación de cunas costeras	Am, Aw, BS, BW, Cx', Cs
Vegetación de desiertos áridos arenosos	BW
Vegetación de páramos de altura	ETH

Fuente. - Miranda G.F. Y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación.

Los principales tipos de vegetación que existen en el Estado de México de acuerdo con Rzedowski (1978)

1. Bosque tropical perennifolio
2. Bosque tropical subcaducifolio
3. Bosque tropical caducifolio
4. Bosque espinoso
5. Bosque mesófilo de montaña
6. Bosque de coníferas
7. Bosque de Quercus
8. Matorral xerófilo
9. Pastizal
10. Vegetación acuática y subacuática

Sin embargo, en el caso específico del Estado de México, la clasificación de la vegetación presenta una complejidad considerable debido a las numerosas variantes que existen en esta

región. Estas variantes se deben a factores geográficos, climáticos, edáficos y humanos que influyen de manera significativa en la estructura y distribución de la vegetación. Por esta razón, se requiere un análisis más detallado y contextualizado para comprender las particularidades de las coberturas vegetales en esta entidad, y así poder generar una clasificación más ajustada a las realidades locales. Este proceso de análisis permitirá identificar las transiciones entre diferentes tipos de vegetación y reconocer las zonas de mayor diversidad, lo que a su vez contribuirá a la creación de una clasificación más compacta, precisa y objetiva, que sea útil tanto para estudios académicos como para la gestión y conservación de los recursos naturales de la región.

Uno de los propósitos de este trabajo es proporcionar una herramienta más útil y específica para la toma de decisiones en relación con la planeación del uso del suelo, la conservación de la biodiversidad y el manejo sostenible de los ecosistemas en el Estado de México, asegurando que las características particulares de su vegetación sean adecuadamente reflejadas y comprendidas.

1.2.2 Cobertura arbórea

La cobertura arbórea en el Estado de México juega un papel crucial en la sostenibilidad ambiental y el bienestar de sus habitantes. Este alberga una gran diversidad de ecosistemas, desde bosques templados hasta zonas semiáridas, lo que lo convierte en una zona estratégica para la conservación y restauración de sus recursos naturales, esto a sus diversas altitudes que van desde los 800 a los 4400 metro sobre el nivel del mar. Aparte que la vegetación arbórea no solo regula el clima y la calidad del aire, sino que también es vital para la biodiversidad, la protección del suelo y el ciclo hidrológico. Por lo que conocer las características principales de los tipos de vegetación y usos que existen en el Estado de México es importante, a continuación se mencionan algunos de los principales tipos y sus descripciones generales.

1) Bosque de Coníferas

El bosque de coníferas, en el Estado de México se encuentra ampliamente distribuido en las zonas montañosas. Se calcula que existen unas 4901 hectáreas cubiertas por este tipo de bosques. Son más de 20 especies de coníferas las que se encuentran distribuidas en las principales montañas del estado, estas se relacionan a las características del suelo y clima de los diversos ambientes. Esta comunidad es la más extensa en la entidad y por lo tanto es la que mantiene más especies tanto vegetales como animales, de aquí la gran importancia para su conservación. Este bosque se divide en tres subtipos los cuales tienes características comunes pero diferente tipo de condiciones ecológicas, el cual da la variación de cada una, esto son el bosque de pino, el bosque de oyamel y el bosque de táscate o enebro (Rzedowski, 1978).

a) Bosque de Pino

Se calcula que existen unas 12000 hectáreas cubiertas por estos bosques, distribuidos principalmente en la Sierra Nevada, Sierra de las Cruces y en el Nevado de Toluca, preferentemente en áreas cubiertas por rocas ígneas, en suelos de pH ácido (5 a 7). El dominante pertenece al género *Pinus*. El color, textura y contenido de nutrientes en el suelo presentan variaciones considerables de un lugar a otro; son frecuentes las tierras rojas, más o menos arcillosas derivadas de basaltos; los suelos negros o muy oscuros son también frecuentes, la altitud varia desde los 300 a 4000 msnm; la mayoría de 1500 a 3000 msnm el clima en donde

mayormente se presenta es el Cw, con una temperatura media anual de 10 a 20°C, la precipitación media anual de generalmente de 600 a 1000mm, aunque se llega a encontrar en zonas con 350mm, con 5 a 6 meses secos (Rzedowski, 1978).

Existen diferentes tipos de especies de pinos, cuya morfología foliar (hojas delgadas y flexibles) y disposición de las hojas le da una fisonomía particular. Las comunidades son siempre verdes debido a la fenología de los árboles dominantes. La altura de la comunidad es variable de 8 a 30m o incluso mayor. Algunos géneros y especies representativos son: Pinus *patula, P. arizonica, P. montezumae, P. hartwegii, P. ayacahuite, P. pseudostrobus, P. engelmannii.* A veces hay presentes otros géneros como: *Alnus, Quercus, Juniperus, Arbutus, Salís y Buddleia.* En el Estado de México estas comunidades crecen en altitudes mayores a 2300 m, sin faltar aquellas que dominan en alturas menores a 2000 m (Rzedowski, 1978).

b) Bosque de Oyamel (*Abies religiosa*)

La distribución geográfica de los bosques de oyamel o abetos en el Estado de México es en extremo dispersa y se presenta en forma de manchones aislados, dominando en éstos el género *Abies*. Las áreas continuas de mayor extensión se presentan en las serranías que circundan el Valle de México y algunas montañas sobresalientes del Eje Volcánico Transversal. Se calcula que existen unas 122,000 hectáreas cubiertas por este tipo de vegetación distribuidas principalmente en la Sierra Nevada y en la de las Cruces. En el Estado de México generalmente se encuentran en altitudes superiores a los 2700 m. en suelos profundos, bien drenados, ricos en materia orgánica y húmeda durante todo el año (Rzedowski, 1978).

Los sustratos geológicos son muy variados, la altitud varía desde los 2000 a los 3000 msnm, generalmente arriba de los 2500 msnm, el clima en donde se presenta es el Cw, con una temperatura media anual 7 a 15°C, con mínimas extremas de –12°C, la precipitación media anual superior a 1000mm, y con menos de 4 meses secos (Rzedowski, 1978).

Son comunidades densas con árboles de hojas angostas y cortas, que varían de 30 a 40m de altura, aunque pueden alcanzar hasta 50m. Las copas de los árboles comúnmente presentan un contorno triangular y se ramifican desde niveles relativamente bajos. Usualmente con un estrato arbóreo inferior, y estratos arbustivo, herbáceo y rasante. En el estado fundamentalmente es el *Abies religiosa y Quercus.* También se le encuentra formando bosques mixtos con *Cupressaus, Pinus, Pseudotsuga y Picea*. (Rzedowski, 1978).

c) Bosque o matorral de Táscates o Enebros (Juniperus)

En el Estado de México se encuentran distribuidos principalmente en la zona sur del Estado y en algunas zonas del este, el género representativo es el *Juniperus* el cual está casi siempre combinado con algún otro tipo de conífera. A veces se presentan en suelos poco profundos y pedregosos de laderas de cerros, en altitudes entre los 1600 a los 2000 msnm; rara vez por debajo de los 1500 msnm, pero a veces a altitudes inferiores a los 1000 msnm. Los climas predominantes son el Cw, Cs, Bs, la temperatura media anual varia desde 10 a los 20°C y su precipitación media anual de 500 a 1000mm (Rzedowski, 1978).

Este tipo de vegetación es siempre verde y puede variar desde matorrales de 50cm de alto hasta bosques de 15m, las alturas más frecuentes son de 2 a 6 m. Por lo general son comunidades bastante abiertas, aunque hay excepciones. Estas comunidades son conocidas como "cedro", "sabino", "enebro", "táscate", "tláxcal", "nebrito". Estos prosperan sobre una gran variedad de

rocas madres y suelos, incluyendo los alcalinos, así como los de contenido moderadamente elevado en sales solubles y de yeso, con drenaje deficiente (Rzedowski, 1978).

2) Bosque de *Quercus o Encino*

Dentro del Estado de México se encuentran ampliamente distribuidos en las zonas montañosas, en sitios que circundan el Valle de México y algunas montañas sobresalientes del Eje Volcánico Transversal, así como parte de la depresión del Balsas. El grupo representativo lo conforma el género *Quercus*, este se encuentra tanto en sustratos ígneos como sedimentarios, así como en suelos profundos de terrenos aluviales planos, y en suelos rocosos e inclinados o pedregosos, de diferentes texturas que van de arcillas a arenas, coloración variada desde rojos, amarillos, negros o cafés y usualmente, de pH ácido (5.5 a 6.5). Su altitud promedio es de 0 a 3 100 msnm, si bien el 95% se halla ente 1200 y 2800 msnm. Se presenta en climas como el Cf, Cs, Cx, Af, Am, Aw, BS, con una temperatura media anual 10 a 26°C; más frecuentemente de 12 a 20°C, la precipitación media anual de 350 a 2000mm; principalmente entre 600 y 1200 mm, de 0 a 9 meses secos (Rzedowski, 1978).

La mayoría son formaciones densas o al menos cerradas, aunque hay encinares con árboles separados con amplios espacios cubiertos por arbustos y herbáceas. Su altura varía entre 2 y 30m, alcanzando en ocasiones hasta 50m. La fisonomía de estos bosques está notablemente influida por el tamaño de las hojas de las especies que lo forman, que usualmente son de menor tamaño y textura coriácea en áreas secas y de hojas grandes, relativamente delgadas y bellotas grandes en localidades muy húmedas (Rzedowski, 1978).

3) Bosque Mesófilo de Montaña

La mayor concentración y diversidad florística en el Estado de México se localiza en este tipo de vegetación, la cual se encuentra en la cuenca del río Balsas y en sitios protegidos en los principales sistemas montañosos, como las Sierras de Monte Alto y Monte Bajo, Sierra de las Cruces, Sierra Nevada y del Nevado de Toluca, en las laderas inferiores de estas montañas y en muchos casos en las zonas de barrancas. Existen en esta vegetación muchas especies de árboles latifoliados que son los dominantes, ejemplo de ello son los géneros *Clethra, Cornus, Garrya, Ilex y Oreopanax*. A menudo se encuentran sobre sustrato de caliza, así como sobre laderas de cerros andesíticos, basaltos y muchos otros tipos de rocas. Los suelos son someros o profundos, con abundante materia orgánica y húmeda durante todo el año. Se ubican en lugares con una altitud promedio de 600 a 2700 msnm, por lo que el clima frecuentemente es Cf que es el más característico, pero también se llega a presentar Af, Am, Aw a Cw, en estos la temperatura media anual varía desde los 12 a 23°C y la precipitación media anual es mayor a 1000mm (Rzedowski, 1978).

4) Bosque Tropical Caducifolio

En el Estado de México el bosque tropical caducifolio, se localiza en las laderas de los cerros cuyas altitudes son menores a los 1700 msnm, en los ambientes cálidos de la región fisiográfica del Balsas, al sur y sur poniente en particular, en los municipios de Tejupilco, Amatepec y Tlatlaya principalmente. Es un tipo de vegetación donde dominan plantas de los géneros *Bursera, Ipomea y Lysiloma.* Generalmente se encuentra en lomeríos y laderas con suelos someros y pedregosos, o en suelos profundos con drenaje deficiente. Con una altitud promedio de 0 a 1 900 msnm; más

común debajo de 1500 msnm., principalmente. El clima donde mayormente se presenta es Aw, aunque existen en Bs, Cw. La temperatura media anual oscila entre los 22 a 24°C., y la precipitación media anual varia de los 600 a 1200mm presentando de 5 a 8 meses secos (Rzedowski, 1978).

La principal característica son los árboles de 15 m de altura o menos, según las condiciones climáticas. Entre el 25 y el 50% de los árboles pierden las hojas en la época de secas. En las zonas más secas es común la presencia de cactáceas columnares y candelabriformes, así como de rosetófilos. Se calcula que en el Estado de México existen 158,000 hectáreas cubiertas por este tipo de vegetación, distribuidas fundamentalmente en la Depresión del Balsas. (Rzedowski, 1978).

1.3 Áreas Naturales Protegidas

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) juegan un papel esencial no solo para conservar la biodiversidad y proteger los ecosistemas frente a las diversas amenazas del cambio climático y las actividades humanas, sino también para garantizar la resiliencia ecológica de los territorios. Estas áreas actúan como refugios vitales para especies en peligro de extinción, preservando hábitats cruciales y regulando procesos naturales como el ciclo del agua, la polinización y el control de plagas. Además, al protegerse estos espacios, se mitigan los efectos del cambio climático al conservar los sumideros de carbono y al mantener la cobertura vegetal que regula las temperaturas y los patrones climáticos locales.

Las ANP, cuando son gestionadas adecuadamente, no solo cumplen una función ecológica, sino que también contribuyen de manera significativa al desarrollo sustentable. Esto se logra mediante el mantenimiento de los procesos ecológicos que no solo benefician a la naturaleza, sino también a las comunidades locales. Estas comunidades pueden encontrar en las ANP oportunidades para el desarrollo de actividades sostenibles, como el ecoturismo, la recolección de productos forestales no madereros o la gestión sostenible de los recursos naturales. De esta manera, las áreas protegidas no solo representan un espacio para la conservación, sino que también sirven como un motor para la economía, generando empleo y mejorando la calidad de vida de las personas, especialmente aquellas que dependen directamente de los recursos naturales.

1.3.1 Definición de las ANP

Para comprender el concepto de Áreas Naturales Protegidas (ANP) es necesario partir de dos nociones fundamentales: la biodiversidad o diversidad biológica, y la conservación ambiental. La definición actual de biodiversidad es el resultado de una evolución conceptual influida por diversos acontecimientos históricos. Uno de los más importantes se remonta al siglo XIX, cuando Charles Darwin, en su obra El origen de las especies, planteó que la diversidad biológica es el resultado de procesos de interacción sistemática entre las especies y con los procesos geológicos. En este sentido, como señalan Núñez et al. (2003), la biodiversidad es consecuencia directa de la evolución natural. Actualmente, la biodiversidad se entiende como la variedad existente a diferentes niveles biológicos: desde los genes y las especies, hasta los ecosistemas que estas integran, incluyendo también los paisajes o regiones donde estos ecosistemas se desarrollan. Además, esta definición incorpora los procesos ecológicos y evolutivos que sustentan y regulan la vida en la Tierra (CONABIO, 2018).

En paralelo, el concepto de conservación ha ido transformándose con el tiempo. Fue acuñado por Gifford Pinchot en 1908, y posteriormente definido por Rose en 1961 como “la distribución óptima de los recursos naturales, humanos y culturales dentro del esquema del desarrollo nacional, con el fin de garantizar la mayor seguridad económica y social”. A esta visión se sumó la interpretación de John F. Kennedy en 1962, quien concibió la conservación como “el uso sabio de nuestro medio ambiente; esto es, la más alta forma de ahorro nacional, es decir, la prevención del desperdicio y el deterioro” (Owen, 1977).

Los conceptos biodiversidad y conservación convergen en el fundamento teórico y práctico de las Áreas Naturales Protegidas. Estas zonas delimitadas tienen como objetivo preservar la integridad de los ecosistemas, proteger las especies endémicas y asegurar los servicios ambientales que permiten el equilibrio ecológico. En el contexto mexicano, las ANP representan una estrategia clave para garantizar el uso sostenible del territorio y la permanencia de los recursos naturales a largo plazo, integrando la riqueza biológica con los marcos normativos e institucionales que buscan su conservación.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Recursos Naturales (UICN, 2018) dice que la conservación es “la utilización humana de la biosfera para que rinda el máximo beneficio sostenible a la vez que mantiene el potencial necesario para las aspiraciones de futuras generaciones”. Un concepto integral establece que la conservación es la administración del uso humano de la biosfera de modo que pueda producir los mayores beneficios sustentables para las generaciones actuales y a la vez mantener sus posibilidades de satisfacer las necesidades y aspiraciones de las futuras.

En el mundo, las zonas o regiones con alta biodiversidad son prioritarias para la conservación; éstas también son conocidas como países megadiversos. México es considerado así ya que forma parte del selecto grupo de naciones poseedoras de la mayor cantidad de animales y plantas. A nivel mundial, México ocupa el cuarto lugar dentro de los 12 países catalogados como megadiversos (CONABIO, 2018).

Un Área Natural Protegida (ANP) es una porción del territorio (terrestre o acuático) cuyo fin es preservar la biodiversidad representativa de los distintos ecosistemas para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos y cuyas características no han sido esencialmente modificadas. (PROFEPA, 2021)

Dado que las ANP son una estrategia de conservación, es importante conceptualizar el término. A pesar de que existen diversos conceptos, las definiciones de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2007), de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 2018) y del Código para la Biodiversidad del Estado de México (CBEM, 2005) convergen en que las ANP son sitios dedicados para conservar la biodiversidad, considerando que se encuentran enmarcados en un contexto social y cultural.

Estas zonas son manejadas bajo el instrumento político con mayor definición jurídica para la conservación, regulando sus actividades bajo el marco normativo de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, estando sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según categorías establecidas en la Ley. (CONANP, 2023)

Así mismo, las ANP tienen como fin vigilar que el aprovechamiento de los recursos dentro de la zona se realice de manera sustentable, preservando la flora y fauna particular del ecosistema; permitir y propiciar la investigación y estudio de los ecosistemas con el objetivo de generar

conocimiento y transmitir aquellas prácticas o tecnologías que faciliten el aprovechamiento sustentable de los mismos y, a su vez, proteger el entorno de las zonas históricas, arqueológicas y turísticas de valor e importancia cultural y recreativa. (CONANP, 2022)

1.3.2 Clasificación de las ANP

El Código para la Biodiversidad del Estado de México define a las Áreas Naturales Protegidas como “Las zonas del territorio del Estado de México respecto de las cuales ejerza su jurisdicción y en las que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad humana y que requieran ser restaurados o preservados para salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, lograr el aprovechamiento racional de los elementos y recursos naturales mejorando la calidad del ambiente en los centros de población y sus alrededores”. (GEM, 2022)

En México, las ANP constituyen el principal instrumento para canalizar los esfuerzos de conservación de la diversidad biológica. En la actualidad, existen 182 áreas naturales de carácter federal que representan 90,839,521.55 hectáreas; aproximadamente, el 18.16% del territorio nacional, que son administradas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP); de las cuales, 67 son parques nacionales, 44 son reservas de la biosfera, 40 áreas de protección de flora y fauna, 18 santuarios, ocho áreas de protección de recursos y cinco monumentos naturales (CONANP, 2018).

Las ANP son categorizadas según su tipo en Federales, Estatales, Municipales y en ocasiones en locales, clasificadas de acuerdo con sus características fisiográficas, biológicas, socioeconómicas, objetivos y modalidades de uso.

Dentro de las áreas naturales de competencia federal se encuentran, las Reservas de la Biosfera, Parques Nacionales, Monumentos Naturales, Áreas de Protección de Flora y Fauna, y Santuarios, además de las áreas de competencia estatal y municipal como pueden ser las Reservas Ecológicas Estatales, Parques Estatales y Jardines Históricos y las Zonas de Preservación Ecológica de los Centros de Población y Parques Urbanos Municipales o Jardines Públicos (CONANP, 2018).

1.3.2.1 Áreas Federales

Las Áreas federales de acuerdo CONANP 2018 son:

Reservas de la biosfera: Son áreas representativas, de uno o más ecosistemas, no alterados por la acción del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados, en las cuales habitan especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción (CONANP, 2018).

Parques nacionales: Áreas con uno o más ecosistemas que destaquen por su belleza escénica, su valor científico, educativo, su valor histórico, por la existencia de flora y fauna, por su aptitud para el desarrollo del turismo, o por otras razones análogas de interés general. En estos parques está prohibido el aprovechamiento de los recursos naturales y el asentamiento de grupos humanos (CONANP, 2018).

Monumentos naturales: Estas áreas contienen uno o varios elementos naturales, además, por su carácter único, valor estético, histórico o científico, se debe incorporar a un régimen de protección absoluta. No tienen la variedad de ecosistemas ni la superficie necesaria para ser incluidos en otras categorías de manejo (CONANP, 2018).

Áreas de protección de flora y fauna: Son áreas establecidas de conformidad con las disposiciones generales de la LGEEPA y otras leyes aplicables en lugares que contiene los hábitats de cuya preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de especies de flora y fauna silvestres (CONANP, 2018).

Áreas de protección de recursos naturales: Son áreas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos natura- les localizados en terrenos preferentemente de aptitud forestal (CONANP, 2018).

Santuarios: Son áreas establecidas en zonas caracterizadas por una considerable riqueza de flora o fauna, o por la presencia de especies, subespecies o hábitats de distribución restringida. Abarcan cañadas, vegas, relictos, grutas, cavernas, cenotes, caletas u otras unidades topográficas o geográficas que requieran ser preservadas o protegidas (CONANP, 2018).

1.3.2.2 Áreas Estatales o municipales

Reservas ecológicas estatales: Son áreas representativas de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción del ser humano, o que requieran ser preservados y restaurados, en los cuales habitan especies representativas de la biodiversidad nacional y estatal, incluyendo a especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción (CEPANAF, 2018).

Parques estatales: Representaciones biogeográficas y ecológicas a nivel estatal de gran belleza escénica; con valor científico, histórico, educativo y de recreo; con existencia de flora y fauna, protegidas por su aptitud para el desarrollo del turismo o bien por otras razones análogas de interés general. En los parques estatales sólo podrá permitirse la realización de actividades relacionadas con la protección de sus recursos naturales, el incremento de su flora y fauna, la preservación de los ecosistemas y de sus elementos, la investigación, recreación, turismo y educación ecológica (CEPANAF, 2018).

1.3.2.3 Locales (comunitarias o privadas)

Áreas comunitarias protegidas: Distintas comunidades y ejidos desde antaño han mantenido áreas con una baja intensidad de utilización por diversos motivos. Algunas se han protegido para mantener manantiales, otras con fines religiosos, otras más para conservar poblaciones de especies particulares (CEPANAF, 2018).

Áreas protegidas privadas: Las áreas privadas también son de tamaños relativamente pequeños y en mucho menor número que las de propiedad social. Existe una gran variedad de herramientas legales que apoyan la creación de áreas privadas protegidas (CEPANAF, 2018).

1.3.2.4 Clasificación de las zonas dentro de un ANP

Dentro de estas áreas de conservación acorde a sus elementos biológicos, físicos y socioeconómicos, existe una división para su uso y categoría de manejo, que se lleva a través de las siguientes zonas y sus respectivas subzonas, según la LGEEPA (2018) se dividen en:

1. Zona Núcleo: En esta zona se busca mantener los ecosistemas en su estado natural, protegiendo procesos ecológicos esenciales, hábitats críticos y especies prioritarias. Aquí el acceso es limitado y las únicas actividades permitidas son la investigación científica, el monitoreo ambiental de bajo impacto, siempre con autorización previa. Se prohíben actividades como el turismo masivo, la explotación de recursos y la construcción de infraestructura. Y se subdividen en:

    - Conservación estricta: No se permite ninguna intervención, salvo monitoreo.
    - Investigación científica: Se permite el acceso solo para estudios con autorización.
    - Protección de especies prioritarias: Foco en hábitats críticos de especies endémicas o amenazadas.

2. Zona de Amortiguamiento: Actúa como una franja de transición que reduce el impacto de las actividades humanas sobre las áreas más frágiles. Aquí se permiten actividades sustentables compatibles con la conservación, como el turismo de bajo impacto, la agricultura tradicional y el aprovechamiento forestal no intensivo. Estas actividades se deben realizar bajo ciertas regulaciones y con criterios técnicos para garantizar que no afecten negativamente a la biodiversidad. Y se subdividen en:

    - Uso tradicional: Para actividades agrícolas o ganaderas tradicionales de bajo impacto.
    - Conservación comunitaria: Áreas donde las comunidades realizan labores de conservación con aprovechamiento controlado.

3. Zona de Recuperación: Esta área es destinada a restaurar ecosistemas que han sido degradados por el uso inadecuado del suelo, incendios, deforestación o contaminación. Ahí se llevan a cabo acciones como la reforestación, control de erosión, la eliminación de especies invasoras o el restablecimiento de la vegetación nativa. Estas zonas son temporales y una vez restauradas, pueden reclasificarse como zonas núcleo o de amortiguamiento. Y se subdividen en:

    - Restauración activa: Donde se implementan proyectos como reforestación, control de especies invasoras, entre las más conocidas.
    - Recuperación natural: Áreas que se regeneran de forma pasiva, sin intervención directa.

4. Zona de Uso Público: Tienen como objetivo permitir la recreación, el ecoturismo y la educación ambiental. En estas zonas se permite el acceso a visitantes mediante senderos interpretativos, áreas de campamento, centros de visitantes y otras instalaciones con bajo impacto ecológico. La presencia humana está permitida siempre y cuando se respeten las regulaciones establecidas en el programa de manejo, para evitar daños al entorno, se subdividen en:

- Servicios turísticos: Infraestructura para visitantes (cafeterías, estacionamientos).
- Recreativa: Senderos, miradores, áreas de campamento.
- Educativa: Áreas destinadas a la educación ambiental, como centros de interpretación.

5. Zona de Aprovechamiento Sustentable: En estas zonas se permite el uso racional de los recursos naturales renovables, como la pesca artesanal, la agricultura tradicional, la recolección de productos forestales no maderables o la extracción controlada de madera. Todas estas actividades deben realizarse bajo planes de manejo aprobados por la autoridad ambiental, buscando asegurar la viabilidad ecológica a largo plazo.

    - Forestal sustentable: Aprovechamiento maderable bajo criterios ecológicos.
    - Agrícola de bajo impacto: Agricultura tradicional sin agroquímicos.
    - Pesquera artesanal: Regulada para capturas sostenibles.

6. Zona de asentamientos humanos: Estas zonas se permiten únicamente cuando las comunidades ya habitaban el área antes de que se decretara como Área Natural Protegida. En ellas se autoriza la permanencia de viviendas, la prestación de servicios básicos y la realización de actividades productivas tradicionales, siempre bajo criterios de desarrollo sustentable. Su inclusión tiene como propósito integrar a las comunidades locales en el manejo del ANP, respetando sus derechos y evitando, al mismo tiempo, la expansión descontrolada de los asentamientos humanos.

1.4 Geomática

La geomática es una disciplina integral que fusiona una variedad de tecnologías avanzadas y herramientas especializadas para la recolección, análisis, gestión y visualización de datos geoespaciales. A través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), la teledetección que incluye el procesamiento de imágenes satelitales, el uso de fotogrametría y sensores remotos, por ultimo los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) que ayuda a darle una ubicación dentro de un contexto geográfico, entre otras metodologías. Esta área del conocimiento no solo facilita la creación de mapas y modelos, sino que también posibilita la realización de complejos análisis espaciales, esenciales para optimizar procesos y mejorar la toma de decisiones en una amplia variedad de sectores.

La geomática desempeña un papel crucial en campos tan diversos como la planeación, la gestión de recursos naturales, la elaboración de cartografía, la gestión de riesgos, así como la prevención y mitigación de desastres naturales. Esta disciplina se ha convertido en una herramienta indispensable en la toma de decisiones estratégicas, impulsando un manejo más eficiente y responsable del espacio geográfico. En consecuencia, la geomática ha cobrado una importancia creciente en numerosas industrias, permitiendo una mejor comprensión de los fenómenos espaciales y contribuyendo a la sostenibilidad y el desarrollo de proyectos más informados y eficaces.

1.4.1 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

La utilización de herramientas que agilicen el proceso de análisis es muy importante para la obtención de resultados, ya que actualmente existe un mundo de información de diversos temas, de los cuales algunos son necesarios de integrar a la información resultante, como son de tipo

textual, gráfica y cartográfica. En el presente trabajo se requería una herramienta similar, la cual ayudara a gestionar la información de forma ordenada y precisa, para la obtención de un análisis objetivo que se acerque a la realidad. De aquí la importancia de la utilización del SIG, que cuenta con la característica de integrar información digital a una textual por medio de herramientas internas del propio sistema.

En los años 1960 y 1970 emergieron nuevas tendencias en la forma de utilizar los mapas para la valoración de recursos y planeación. Observando que las diferentes coberturas sobre la superficie de la Tierra no eran independientes entre sí, solo que guardaban algún tipo de relación, se hizo patente la necesidad de evaluarlas de una forma integrada y multidisciplinaria. Una manera de sencilla de hacerlo era superponiendo copias transparentes de mapas de coberturas sobre mesas iluminadas y encontrar puntos de coincidencia en los distintos mapas de los diferentes datos descriptivos (Gómez y Quiroga, 2005).

A principios de los años 80`s, los SIG se habían convertido en un sistema plenamente operativo, a medida que la tecnología de los ordenadores se perfeccionaba, se hacía menos costosa y gozaba de una mayor aceptación. En la actualidad se están instalando rápidamente estos sistemas en los organismos públicos, los laboratorios o institutos de investigación, las instituciones académicas, la industria privada y las instalaciones militares y públicas (Gómez y Quiroga, 2005).

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés) se han constituido durante los últimos treinta años en una de las más importantes herramientas de trabajo para investigadores, en todas sus actividades que tienen como insumo el manejo de la información (Bases de Datos) relacionada con diversos niveles de agregación espacial o territorial, lo cual está creando la necesidad de que estos usuarios de información espacial conozcan acerca de esta tecnología (Chang,2016). Aunque los SIG tienen gran capacidad de análisis, éstos no pueden existir por sí mismos, deben tener una organización, personal y equipamiento responsable para su implementación y sostenimiento, adicionalmente este debe cumplir un objetivo y estar garantizados los recursos para su mantenimiento.

Un Sistema de Información Geográfica, es un sistema complejo que gestiona una base de datos espacial. Permite la creación y estructuración de los datos partiendo de fuentes de información como los mapas, la teledetección, bases de datos existentes, etc., además de posibilitar el análisis, visualización y edición en mapas de la base de datos, un GIS cuenta con herramientas que permiten crear nuevos datos derivados de los existentes (Chang,2016).

El SIG se utilizó para integrar la información obtenida de forma puntual y poligonal, abriendo con esto la posibilidad de integrar otro tipo de información como son las ortofotos, espacio mapas e imágenes de satelitales, así como los factores físicos que permitan una comprensión de mayor detalle sobre la distribución de la biomasa forestal.

Existen diversas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, convirtiendo en una herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional, incluyendo la relacionada con el estudio científico de la Biodiversidad, por lo que ayuda a integrar información mucho más rápido que otros medios, que en el presente trabajo se enfocan a la vegetación.

1.4.2 La Teledetección

La Teledetección según Chuvieco (2002), es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, y que no solo engloba el proceso para adquirir las imágenes, sino también el posterior procesamiento que implica la conversión de las imágenes a productos de información.

En los distintos elementos que forman un sistema de teledetección, se observa en primera instancia los procesos que permiten obtener las imágenes espaciales y adquisición de imágenes, esta se basa en la interpretación, así como la verificación de resultados obtenidos, para que finalmente la teledetección tenga conexión a los sistemas de información geográfica. La Teledetección es una técnica aplicada y como tal muy dependiente del estado de desarrollo tecnológico existente en cada momento. Chuvieco comenta que las primeras experiencias de teledetección se remontan a 1859, cuando Gaspar Félix de Tournachon obtuvo las primeras fotografías aéreas desde un globo cautivo. En 1909, Wilbur Wright adquirió la primera fotografía aérea, abriendo el camino a una larga historia de observación desde plataformas remotas. La primera cámara aérea propiamente dicha se desarrolló durante la Guerra Mundial, concretamente en 1915 (Chuvieco ,2002).

1.4.2.1 Beneficios de la teledetección

Algunos de los beneficios de usar la teledetección que menciona Chuvieco (2002) son las siguientes:

- Proporcionan información remota de regiones de difícil acceso.
- Monitoreo de grandes extensiones en forma rápida, precisa, económica y homogénea usando una sola escena.
- Formato digital que permite la interpretación automática, así como una rápida apreciación de la situación problema, haciendo posible la aplicación oportuna de soluciones eficaces.
- Incremento de la objetividad, velocidad de repetición y eficiencia en sus aplicaciones.
- Mediciones normalizadas y controladas tanto en el tiempo como en el espacio.

1.4.2.2 Ventajas de la observación espacial

La teledetección desde satélite cuenta con numerosas aplicaciones gracias a las ventajas que ofrece frente a otros medios de observación más convencionales, como la fotografía aérea o los trabajos de campo. Entre las ventajas de esta observación espacial, se distinguen las siguientes:

- Cobertura global y periódica de la superficie terrestre: Gracias a las características orbitales del satélite podemos obtener imágenes repetitivas de la mayor parte de la Tierra, incluso de las zonas polares o desérticas. Esto permite realizar seguimiento a grandes fenómenos, que preocupan notablemente a la comunidad científica, como el deterioro de la capa de ozono, el calentamiento global, entre muchos otros (Chuvieco ,2002).

- Visión panorámica: La altura orbital del satélite le permite detectar grandes espacios, proporcionando una visión amplia de los hechos geográficos. Una fotografía aérea escala 1:18000 capta en una sola imagen una superficie aproximada de 16 km cuadrados, que se empieza a elevar con mayor altitud. Una imagen de satélite Landsat permite contemplar 34000 km cuadrados, en una sola imagen, mientras que una de un satélite meteorológico NOAA abarca 9 millones de km cuadrados. Sobre las imágenes de satélite resulta más fácil la detección de algunas fallas, fracturas o contactos litológicos, lo que puede guiar a la localización de algunos recursos minerales o medir índices de humedad foliar de la vegetación (Tucker, 1978).

- Información sobre regiones no visibles del espectro: Los sensores ópticos-electrónicos facilitan imágenes sobre áreas no accesibles al ojo humano o la fotografía convencional, como es el caso del infrarrojo medio y térmico. Estas bandas del espectro proporcionan una valiosa información para estudios medioambientales (Chuvieco ,2002)

El tratamiento digital de las imágenes agiliza el proceso de interpretación, permite generar modelos cuantitativos e integrar los resultados con otro tipo de información geográfica, a esto se le conoce como formato digital.

Alguna de estas ventajas es el terreno de la visualización, el apoyo de los ordenadores permite observar el territorio con una precisión y plasticidad difícilmente abordable por otros medios. Este es el caso de las perspectivas tridimensionales, que combinan una imagen de satélite con un modelo topográfico digital. El terreno puede así observarse desde distintos ángulos, diseñar trayectorias animadas, o simulada los efectos de distintas actuaciones sobre el territorio antes de que se produzcan, evitando así pérdidas irreparables.

También presenta algunas limitaciones, como son las derivadas de la resolución espacial, espectral o temporal actualmente disponibles, que pueden no ser suficientes para resolver un cierto problema. La cobertura de nubes puede reducir notablemente en algunas zonas la frecuencia temporal proporcionada por estos sistemas espaciales. En definitiva, esta observación es complementaria con otras técnicas convencionales, como la fotografía aérea y el trabajo de campo.

En lo que respecta al uso de la observación espacial de la cobertura forestal, ésta es de gran ayuda, porque se visualiza una gran zona y se detecta mejor los cambios entre un tipo de cobertura a otra, todo esto es por el tratamiento digital que se le da por medio de las bandas electromagnéticas, la cual se complementa la información cartográfica que se tiene, para corregirla o aumentarle la información de puntos de muestro.

1.4.2.3 Limitantes de la teledetección

- La absorción atmosférica y ciertas condiciones meteorológicas frecuentes en algunas regiones representan una de las grandes limitantes en el nivel de recepción de la información (nubosidad, precipitación, vapor de agua, contaminación urbana, ozono), puesto que hacen que se dificulte la observación (Chuvieco ,2002).
- Se requiere de personal especializado y experimentado, puesto que las interpretaciones pueden resultar ambiguas, inciertas o incorrectas, según el intérprete (Chuvieco ,2002).
- No eximen de tener que visitar la zona de estudio para verificar la información generada (Chuvieco ,2002).

- La confusión espectral representa un problema común dentro de la percepción remota, ya que diferentes coberturas presentan respuestas espectrales similares y no resultan correctamente separadas al momento de su clasificación, este problema es particularmente importante en las regiones con una alta biodiversidad donde existe una gran variedad de tipos de vegetación (Chuvieco ,2002).

- La variabilidad espectral debido a la perturbación y al estado fenológico de la vegetación, así como las diferencias de fechas entre imágenes (Chuvieco ,2002).

- Los distintos enfoques y métodos para interpretar imágenes (interpretación visual, método de máxima verosimilitud, clasificación por objeto, redes neuronales, lógica difusa) presentan desventajas unos ante otros según la finalidad del análisis, por lo que a veces es necesario recurrir a combinarlos, ya que no son excluyentes entre sí en las distintas etapas del procesamiento de las imágenes (Chuvieco ,2002).

1.4.3 Los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)

Los Sistemas de Posicionamiento Global, conocidos comúnmente por sus siglas en inglés, GPS (Global Positioning System), son una tecnología avanzada que permite determinar con alta precisión la ubicación geográfica de un objeto o persona en cualquier parte del mundo. Esto se logra mediante la triangulación de señales emitidas por una constelación de satélites en órbita alrededor de la Tierra, cuyas señales son captadas por receptores GPS ubicados en la superficie terrestre. Al medir el tiempo que tardan estas señales en llegar a los receptores, el sistema calcula la posición exacta en tres dimensiones: latitud, longitud y altitud (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

El GPS ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta indispensable en una amplia gama de aplicaciones que requieren la georreferenciación de ubicaciones. Entre sus usos más comunes se encuentran la navegación vehicular, la geolocalización en teléfonos móviles, la gestión y seguimiento de flotas de transporte, el monitoreo de rutas de aviones y barcos, así como en tareas de rescate y seguridad. Gracias a su capacidad para proporcionar datos precisos en tiempo real, el GPS ha transformado diversas industrias, facilitando desde la logística y la planificación de sus diversas actividades.

El GPS ofrece una cobertura global robusta, redundante y confiable, mejorando la precisión y la fiabilidad de la información geográfica. Esta herramienta avanzada ofrece mejoras en la eficiencia de varios sectores, desde la ubicación de medios de transporte, hasta la ubicación de los recursos naturales, contribuyendo a la mejora de la investigación científica y las operaciones de emergencia, brindando un apoyo vital para las actividades cotidianas a nivel global.

1.4.3.1 Definición de GPS

El GPS, acrónimo de Global Positioning System (Sistema Global de Posicionamiento), es una tecnología avanzada de localización que permite determinar la posición exacta de una persona u objeto en la Tierra mediante el uso de satélites. Este sistema está compuesto por una constelación de 24 satélites, conocidos como NAVSTAR, que orbitan de manera sincronizada alrededor del planeta, y 5 estaciones de control distribuidas en diversas ubicaciones estratégicas sobre la superficie terrestre. Estos satélites trabajan en conjunto para transmitir señales de

radiofrecuencia que son recibidas por los dispositivos GPS en la Tierra, lo que permite calcular la posición precisa de un receptor GPS en cualquier parte del mundo (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

El GPS es un sistema de localización geográfica vía satélite que tiene la capacidad de proporcionar la ubicación de un receptor con una precisión mínima de 10 metros, lo que lo convierte en una herramienta esencial tanto para aplicaciones civiles como militares. Además de determinar coordenadas geográficas, el GPS también puede ofrecer información precisa sobre la altitud y la hora exacta en que se realiza la medición, lo que amplía su utilidad en una amplia gama de sectores, desde la navegación en vehículos hasta la gestión de flotas, la agricultura de precisión y la planificación de rutas en áreas remotas (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

Este sistema fue desarrollado y es operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, con fines inicialmente militares, pero su utilidad ha trascendido y ahora está disponible de manera global para todo tipo de usuarios. Sin embargo, no es el único sistema de posicionamiento global en funcionamiento. Rusia cuenta con su propio sistema de navegación por satélite llamado GLONASS, y la Unión Europea, a través del proyecto Galileo, está trabajando en el desarrollo de su propio sistema, con el objetivo de ofrecer una alternativa competitiva y complementaria al GPS. Estos avances en la tecnología de localización global están configurando un panorama en el que diferentes sistemas de posicionamiento se complementan, mejorando la precisión, fiabilidad y cobertura para los usuarios de todo el mundo (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

El Sistema de Posicionamiento Global está compuesto por tres componentes esenciales: los satélites que orbitan alrededor de la Tierra, las estaciones terrestres encargadas de su seguimiento y control, y los receptores del GPS, que son propiedad de los usuarios. Desde su órbita en el espacio, los satélites del GPS emiten señales que son recibidas e identificadas por los receptores ubicados en la superficie terrestre. Estos receptores, a su vez, calculan y proporcionan de manera precisa las coordenadas tridimensionales correspondientes a la latitud, longitud y altitud, además de la hora exacta en el momento de la recepción de la señal (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

Hoy en día, los pequeños receptores portátiles del GPS están disponibles en el mercado para todos. Con estos dispositivos, los usuarios pueden determinar con gran exactitud su ubicación y desplazarse sin dificultad hacia el destino de su elección, ya sea a pie, en automóvil, en avión o por mar. El GPS se ha convertido en una herramienta fundamental para todos los sistemas de transporte a nivel mundial, ya que respalda la navegación aérea, terrestre y marítima.

Actividades cotidianas como las operaciones bancarias, las comunicaciones móviles e incluso la distribución de electricidad se benefician enormemente de la precisión temporal que ofrece el GPS. Profesionales como agricultores, topógrafos, geólogos y muchos otros usuarios logran realizar sus tareas de manera más eficiente, segura, económica y precisa gracias a las señales accesibles y gratuitas proporcionadas por el GPS.

1.4.3.1.1 Segmento espacial

El segmento espacial del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) está compuesto por los satélites emisores de señales, conocidos como la constelación NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging). Esta constelación está formada por al menos 24 satélites distribuidos en

seis planos orbitales, con una inclinación de 55º respecto al ecuador. Además, se incluyen satélites de reserva, que entran en funcionamiento en caso de que alguno de los satélites activos experimente fallos. Los satélites operan a una altitud de 20,200 kilómetros y actúan como puntos de referencia en el espacio, transmitiendo señales en dos frecuencias principales: L1 = 1575.42 MHz y L2 = 1227.60 MHz (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

Sobre estas frecuencias se modulan dos tipos de códigos: el código C/A (Clear/Access o Course/Acquisition), que está disponible para todos los usuarios, y el código P (Precision-code), que está reservado para fines militares. Los satélites están dispuestos de tal manera que, desde cualquier punto del planeta, siempre haya al menos cuatro satélites visibles, asegurando así una cobertura continua las 24 horas del día (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

La determinación de posiciones mediante el GPS se basa en el cálculo de las distancias a los satélites visibles, un proceso conocido como trilateración. Para ello, se compara el momento en que una señal es transmitida por un satélite con el momento en que la recibe el receptor. La diferencia entre estos dos tiempos indica cuánto tiempo ha tardado la señal en viajar desde el satélite hasta el receptor. Multiplicando este tiempo por la velocidad de la luz, se obtiene la distancia, o "rango", entre el satélite y el receptor (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

Al repetir este proceso con tres satélites diferentes, se puede determinar la posición en dos dimensiones (latitud y longitud) de manera precisa. Sin embargo, para obtener la altitud, es necesario contar con un cuarto satélite. A medida que aumenta el número de satélites visibles, la precisión de la localización también mejora. Las órbitas de los satélites del GPS están inclinadas aproximadamente 55° respecto al ecuador, lo que, junto con la distribución estratégica de la constelación de satélites, garantiza que siempre haya entre 5 y 8 satélites visibles en cualquier momento desde cualquier ubicación en la Tierra (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

El sistema está diseñado para asegurar que al menos cuatro satélites sean accesibles con una recepción de señal configurada a 15° por encima del horizonte, sin importar el lugar. A pesar de que el GPS es capaz de proporcionar ubicaciones extremadamente precisas, existen varias fuentes de error que pueden afectar su exactitud. Estas incluyen desajustes en los relojes de los satélites, retrasos causados por la atmósfera, imprecisiones en la ubicación exacta de los satélites en sus órbitas, reflejos de señales en objetos sobre la superficie terrestre, e incluso la intencional degradación de las señales por parte de los satélites en algunos casos (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

1.4.3.1.2 Segmento de control

Las estaciones de monitoreo son responsables de recibir las señales emitidas por los satélites y de calcular con alta precisión la órbita exacta de cada uno. A partir de la información obtenida, se detectan y corrigen los errores presentes en los datos orbitales de cada satélite (conocidos como ephemeris data). Una vez realizados estos cálculos, la información corregida se envía nuevamente a los satélites para garantizar que la precisión de su órbita se mantenga actualizada casos (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

El segmento de control del sistema es el encargado de gestionar y supervisar todo el proceso, asegurando el correcto funcionamiento del GPS. Este segmento está compuesto por cinco estaciones de control distribuidas estratégicamente en diferentes partes del mundo, cada una con una precisión extraordinaria. Estas estaciones se encuentran ubicadas en Hawái, Colorado

Springs, la Isla de Ascensión en el Atlántico Sur, Diego García en el Océano Índico y Kwajalein en el Pacífico Norte (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

Estas estaciones realizan un monitoreo constante y exhaustivo de los satélites, lo que les permite ajustar y modificar la información que los satélites transmiten si es necesario. Gracias a su labor, se asegura que los satélites del sistema GPS puedan operar con la máxima precisión, corrigiendo cualquier desviación en tiempo real y manteniendo la fiabilidad del sistema de posicionamiento global casos (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

1.4.3.1.3 Segmento de usuarios

Este segmento está compuesto por todos los usuarios del sistema GPS y los dispositivos receptores que utilizan para recibir las señales emitidas por los satélites. Estos receptores emplean la información recibida para calcular la posición exacta de un punto o de un objeto en movimiento. Utilizando las señales de al menos cuatro satélites, un receptor GPS puede determinar la posición en un espacio tridimensional (X, Y, Z) y también obtener la hora exacta en formato UTC (Tiempo Universal Coordinado). La aplicación principal del sistema GPS es la navegación tridimensional, proporcionando datos precisos sobre la ubicación y el tiempo (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

El sector usuario del GPS abarca una amplia variedad de equipos y dispositivos diseñados para recibir las señales de los satélites y utilizarlas en diversas aplicaciones, tales como el posicionamiento, la navegación y la determinación precisa del tiempo. El GPS se utiliza en una gran cantidad de disciplinas y sectores, como la geodesia, la geofísica, la geodinámica, la astronomía, la meteorología, la topografía y la cartografía. También es esencial en la navegación marina, aérea y terrestre, en la sincronización de relojes, el control de flotas y maquinaria, la localización automática de vehículos y en la exploración y deportes de aventura.

El segmento usuario incluye los receptores GPS que capturan las señales enviadas por los satélites y las procesan para calcular la posición del receptor. Esto se logra tomando como base la velocidad de la luz y el tiempo que tarda la señal en llegar desde el satélite hasta el receptor. Al calcular las pseudodistancias entre cada satélite y el receptor, este proceso permite determinar las coordenadas espaciales (X, Y, Z) y el tiempo exacto, utilizando la información de al menos cuatro satélites, todos sincronizados en un tiempo común. De este modo, el receptor GPS puede ofrecer datos precisos de ubicación y tiempo en tiempo real (U.S. Department of Homeland Security, 2022).

1.5 Matrices de transición

Las matrices de transición son parte de una metodología útil para identificar los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo, estas se obtienen a través de superponer al menos dos mapas de cobertura/uso del suelo de fechas diferentes y analizar los datos resultantes a través del acomodo matricial de los mismos, con lo que se permite identificar de manera eficiente los cambios entre categorías, dicha matriz se ordena de tal forma, que la categorías de fecha inicial (t1) se acomodan en los renglones y las categorías de fecha final (t2) en las columnas, con lo cual solo la diagonal de la matriz muestra la cantidad total del paisaje estable entre una fecha y otra, y el resto corresponde a todas las combinaciones posibles de intercambio entre categorías (Pontius et al, 2004).

1.5.1 Tasas de cambio de cobertura/uso de suelo

La tasa de cambio es un indicador fundamental para evaluar tanto la magnitud como la velocidad de los procesos de transformación en los ecosistemas. Su análisis resulta crucial para comprender la dinámica subyacente de estos cambios y sus impactos en el medio ambiente (Velázquez et al., 2002). A través de este indicador, se puede obtener una visión detallada de cómo las variaciones en el uso y la cobertura del suelo afectan los equilibrios ecológicos. Para cuantificar estos cambios, se realiza un análisis detallado de la dinámica de la cubierta vegetal en función del espacio y el tiempo, lo que permite observar patrones, tendencias y efectos a lo largo de distintos períodos y regiones.

En este contexto, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) propone una fórmula que calcula el cambio en porcentaje de la superficie de un área en comparación con el año inicial, lo que proporciona una herramienta útil para evaluar las transformaciones en la cobertura del suelo (FAO PNUMA, 2020). Este enfoque metodológico no solo ofrece un marco riguroso para monitorear y evaluar los cambios en el medio ambiente, sino que también constituye una base sólida para tomar decisiones fundamentadas sobre la gestión, conservación y restauración de los recursos naturales.

La FAO (1996) propone la siguiente fórmula que expresa el cambio en porcentaje de la superficie del año inicial:

$$tc = (((S2/S1)\,(1/t))) * 100) - 100$$

Donde:
tc = tasa de cambio (en %)
$S1$ = superficie en la fecha inicial
$S2$ = superficie en la fecha final
t = diferencia de años entre fecha inicial y final

El análisis de la tasa de cambio no solo es fundamental para comprender los procesos de transformación de los ecosistemas y el territorio, sino que también desempeña un papel esencial en la toma de decisiones informadas relacionadas con la gestión y conservación de los recursos naturales. Al examinar la magnitud y los patrones de cambio a lo largo del tiempo, se obtiene una visión detallada de las dinámicas que afectan el entorno, lo que permite identificar tendencias, vulnerabilidades y oportunidades para mejorar la gestión ambiental. Este conocimiento profundo es crucial para diseñar estrategias de manejo más efectivas y adaptativas, orientadas no solo a mitigar los impactos negativos sobre los ecosistemas, sino también a fomentar un uso más responsable y sostenible del territorio.

Además, el análisis de la tasa de cambio proporciona las herramientas necesarias para ajustar las políticas de conservación y restauración de manera más precisa, ya que facilita la identificación de áreas críticas que requieren intervención urgente. La priorización de estas zonas se realiza con base en una comprensión detallada de los cambios que están ocurriendo, lo que garantiza que los esfuerzos de protección y restauración se dirijan a las áreas con mayor riesgo o con los impactos más graves. Este enfoque no solo optimiza los recursos destinados a la conservación, sino que también asegura que las políticas implementadas sean más efectivas en términos de resultados ambientales.

Asimismo, el análisis continuo de la tasa de cambio se convierte en una herramienta valiosa para evaluar la eficacia de las políticas a lo largo del tiempo, permitiendo ajustes oportunos y la implementación de medidas preventivas frente a posibles amenazas o cambios inesperados. En conjunto, este tipo de análisis se convierte en un pilar fundamental para la creación de un marco de gestión ambiental que sea dinámico, proactivo y capaz de garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los recursos naturales.

1.5.2 Índices de cambio

Tradicionalmente, la localización y cuantificación de los cambios en la ocupación del suelo se han realizado mediante la sobreposición cartográfica y el uso de matrices de transición. Esta metodología permite generar mapas y tablas de cambio que proporcionan una representación visual y cuantitativa de la magnitud y distribución espacial de la dinámica del cambio, facilitando así la comprensión de cómo evoluciona el uso del territorio a lo largo del tiempo. A través de estos enfoques, es posible identificar patrones y tendencias que informan sobre las transformaciones en la cobertura del suelo, lo que resulta crucial para la planificación y gestión territorial (Pontius et al, 2004).

A pesar de ser una técnica ampliamente empleada en estudios de dinámica del uso del suelo, la matriz de transición, en muchos casos, no es sometida a un análisis exhaustivo, lo que puede limitar su capacidad para ofrecer una comprensión precisa y detallada de los procesos involucrados. Aunque esta herramienta proporciona una visión general de los cambios ocurridos, los análisis realizados a partir de los datos derivados de la matriz de transición pueden, en ocasiones, llevar a interpretaciones incorrectas o simplificadas de la dinámica real de los cambios en la ocupación del suelo (Pontius et al, 2004). Esto ocurre principalmente cuando no se considera adecuadamente el contexto temporal, espacial o las interacciones complejas entre los diferentes tipos de uso del suelo.

Además, la matriz de transición por sí sola no captura todos los aspectos relevantes de los cambios, como las causas subyacentes o los factores socioeconómicos que influyen en las transformaciones del territorio. Sin un análisis profundo y crítico de los datos, existe el riesgo de pasar por alto patrones importantes, como la influencia de políticas de uso de la tierra, cambios en la demografía o factores económicos que podrían estar impulsando los cambios en la ocupación del suelo de manera significativa (Pontius et al, 2004).

Por lo tanto, es fundamental complementar el uso de matrices de transición con otras herramientas de análisis y enfoques metodológicos que permitan una comprensión más holística y precisa de los procesos de cambio en el uso del suelo. Solo a través de un análisis detallado y riguroso de los datos se podrá interpretar adecuadamente la dinámica de estos cambios, evitando conclusiones erróneas que puedan afectar la toma de decisiones en la gestión y conservación de los recursos naturales.

Por este motivo, el presente trabajo incorpora información adicional con el fin de profundizar en el conocimiento sobre los procesos que potencialmente determinan los patrones de cambio en la cobertura del suelo. En este contexto, Pontius et al. (2004) propusieron un método basado en el uso de matrices de transición (ver Tabla 2), que permite analizar los cambios territoriales desde un nivel general hasta un enfoque más detallado. Este método distingue distintos componentes del cambio: ganancia, pérdida, intercambio, persistencia, cambio neto y cambio total.

Tabla 2. Matriz de transición

		Tiempo 2					
		Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Total tiempo 1	Pérdidas
Tiempo 1	Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
	Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
	Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
	Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	$P+$	$P_{4+} - P_{44}$
	Total tiempo 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}		
	Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Fuente: Elaboración propia basada en los datos de Pontius et al. (2004)

1.6 Modelos Estadísticos de probabilidad

La importancia de la estadística aplicada en el desarrollo de investigaciones se ha expandido a diferentes campos de estudio y cada vez son más utilizados para generar muestreos, modelos de simulación, modelación estadística y análisis de datos.

Los modelos surgen del análisis de las variables que intervienen en ese sistema y de las relaciones existentes entre ellas. Estos vienen a ser el resultado de la abstracción de diversas variables, que representan el interés de las cualidades de un estudio determinado (Oviedo, Camargo y Narváez, 2010).

Esta técnica de representación ayuda a explicar, entender y mejorar un sistema, dándonos la posibilidad de generar datos, con el propósito de realizar escenarios de predicción, mediante la variación de las variables de control (Mateo et al. 2011).

Un modelo puede definirse como una representación formal de un sistema real, diseñada con el propósito de mejorar su comprensión, facilitar la predicción de su comportamiento y apoyar su control. Existen distintos tipos de modelos, entre los que se encuentran los físicos (basados en variables medibles), los análogos (como los diagramas de flujo) y los simbólicos, que incluyen representaciones matemáticas, lingüísticas o esquemáticas. Dentro de estos últimos, los modelos matemáticos o cuantitativos se expresan mediante un conjunto de símbolos y relaciones lógico-matemáticas (Mateo et al., 2011).

En esencia, los modelos constituyen abstracciones de la realidad. Al construirlos, es necesario enfrentar los resultados derivados de las suposiciones estructurales y dinámicas que han sido incorporadas en dichas abstracciones (Oviedo, Camargo y Narváez, 2010). Por ello, el proceso de modelado no solo implica representar un fenómeno, sino también reflexionar críticamente sobre las limitaciones y alcances de esa representación.

En el contexto de la modelación ecológica, es fundamental distinguir entre dos conceptos clave relacionados con la distribución de las especies: la distribución real (u ocurrencia) y la distribución potencial. La distribución real hace referencia a los lugares específicos donde se ha observado o colectado una especie, mientras que la distribución potencial identifica aquellas áreas que

presentan condiciones ambientales similares a las del hábitat actual de la especie, y que, por tanto, podrían ser adecuadas para su presencia (Mateo et al., 2011).

Los modelos de distribución de especies pueden generarse, en principio, con cualquier clasificador estadístico apropiado para el tipo de variable modelizada, dicotómica si tenemos datos de presencia/ausencia y continúa si son datos de abundancia (Mateo et al. 2011).

Para estos estudios existen técnicas diferentes las cuales tienes sus pros y contras por lo que conocerlos es importante, entre las técnicas que existen son las discriminantes, las descriptivas y las mixtas (Mateo et al. 2011).

A) Técnicas discriminantes. Son aquellas que necesitan datos de presencia y ausencia para construir el clasificador (Mateo et al. 2011). Pueden subdividirse a su vez en:

- Árboles de clasificación
- Técnicas de ordenación, como el análisis de correspondencia canónica (CCA)
- Redes neuronales (ANN), assisted neural network
- Multivariate adaptive regression splines (MARS)
- Modelos lineales generalizados (GLM)
- Modelos aditivos generalizados (GAM)
- Regresión por cuantiles
- Estadística bayesiana
- Máxima entropía, entre los que destaca Maxent genera sus propias ausencias.

B) Técnicas descriptivas. Estas técnicas, que solo requieren datos de presencia, fueron las primeras utilizadas en modelización (Mateo et al. 2011).

- Deductivas, como la opinión del experto
- Envueltas geográficas o convex hull
- Envueltas ambientales, como BIOCLIM, ANUCLIM, BIOMAP, HABITAT o FLORAMAP
- Métodos de distancias matemáticas, como DOMAIN, que utiliza la distancia de Gower o Biomapper, ENFA, LIVES y MADIFA, que se basan en la distancia de Mahalanobis.
- Expectation-Maximization Algorithm (EM).

C) Técnicas mixtas. Estos métodos emplean varias reglas, algunas de ellas descriptivas y otras discriminantes, a la vez que generan sus propias pseudoausencias; Desktop-GARP y OM-GARP son los mejor y más ampliamente conocidos. A partir de los modelos individuales obtenidos con diferentes métodos se pueden generar “modelos de consenso”, en los que el modelo final indica el grado de coincidencia entre varios modelos; BIOMOD es una herramienta programada específicamente para la generación de modelos de consenso (Mateo et al. 2011).

La utilidad de los modelos varía y difiere según el objetivo, así como la forma de utilidad que se le da en la vida diaria, por lo que puede ser usado en diferentes ámbitos, Freedman (2009) menciona que pueden ser por:

- El pensamiento: Al construir un modelo necesariamente se debe ordenar y completar el conocimiento que se tiene del sistema real.
- La comunicación: Un modelo elimina la ambigüedad del lenguaje para comunicarse con expertos.
- El entrenamiento y la instrucción: un modelo puede ser utilizado para entrenar con costo y riesgo casi nulos.
- La predicción: un modelo sirve para predecir la conducta del sistema real.

- La experimentación: la experimentación con un modelo es barata y segura, se emplea frecuentemente en el diseño de un sistema.

1.6.1 Clasificación de los modelos

Los modelos se pueden clasificar en varios tipos, pero esto depende de su aplicación, por lo que pueden variar por su tiempo de duración, su aleatoriedad, su estructura y su evolución (Freedman, 2009).

Según la evolución del tiempo:

a) Dinámicos: Al transcurrir el tiempo todos o algunos de sus atributos son modificados o cambiados. Son utilizados para representar sistemas cuyo estado varía con el tiempo (Freedman, 2009)
b) Estáticos: Modelos en el que los atributos no cambian o modifican durante el tiempo que se lo utiliza. Son aquellos modelos que no toman en cuenta, explícitamente, a la variable tiempo (Freedman, 2009)

Según aleatoriedad

Determinísticos: son modelos donde la solución para determinadas condiciones es única y siempre la misma. Existe estricta casualidad, por lo tanto, se puede hablar de variables dependientes e independientes (Freedman, 2009)

Estocásticos: Representan sistemas donde los hechos suceden al azar, lo cual no es repetitivo. No se puede asegurar cuales acciones acurren en un determinado instante. Se conoce las probabilidades de ocurrencia y su distribución probabilística. Se habla de casualidad y por consiguiente de las variables controlables y las incontrolables (Freedman, 2009)

Según la estructura

Icónicos: estos modelos representan al mundo físico mediante una imagen. El modelo puede ser una verdadera reproducción del sistema estudiado, pero a escala diferente. Un ejemplo de modelo icónico es una maqueta, donde se ha establecido una reducción de tamaño conservando las relaciones dimensionales básicas (Freedman, 2009).

Análogos: Poseen algunas propiedades similares a los objetos representados, pero sin ser un replica morfológica de los mismos. Normalmente, para su construcción se utiliza un conjunto de convenciones que sintetizan y codifican propiedades del objeto real para facilitarla lectura o interpretación de estas (Freedman, 2009).

Simbólicos: estos modelos representan la máxima abstracción y, por supuesto, la máxima generalidad; puede decirse que son universales. Esta denominación suele aplicarse al caso en los que el objeto real se presenta mediante una codificación matemática (Freedman, 2009).

Según el cambio de estado en el tiempo

Continuos: representan sistemas cuyos cambios de estado son graduales. Las variables intervinientes son continuas (Freedman, 2009).

Discretos: representa sistemas cuyos cambios de estados son de entradas. Las variables varían en forma discontinua (Freedman, 2009).

1.6.2 Clasificación de los métodos según la temporalidad

1) Análisis bitemporal: Es un análisis de tipo cualitativo o cuantitativo en el que se emplean solamente imágenes de dos fechas. En esta clasificación se incluyen las técnicas de diferencia de imágenes, proporción de imagen, diferencia de regresión, análisis de vectores de cambios (análisis entre dos imágenes), calidad de datos (cruce de tablas y/o cruce de clasificación) (Eastman, 2003).

2) Análisis multitemporal: Esta clasificación presenta también un análisis cualitativo o cuantitativo de las imágenes, pero, a diferencia de la clasificación anterior, éstos varían en el número de fechas de análisis empleadas (más de dos), y se emplean técnicas estadísticas de series de tiempo para su análisis. Dentro de esta técnica se incluye el análisis de series de tiempo, correlación de series de tiempo, perfiles de tiempo, desviación de la imagen y análisis de vectores de cambio II (diferencia entre dos series) (Eastman, 2003).

3) Predicción de cambios a futuro: Son técnicas que determinan probabilidades de cambio, donde la predicción espacial explica los cambios detectados posibles. Dentro de estas técnicas se incluyen las cadenas de probabilidad de análisis de Márkov, autómatas celulares y análisis multicriterio (Eastman, 2003).

1.6.3 Modelos analógicos y modelos digitales

Los modelos pueden también variar por su sistema de salida, ya sea digital o analógico.

Analógicos: son modelos que están codificados en cifras. Son modelos físicos, como los ya mencionados como una maqueta como modelo icónico, o un mapa convencional como modelo análogo.

Digitales: los modelos digitales son, por tanto, modelos simbólicos y para construirlos es necesario un proceso de codificación de la información, que permite una representación virtual mediante por medios informáticos.

1.6.4 Modelos de predicción

En las últimas décadas, y en el marco de un creciente de interés por la modelización de fenómenos complejos, los modelos predictivos del crecimiento urbano basados en Autómatas Celulares han experimentado una gran importancia (White & Engelen, 1997; Berling & Wu, 2004). Para White (1997) estos autómatas celulares, puede entrar como sistemas espaciales dinámicos muy simples en los que el estado de cada celda depende de los estados previos de celdas vecinas, de acuerdo de un conjunto de reglas de transición.

Estos modelos se han vuelto tan populares gracias a su manejabilidad, su capacidad de generar dinámicas que producen bien los procesos tradicionales de cambio basados en la difusión, pero además porque son capaces de reproducir fenómenos que muestran complejidad desde el punto

de vista de dinámicas determinísticas no lineales, pudiendo simular algunos procesos de cambio, estos usan los autómatas celulares.

Los autómatas celulares son sistemas dinámicos discretos cuyos elementos tienen una interacción constante entre sí tanto en el espacio como en el tiempo. Los autómatas celulares tienen la capacidad de representar comportamientos complejos a partir de una dinámica sencilla. Debido a esto, desde su origen se les ha utilizado como elementos de la computación para la modelación de fenómenos biológicos y físicos. Además, los autómatas celulares son estudiados como objetos matemáticos.

Un autómata celular es un modelo matemático que evoluciona en pasos discretos, y que normalmente se utiliza para simular sistemas de entidades naturales o artificiales que interactúan entre sí. Desde el origen de la teoría del autómata celular, gracias a Von Neumann, los autómatas celulares han sido ampliamente utilizados para resolver problemas relacionados con los sistemas complejos y, sobre todo, para implementar todo tipo de simulaciones naturales o artificiales (Jiménez, Chávez y Garrocho, 2018).

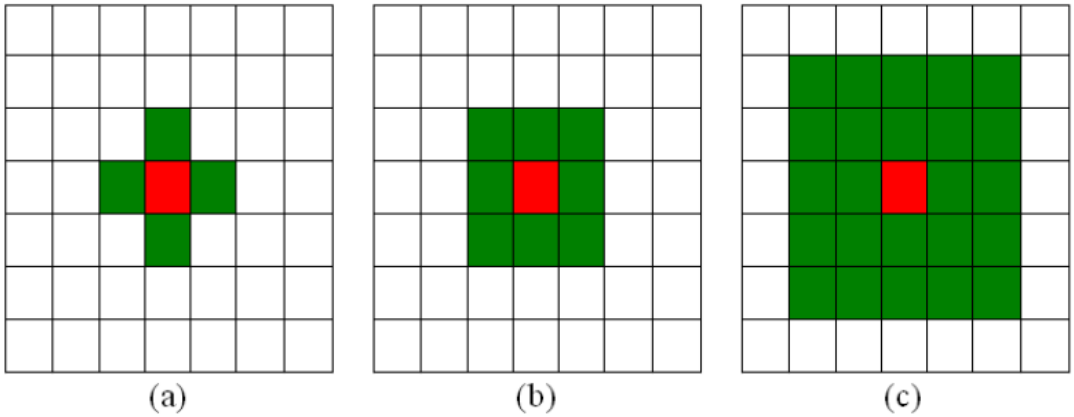
1.6.5 Los autómatas celulares

Un autómata celular es un modelo matemático que consiste en una malla de celdas distribuidas normalmente en forma de matriz bidimensional (Jiménez, 2019). Su precursor fue John Von Neumann a mediados del siglo XX, y tiene las siguientes características básicas:

Estados: cada celda toma un valor alfanumérico que corresponde con su estado actual. Existe un conjunto finito de estados posibles (Jiménez, 2019).

Vecindad: conjunto de celdas que interactúan con la actual.
Los tipos de vecindad más comunes de los autómatas celulares: (a) 4 vecinos (vecindad de Von Neumann), (b) 8 vecinos (vecindad de Moore) y (c)24 vecinos (vecindad de Moore extendida) (Jiménez, 2019) (ver Figura 3).

Figura 3. Comportamiento de los autómatas celulares



Fuente: Jiménez, 2019

Reglas: la función de transición f utiliza un conjunto de reglas, que especifican cómo cambian los estados de las celdas dependiendo de los valores de entrada que se introduzcan (Jiménez, 2019).

Iteraciones: la función de transición f se aplica a cada celda de la malla a través de varias iteraciones (Jiménez, 2019).

Las celdas del autómata celular cambian su estado de manera discreta en el tiempo. En cada iteración, se comprueban todas las celdas y se aplican las reglas. Dichas reglas se aplican a través de la función de transición f a cada celda, teniendo en cuenta no solo su estado, sino también el de su vecindad. Por lo tanto, los autómatas celulares sufren un proceso de evolución a lo largo de la ejecución de las distintas iteraciones, ya que los estados de las celdas cambian durante dicha ejecución. Desde este punto de vista, durante las últimas décadas, los autómatas celulares se han convertido en una técnica muy potente para resolver problemas de simulación.

Los autómatas celulares se han aplicado para resolver una gran variedad de problemas de diversos tipos: un modelo basado en autómatas celulares para crear terapias contra la infección del virus VIH, un sistema para comprender el crecimiento urbano, un modelo de migración de bancos de peces, un modelo basado autómatas celulares aplicado al mundo de los videojuegos, un modelo que simula una población infectada por una plaga periódica, un sistema basado en autómatas celulares para simular fluidos de lava, un modelo de ecosistema de vida artificial, un sistema para realizar simulaciones de enfermedades, un modelo que simula el flujo de agua en} un canal de riego un modelo para la competición y evolución de especies, sistemas para el estudio de la enfermedad del cáncer basados en autómatas celulares, simulación del tráfico tanto de vehículos en ciudades como de trenes en vías de ferrocarril, simulación de avalanchas de nieve, un sistema de iluminación modular, nuevos sistemas criptográficos basados en autómatas celulares y autómatas celulares cuánticos aplicados tanto a la simulación de campos magnéticos macroscópicos como a la mejora de la eficiencia de algoritmos.

1.6.5.1 Clasificación de los autómatas celulares

Stephen Wolfram, basándose en el comportamiento dinámico de los autómatas celulares unidimensionales, los clasifico en cuatro tipos distintos:

Tipo 1: el comportamiento del autómata celular es predecible, ya que todas las configuraciones evolucionan hacia un estado estable, independientemente de cuál sea la configuración inicial, con lo que los patrones desaparecen (Wolfran, 1983).

Tipo 2: el autómata celular tiene un comportamiento periódico, ya que evoluciona hacia estructuras periódicas. Si se produce un cambio en un valor de la situación inicial, sólo afecta a una región finita a su alrededor (Wolfran, 1983).

Tipo 3: el comportamiento del autómata celular es caótico, y pequeños cambios en la configuración inicial provoca evoluciones distintas (Wolfran, 1983).

Tipo 4: es el tipo más impreciso, donde se engloban sobre todo autómatas celulares que caen en un atractor después de pasar por una amplia fase evolutiva (Wolfran, 1983).

Los autómatas celulares también se dividen respecta a su dimensión en dos los unidimensionales y los bidimensionales.

Los autómatas celulares unidimensionales son aquellos que tienen una sola dimensión espacial, aunque realmente se representan en forma matricial. Cada generación del autómata celular unidimensional está representada por un renglón de la matriz, donde la primera generación

corresponde con el primer renglón y las siguientes se ubican de manera correlativa (Wolfran, 1983).

Los autómatas celulares bidimensionales son aquellos en los que las celdas se sitúan en un universo plano de dos dimensiones, es decir, una cuadrícula bidimensional, de tal modo que cada celda tiene 8 vecinos adyacentes. Una de las aplicaciones más conocidas de los autómatas celulares bidimensionales es el llamado juego de la vida diseñado por el matemático John Horton Conway en 1970, y publicado en la columna de juegos matemáticos de la revista Scientific American por Martin Gardner. Dicha publicación fue de gran interés para diversos campos de la ciencia, sobre todo en el ámbito de las matemáticas y la economía, debido a la gran variabilidad que ofrece el algoritmo en la evolución de los patrones. Como su propio nombre indica, el juego de la vida es un algoritmo basado en un autómata celular bidimensional que simula el proceso mismo de la vida, donde cada celda de la matriz puede realizar las acciones fundamentales de cualquier ser vivo (Wolfran, 1983).

1.6.6 Cadenas de Márkov

Las cadenas de Márkov son una colección de mapas de transición de cambios por categoría, aunado a las matrices de probabilidad de cambio y de áreas (Eastman, 2003). Este algoritmo calcula la probabilidad de que un área determinada adquiera cierta condición (cambio) en un tiempo 2 (futuro) y, en función de su estado, en el tiempo 1 (pasado).

El proceso se define como:

$$Vt2 - M \times Vt1$$

Donde:
Vt2 = mapa de salida (tiempo 2)
Vt1 = mapa de categorías de entrada (tiempo 1)
M = matriz de probabilidad de transición para el intervalo de tiempo (Δt)
(Δt): $\Delta t = t2-t1$
Donde:
t2 es el tiempo 2
t1 es el tiempo 1

Con este algoritmo se puede simular el comportamiento, mediante una matriz de probabilidad de transición que describe la probabilidad de que un píxel específico mantenga su estado actual o cambie a otro estado diferente. Esta matriz se deriva del cruce de dos imágenes temporales, ajustadas según el error proporcional, lo que permite estimar con mayor precisión las probabilidades de cambio. A partir de esta matriz, se generan las imágenes de probabilidad condicional, las cuales reflejan la probabilidad de que cada tipo de cobertura del suelo pertenezca a una clase determinada en el futuro cercano. Estas probabilidades están condicionadas por el estado actual de la cobertura, lo que permite prever las posibles transformaciones del paisaje bajo ciertas condiciones.

La proyección del uso del suelo mediante autómatas celulares y cadenas de Márkov se basa en la suposición o simulación de la dinámica de los elementos espaciales (generalmente representados por píxeles que abarcan áreas de terreno) depende tanto del estado actual de cada elemento como de un factor de proximidad influenciado por el estado de sus vecinos inmediatos.

Este enfoque permite modelar la evolución del uso del suelo considerando no solo su situación actual, sino también las interacciones espaciales que ocurren en su entorno. Ya que simula un escenario que pueda pasar respecto a la información ingresada y hay que recordar que la simulación es una técnica de muestreo estadístico controlado, también conocida como experimentación, que se utiliza junto con un modelo para obtener respuestas aproximadas a problemas probabilísticos complejos. Este enfoque debe seguir los principios del diseño de experimentos para garantizar que los resultados obtenidos sean válidos y puedan conducir a interpretaciones significativas sobre las relaciones de interés.

La construcción y ejecución de un modelo de simulación permite observar el comportamiento dinámico de un sistema bajo condiciones controladas, y llevar a cabo experimentos para comprobar o refutar hipótesis sobre el sistema en cuestión. En su esencia, la simulación involucra tres componentes principales: el sistema (la parte del mundo real que se desea estudiar), el modelo (una representación simplificada y abstracta de ese sistema) y el computador (herramienta que permite ejecutar el modelo y analizar los resultados). Este proceso es clave para comprender la dinámica de sistemas complejos y tomar decisiones informadas en base a simulaciones que imitan el comportamiento real.

1.6.7 Análisis multicriterio

La evaluación multicriterio es un conjunto de técnicas utilizadas en la toma de decisiones multidimensionales y los modelos de evaluación dentro del campo de la toma de decisiones complejas (Barredo y Bosque, 1999). Este enfoque permite abordar problemas que involucran múltiples criterios, proporcionando un marco estructurado para evaluar diversas alternativas en función de varios factores relevantes. La toma de decisiones multicriterio no debe ser vista como un proceso aislado, sino como un vasto mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos que facilitan a los centros de decisión la tarea de describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar alternativas, en función de una evaluación integral que considera múltiples aspectos. Esta evaluación se expresa mediante puntuaciones, valores o intensidades de preferencia, dependiendo de los criterios establecidos (Barredo y Bosque, 1999).

En el análisis multicriterio, existen dos elementos clave que estructuran el proceso de evaluación: los factores y las restricciones. Los factores son los aspectos que influyen en la valoración de cada alternativa como solución al problema planteado, ya sea incrementando o reduciendo dicha valoración. Estos factores pueden ser tanto cuantitativos (basados en datos numéricos) como ordinales (basados en rangos o posiciones relativas). Por otro lado, las restricciones son los aspectos de la realidad que delimitan el conjunto de alternativas aceptables, determinando cuáles son viables y cuáles no lo son como soluciones al problema. Las restricciones son, por naturaleza, binarias, es decir, definen si una alternativa cumple o no con los requisitos mínimos para ser considerada una solución válida.

El análisis multicriterio se aplica habitualmente a través de una matriz de evaluación, que se organiza en una tabla de doble entrada. En las filas de esta matriz se encuentran las distintas alternativas disponibles, mientras que en las columnas se listan los criterios considerados relevantes para evaluar cada una de las alternativas. Este enfoque proporciona una forma estructurada de comparar y contrastar diferentes soluciones posibles, permitiendo visualizar las fortalezas y debilidades relativas de cada opción en función de los criterios seleccionados.

Un aspecto crucial en la evaluación multicriterio es la normalización de los criterios y variables, ya que los datos utilizados pueden ser de diferentes tipos, como ordinales, nominales o

cuantitativos. La normalización permite estandarizar los valores de los criterios, de modo que se pueda comparar de manera coherente y objetiva la relevancia de cada alternativa. A pesar de que se puede trabajar con datos de tipos diversos, es esencial que estos sean valorables de forma descriptiva para facilitar una interpretación adecuada y una toma de decisiones informada.

En la práctica, es común que muchas de las variables influyentes en el análisis sean de tipo nominal, como categorías o clasificaciones que no tienen un valor cuantitativo directo. En estos casos, es necesario transformar estas variables nominales en factores cuantitativos para poder integrarlas en el análisis. Para realizar esta conversión, existen diversos procedimientos y métodos, uno de los más utilizados es el método de Saaty (1980), que es particularmente popular en la Teoría de la Decisión Multicriterio. Este método permite asignar valores numéricos a las variables cualitativas mediante un proceso de comparación de pares, facilitando así la integración de estos datos en la matriz de evaluación y permitiendo realizar una valoración más precisa y fundamentada de las alternativas.

Para aplicar la matriz de Saaty (1980), lo primero que se debe hacer es identificar y establecer los criterios o alternativas relevantes del problema en cuestión, es decir, aquellos factores que se evaluarán en el proceso de toma de decisiones. Estos se definen mediante la recolección de información con expertos del tema y valoran la importancia entre factores de menor a mayor mediante la siguiente clasificación.

Extrema	Fuerte	Moderada		Igual	Moderada		Fuerte	Extrema
1/9	**1/7**	**1/5**	**1/3**	**1**	**3**	**5**	**7**	**9**

Esta información es clave, ya que permite asignar prioridades entre las variables implicadas, y a partir de ella, se establecerá si existe alguna relación entre pares de variables, evaluando su importancia relativa en términos de comparación directa. Dichas relaciones pueden ser descritas mediante diferentes niveles de intensidad: igualdad (cuando ambas variables tienen el mismo peso), ligeramente más fuerte (cuando una variable es ligeramente más importante que la otra), muy fuerte (cuando una es considerablemente más importante), o extremadamente fuerte (cuando una variable tiene una influencia dominante sobre la otra).

Una vez que se ha determinado la relación de prioridades entre las variables, el siguiente paso es construir una matriz de comparación recíproca, en la cual se reflejan las comparaciones entre cada par de criterios, asignando valores numéricos específicos para cada relación establecida. Estos valores numéricos representan la intensidad de la preferencia de una variable sobre otra y se utilizan para calcular las ponderaciones relativas de cada criterio. Este proceso permite sintetizar la información recabada y transformar la percepción cualitativa de las relaciones en un formato cuantitativo, lo que facilita el análisis posterior (ver tabla 3).

Tabla 3. Matriz de Saaty

Factor	a	b	c	d
a	1			
b	P(b,a)	1		
c	P(c,a)	P(c,b)	1	
d	P(d,a)	P(d,b)	P(d,c)	1

Elaboración propia, basada en la metodología de Saaty (1980).

A partir de esta matriz, se pueden calcular las ponderaciones de los criterios, lo que finalmente ayuda a determinar cuál es el valor numérico asociado a cada variable o alternativa, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas y objetivas en contextos complejos.

En resumen, la evaluación multicriterio proporciona una metodología robusta para abordar problemas complejos que requieren considerar múltiples factores. A través de la estructura proporcionada por las matrices de evaluación y el uso de técnicas como la normalización y la conversión de variables nominales a cuantitativas, se pueden generar soluciones informadas que responden a las necesidades y objetivos específicos del proceso de decisión.

1.7 Estudios de cobertura forestal y uso de suelo a nivel internacional, nacional y estatal

Las áreas forestales desempeñan un papel crucial en la comprensión de las dinámicas ecológicas del planeta. En este sentido, la cobertura forestal no solo constituye un importante reservorio de carbono, sino que también cumple una función esencial en la mitigación del cambio climático, al contribuir significativamente a la regulación del ciclo global del carbono (Andrade et al., 2017). Dentro de los parámetros fundamentales para evaluar la cobertura arbórea, destacan la altura de los árboles y la densidad que ocupan en un territorio determinado, ya que estos factores son indicadores clave para monitorear los cambios y tendencias en el almacenamiento de carbono en los ecosistemas forestales, así como en los flujos de carbono terrestre (Yueting et al., 2021).

Comprender la expansión física de las coberturas arbóreas y su transformación frente a otros usos del suelo requiere una visión integral del pasado, una comprensión detallada del presente y la proyección hacia escenarios futuros. El conocimiento generado a partir de estudios centrados en las coberturas forestales ofrece un panorama general de los avances científicos en cuanto a conservación, manejo, aprovechamiento sostenible, cuantificación de recursos y modelación de escenarios, lo cual resulta fundamental para orientar la toma de decisiones ambientales.

En el presente capítulo se analizan diversos estudios centrados en la cobertura arbórea, con especial atención al cambio en la vegetación y el uso del suelo, tema comúnmente conocido como “Land Use and Land Cover” (LULC). Esta línea de investigación permite comprender cómo las coberturas vegetales han sido modificadas o reemplazadas por distintos usos del suelo, revelando patrones de transformación que responden a dinámicas naturales o a la intervención humana

Algunos estudios adicionales se centran en la modelación de escenarios, los cuales, en muchos casos, abordan la cobertura arbórea desde un enfoque matemático sin incorporar representaciones visuales como mapas o imágenes satelitales. Esto limita, en parte, la comprensión espacial y visual de los cambios, lo cual es crucial para la toma de decisiones territoriales.

Si bien todas estas áreas de conocimiento proporcionan información valiosa sobre las coberturas forestales, con frecuencia esta no se integra adecuadamente en estrategias de uso y manejo sustentable. Es precisamente en este punto donde las ciencias ambientales desempeñan un papel fundamental, al facilitar un análisis interdisciplinario que articula los distintos enfoques científicos y técnicos involucrados en el estudio de los ecosistemas forestales.

La integración de estas diversas disciplinas en un solo cuerpo de conocimiento representa una fuente de información poderosa para el desarrollo de análisis confiables y robustos. Por ello, es

de suma importancia conocer y revisar los trabajos más relevantes que abordan estas temáticas. En este capítulo, dichos estudios han sido organizados en tres categorías: trabajos internacionales, nacionales y estatales, con el objetivo de ofrecer una visión más clara y estructurada del estado actual del conocimiento en torno a la cobertura forestal.

Finalmente, otro aspecto relevante que se aborda en este capítulo es el marco jurídico que regula la conservación y el manejo de las áreas forestales. Si bien en muchos casos existen normativas que ofrecen soluciones viables, estas no siempre se aplican de manera efectiva. Por tanto, es fundamental comprender las características jurídicas principales, desde su alcance hasta sus limitaciones, especialmente en contextos específicos como el del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.

1.7.1 Estudios a nivel internacional

A nivel global, se han llevado a cabo numerosos estudios enfocados en el análisis del cambio de cobertura terrestre, siendo uno de sus principales componentes la detección de transformaciones en el uso del suelo y la vegetación. Estos estudios han cobrado relevancia creciente desde el lanzamiento del primer satélite de observación terrestre, el Earth Resources Technology Satellite en 1972, posteriormente conocido como Landsat 1 (Lambin, 2006). Este hito marcó un antes y un después en el monitoreo ambiental, al facilitar el acceso a imágenes satelitales periódicas que permitieron realizar análisis espaciales más precisos y sistemáticos sobre el estado y evolución del territorio.

La información generada a partir de estos avances tecnológicos ha contribuido significativamente a la comprensión de los patrones de cambio en ecosistemas y al crecimiento antrópico, proporcionando una base científica sólida para la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial, gestión de recursos y conservación ambiental. No obstante, el estudio detallado de los elementos que conforman estos cambios y su aplicación en contextos reales representa aún un desafío considerable, especialmente dentro de los procesos de planeación ambiental, que buscan armonizar el desarrollo humano con la conservación de los recursos naturales.

En este contexto, resulta fundamental examinar y sistematizar los trabajos más representativos que han abordado el análisis de cambios en la cobertura del suelo. A continuación, se presentan algunos de estos estudios, los cuales ilustran la evolución metodológica y el enfoque aplicado en distintas escalas geográficas y temporales.

Moreno et al. (2001) desarrollaron un modelo de valoración de la calidad del paisaje, aplicado específicamente a la zona costera de la Comunidad Autónoma de Cantabria, en España. El modelo se basa en la delimitación de unidades de paisaje mediante el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcView, permitiendo una representación espacial detallada del territorio. Posteriormente, dichas unidades son valoradas en función de diversos componentes del paisaje, muchos de los cuales fueron obtenidos a partir de la base de datos de usos del suelo Corine Land Cover, el cual es un inventario paneuropeo de cobertura del suelo con 44 clases temáticas, reconocida por su estandarización y amplia cobertura

El resultado final del modelo propuesto consistió en la categorización del territorio en distintas clases de calidad paisajística, generando así una herramienta eficaz para apoyar procesos de planificación territorial y evaluación del impacto ambiental. Esta categorización permite identificar zonas con alto valor paisajístico que requieren medidas de conservación, así como áreas con potencial para ser integradas en estrategias de ordenamiento territorial sostenible.

Para la asignación de pesos y puntuaciones a los distintos componentes evaluados, se utilizó el método Delphi, una técnica cualitativa de consulta a expertos que destaca por su flexibilidad y capacidad para alcanzar consensos objetivos en contextos complejos. Este enfoque metodológico fortaleció la validez del modelo, al incorporar la percepción de especialistas en paisaje y planificación ambiental.

Cabe destacar que se elaboró una base de datos con el modelo Corine Land Cover a una escala de 1:100,000, esta resulta especialmente adecuada para este tipo de estudios, ya que proporciona información detallada y homogénea no solo para el territorio español, sino también para el conjunto de los países miembros de la Unión Europea. Esta característica la convierte en una fuente confiable para la definición de unidades de paisaje a escala regional, facilitando comparaciones entre territorios y la integración en políticas ambientales de mayor alcance.

Rogan et al. (2003) llevaron a cabo un estudio de monitoreo del cambio en la cobertura del suelo mediante técnicas de clasificación supervisada, utilizando imágenes satelitales Landsat TM correspondientes a los años 1990 y 1996, complementadas con información histórica adicional. El área de estudio se localizó en una región del oeste del condado de San Diego, California (EE. UU.), caracterizada por una dinámica intensa de transformación del paisaje urbano-natural.

El análisis se desarrolló a partir de la fotointerpretación de las imágenes satelitales, validada con datos obtenidos en trabajo de campo, lo que permitió generar mapas de cambio de cobertura para tres niveles jerárquicos distintos de clasificación. Estos niveles ofrecieron distintos grados de detalle en la representación de las transiciones en el uso del suelo, con resultados de alta fiabilidad. La precisión de los mapas fue evaluada mediante el coeficiente estadístico Kappa, alcanzando valores del 87%, 89% y 75% para los tres niveles jerárquicos respectivamente. En términos generales, la precisión total de los mapas generados osciló entre el 72% y el 92%, lo que demuestra la solidez del enfoque metodológico utilizado.

Este estudio destaca por su enfoque multiescalar en la clasificación del cambio de cobertura, lo que permite una mejor comprensión de las transformaciones espaciales a distintos niveles de detalle. Además, demuestra el valor de combinar herramientas de teledetección con trabajo de campo para generar productos cartográficos confiables, útiles para la gestión ambiental, el ordenamiento territorial y la evaluación de impactos provocados por el crecimiento urbano y otras presiones antrópicas.

Rogan y Chen (2004) llevaron a cabo una revisión exhaustiva sobre el desarrollo y evolución de la Geomática a lo largo de tres décadas, haciendo especial énfasis en los avances tecnológicos y metodológicos que han transformado esta disciplina. Su análisis abarca desde la evolución de los sensores remotos instalados en satélites, hasta las innovaciones en las metodologías aplicadas a la clasificación de imágenes satelitales y otras técnicas clave para el procesamiento y análisis de datos geoespaciales.

Los autores destacan cómo estos avances han fortalecido significativamente la capacidad de la Geomática para contribuir al manejo, monitoreo y conservación de los recursos naturales. En particular, subrayan el papel de las herramientas de teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) en la generación de información crítica para la gestión ambiental, el análisis de cobertura y uso de suelo, y la modelación de escenarios futuros ante dinámicas de cambio climático, deforestación y urbanización.

Este trabajo representa una referencia importante para comprender la consolidación de la Geomática como una disciplina interdisciplinaria, al servicio de la sustentabilidad y la toma de decisiones basadas en evidencia espacial.

Lin et al. (2007) desarrollaron un enfoque integral al combinar un modelo de predicción de cambio de uso del suelo con un modelo hidrológico, con el fin de simular y evaluar los impactos potenciales sobre los futuros escenarios del paisaje y la dinámica hidrológica. Esta integración permitió analizar de manera conjunta los efectos del cambio en la cobertura del suelo sobre los procesos hidrológicos a escala regional. Para generar los mapas de probabilidad de cambio, los autores utilizaron los resultados de un análisis de regresión logística, complementado con el algoritmo del vecino más cercano, el cual facilitó una representación espacial más precisa de los patrones proyectados.

Durante el período simulado (1999–2020), se identificaron variaciones significativas en la distribución del uso del suelo: la superficie agrícola presentó una disminución del 0.36%, la cobertura forestal se redujo en un 1.77%, mientras que las áreas urbanas registraron un crecimiento del 2.37%, y los pastizales aumentaron ligeramente en un 0.24%. Estos resultados reflejan una clara tendencia hacia la urbanización, con implicaciones directas sobre la disponibilidad de recursos hídricos y la integridad ecológica del territorio.

Fan et al. (2008) realizaron un análisis detallado sobre los cambios en el uso y cobertura del suelo en la ciudad de Guangzhou, ubicada en el sur de China, durante el período comprendido entre 1998 y 2003. Para ello, utilizaron imágenes satelitales Landsat TM/ETM capturadas en la temporada seca, lo que permitió una mejor diferenciación de las coberturas del terreno. El estudio reveló que Guangzhou, considerada la ciudad más grande de la región meridional del país, ha experimentado una transformación acelerada de su paisaje urbano en los últimos años.

Este proceso de expansión urbana ha estado acompañado de una notable pérdida de áreas verdes y agrícolas, lo cual ha contribuido al deterioro del ecosistema local. Entre los impactos negativos identificados se encuentran la reducción de la biodiversidad, el incremento de la contaminación y una creciente presión sobre los recursos naturales, generando consecuencias ambientales adversas tanto a nivel local como regional. El estudio destaca la urgencia de implementar políticas de planificación territorial sustentable para mitigar estos efectos.

Hu et al. (2008) llevaron a cabo un análisis detallado de los patrones espaciales asociados a la expansión urbana en el área metropolitana de la ciudad de Jilín, ubicada en el noreste de China. Para este estudio, utilizaron fotografías aéreas correspondientes al año 1989 y con una escala de 1:10,000, así como imágenes satelitales SPOT del año 2005, también a escala 1:10,000. Mediante técnicas de fotointerpretación, se evaluaron los cambios en la cobertura del suelo, destacándose una significativa reducción de las áreas forestales, las cuales disminuyeron en un 5.27% durante el periodo analizado. Los resultados obtenidos presentaron una alta confiabilidad, evidenciando la utilidad de combinar imágenes multitemporales de alta resolución para estudiar procesos de urbanización acelerada.

Bahadur y Murayama (2009) desarrollaron un estudio centrado en la cartografía urbana de la ciudad de Tsukuba, Japón, utilizando técnicas de clasificación de imágenes satelitales. Durante el análisis, los autores identificaron que el mapeo de áreas urbanas presenta una mayor complejidad en comparación con zonas forestales o agrícolas, lo que motivó la necesidad de aplicar enfoques metodológicos más precisos y especializados. Para tal fin, evaluaron la eficacia de cuatro métodos distintos de clasificación: (1) clasificación no supervisada, (2) clasificación supervisada, (3) clasificación semi-supervisada y (4) comparación post-clasificatoria.

Posteriormente, realizaron trabajo de campo para recopilar datos verificados sobre la cobertura del suelo, lo cual permitió validar los mapas generados. Los resultados indicaron que el método de comparación post-clasificatoria fue el más efectivo, alcanzando un índice de confiabilidad Kappa del 89.33%, lo que resalta su potencial para aplicaciones urbanas de alta precisión.

Dewan y Yamaguchi (2009) evaluaron los cambios en la cobertura y uso del suelo con especial énfasis en la expansión urbana de la región metropolitana de Greater Dhaka, en Bangladesh. Para ello, emplearon una serie de imágenes satelitales multitemporales: Landsat MSS de 1975, Landsat TM de 1992 y Landsat ETM+ de 2003. Las imágenes fueron procesadas mediante clasificación automatizada, y los mapas resultantes fueron comparados utilizando matrices de cambio generadas mediante el método post-clasificatorio. La precisión de los mapas se situó entre el 85% y el 90%, lo que indica un alto grado de fiabilidad en los resultados obtenidos. Sin embargo, los autores señalaron que varias clases de cobertura fueron clasificadas incorrectamente debido a la similitud de sus firmas espectrales, una limitación común en los procesos de clasificación supervisada. Este estudio resalta la necesidad de técnicas más robustas y datos auxiliares para mejorar la exactitud en entornos urbanos complejos.

Rodríguez (2009), en su estudio titulado “Dinámica de Cambios en la Cobertura Vegetal (1975–2005)”, tuvo como objetivo principal analizar los patrones de transformación de la cobertura vegetal en un periodo de 30 años, identificando los municipios de Honduras más afectados por estos cambios, así como aquellos que han mantenido estabilidad en su cobertura. Para lograrlo, utilizó imágenes satelitales captadas por los sensores Landsat MSS, TM y ETM+ correspondientes a los años 1975, 1976, 1987, 2001 y 2005. Las imágenes fueron clasificadas y procesadas con apoyo de herramientas de teledetección, integradas posteriormente en un modelo de regresión logística.

Uno de los principales hallazgos del estudio fue que el factor demográfico resulta ser el elemento que más influye en la dinámica de cambio de la cobertura vegetal. El modelo arrojó un valor marginal (mfx = 0.49152424), lo cual indica que para el año 2005 existía una probabilidad del 49.15% de que el incremento poblacional incidiera directamente en la pérdida de vegetación, especialmente en los departamentos de Francisco Morazán, Olancho y El Paraíso. El estudio concluye que la evaluación de estos cambios en los ecosistemas, particularmente en los bofedales (humedales de altura), contribuye de manera significativa a cuantificar los costos ambientales derivados de su degradación.

Verdugo (2009), en su trabajo titulado “Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del Gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros”, se propuso analizar las transformaciones del paisaje urbano y rural derivadas del crecimiento urbano, así como proyectar escenarios de cambio para los años 2016 y 2025. Su objetivo fue proporcionar información útil para optimizar la planificación urbana, territorial y ambiental en la zona del Gran Valparaíso, Chile.

Para ello, el autor elaboró coberturas de uso del suelo a partir de imágenes satelitales LANDSAT TM correspondientes a los años 1989, 1998 y 2007, las cuales fueron procesadas mediante fotointerpretación. Los resultados revelan una expansión urbana constante y sostenida en el período analizado, con una clara tendencia al crecimiento futuro, de acuerdo con las simulaciones realizadas. Entre las comunas más afectadas por esta dinámica destaca Valparaíso, donde se proyecta una pérdida significativa de cobertura vegetal densa y semi densa en los escenarios futuros, consolidándose como una de las zonas con mayor vulnerabilidad ecológica frente al avance urbano.

Saldaña (2010), en su tesis titulada “Determinación del cambio de cobertura vegetal en el Área de Conservación Municipal ‘Bosques de Huamantanga’ utilizando imágenes del satélite”, tuvo como finalidad generar información base y evaluar los cambios en el uso y cobertura del suelo en dicha área, ubicada en el distrito de Jaén, región de Cajamarca, Perú. El estudio abarcó un total de 12,236.83 hectáreas y comparó dos periodos: el primero entre 1989 y 2000, y el segundo entre 2000 y 2006.

Durante el primer periodo, el área cubierta por vegetación natural aumentó en 2,356.94 ha (47.55%), mientras que en el segundo periodo disminuyó en 4,483.01 ha (61.29%). En cuanto al área dedicada a cultivos diversos y vegetación secundaria, se registró una reducción de 788.88 ha (36.14%) en el primer periodo y un incremento de 624.78 ha (44.81%) en el segundo. Los pastos cultivados y naturales aumentaron en ambos periodos: 605.16 ha (108.22%) y 1,733.10 ha (148.85%), respectivamente. Por otro lado, el área cubierta por nubes y sombras disminuyó en 2,173.21 ha (47.90%) durante el primer periodo y aumentó nuevamente en 2,125.13 ha (89.89%) en el segundo. Estos cambios reflejan una dinámica compleja en el uso del suelo, con implicaciones para la gestión y conservación del ecosistema local, especialmente en lo referente a la vegetación natural, que experimentó una expansión inicial seguida de una significativa reducción.

Zorogastúa et al. (2011) llevaron a cabo un estudio detallado sobre el cambio en la cobertura de suelo y el uso de la tierra en el bosque seco de la región Piura, Perú. El objetivo principal del estudio fue evaluar la dinámica espaciotemporal de este ecosistema, el cual ha experimentado transformaciones significativas debido a diversas presiones antrópicas. Para ello, se utilizó el procesamiento digital de imágenes satelitales captadas por el satélite LANDSAT 5 entre los años 1999 y 2001. Estas imágenes fueron procesadas a través de una clasificación supervisada, lo que permitió obtener resultados más precisos y confiables en comparación con los métodos tradicionales.

Se compararon los resultados obtenidos con un mapa de bosques secos previamente elaborado por el INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales) mediante la interpretación visual de imágenes satelitales de LANDSAT 5 correspondientes a los años 1986 y 1994. La clasificación de las imágenes de 1999 y 2001 alcanzó una precisión del 89%, lo que demuestra la fiabilidad del procesamiento digital frente a los métodos visuales. Al contrastar estos resultados con la clasificación realizada por INRENA, los autores pudieron evaluar la evolución de la cobertura forestal, identificando áreas que habían experimentado retrocesos y otras que habían mejorado su condición. En términos de dinámica espacial, el estudio reveló que un 38% del área del bosque seco permaneció sin variación significativa, mientras que un 13% experimentó una mejora en su cobertura y un 23% mostró signos de reducción. Este análisis subraya la capacidad del procesamiento digital de imágenes para acelerar el proceso de monitoreo y mejorar la precisión de los resultados, lo cual representa un avance considerable en la evaluación y gestión de los recursos naturales en la región.

Rodríguez (2011), en su tesis titulada “Deforestación y Cambio en la Cobertura del Suelo en Colombia: Dinámica Espacial, Factores de Cambio y Modelamiento”, aborda el análisis de los cambios en la cobertura y el uso del suelo en Colombia, con un enfoque específico en los procesos de deforestación que han afectado dos regiones contrastantes del país: los Andes y Guyana, durante el periodo comprendido entre 1985 y 2000. Este estudio tiene un enfoque espacial y temporal, utilizando modelos de LULC (Land Use and Land Cover), que permitieron evaluar y predecir los procesos de cambio en el uso del suelo, asociándolos a variables explicativas clave.

Para ello, se utilizaron imágenes satelitales para la interpretación de la cobertura del suelo, mientras que las variables explicativas incluyeron datos biofísicos y socioeconómicos, provenientes de una amplia variedad de fuentes. El autor aplicó técnicas avanzadas de análisis de patrones de deforestación utilizando métricas de paisaje y sistemas de información geográfica (SIG), lo que permitió identificar zonas de alto riesgo y examinar los factores que impulsaron estos cambios, tales como la presión poblacional, la actividad agrícola y la deforestación ilegal. En su análisis, Rodríguez modelizó el potencial de cambio futuro en ambas regiones, prediciendo la evolución de los ecosistemas y señalando las implicaciones para la conservación de la biodiversidad. Los resultados proporcionan información crítica para la toma de decisiones políticas, ayudando a identificar áreas prioritarias para la conservación y la implementación de estrategias de manejo sostenible.

Malette (2012) llevó a cabo un estudio exhaustivo sobre el uso de la tierra y el cambio en la cobertura de suelo en el bosque seco tropical del norte de Chinandega, Nicaragua, durante el periodo de 1985 a 2011. El objetivo del estudio fue obtener una comprensión cuantitativa del uso del suelo y los cambios en la cobertura terrestre en este municipio rural de Nicaragua, un área que ha experimentado cambios significativos en su ecosistema debido a la intervención humana y a factores naturales. Para ello, se utilizaron imágenes satelitales LANDSAT 5 y se realizó un análisis de los patrones de cambio mediante la comparación del grado de contaminación potencial, especialmente en lo que respecta a la conversión de tierras forestales en áreas agrícolas.

Uno de los hallazgos más relevantes del estudio fue que la deforestación en esta región comenzó antes de 1985, lo que señala que los cambios en la cobertura del suelo son procesos acumulativos que han afectado de manera progresiva al ecosistema. A lo largo del periodo de estudio, la cubierta forestal experimentó tanto incrementos como disminuciones, influenciadas por diversos factores socioeconómicos y eventos históricos que modificaron el uso del suelo. A lo largo de los 26 años analizados, el autor documentó una pérdida neta de 210.51 hectáreas de bosque seco tropical. La mayor parte de esta pérdida estuvo relacionada con la conversión de tierras forestales en terrenos agrícolas, particularmente para pastoreo. El estudio destaca que los residentes del municipio enfrentan enormes desafíos, como el crecimiento poblacional y la presión por expandir las tierras agrícolas, lo que pone en riesgo la conservación del bosque en las próximas décadas. Además, los riesgos naturales, como sequías prolongadas y la degradación ecológica, aumentan la vulnerabilidad del ecosistema, lo que exige una acción inmediata para implementar políticas de conservación y manejo sostenible de los recursos naturales en la región.

Alcántara (2014), en su investigación titulada “Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra en Cajamarca”, realizó un análisis de los cambios en la cobertura y uso de la tierra en el Departamento de Cajamarca, Perú, con el apoyo técnico de la Dirección General de Ordenamiento Territorial (DGOT) del Ministerio del Ambiente (MINAM) y la Comisión Técnica Regional (CTR). El estudio utilizó el procesamiento digital de imágenes satelitales con los softwares ENVI y ArcGIS, lo que permitió generar cartografía temática de la cobertura y uso de la tierra para los periodos comprendidos entre 2001 y 2013. Las unidades de uso del suelo fueron clasificadas siguiendo la metodología CORINE, Land Cover, un sistema reconocido internacionalmente para la clasificación de la cobertura terrestre.

Los resultados del estudio revelaron que el cambio total en la cobertura y uso de la tierra en Cajamarca afectó una superficie de 599,236.15 hectáreas, lo que representa aproximadamente el 18.18% del área departamental. Por otro lado, el 81.82% del territorio permaneció relativamente

estable, lo que indica una fragmentación progresiva del paisaje y un aislamiento creciente de los hábitats naturales. Entre los cambios más significativos, se destacan las áreas dedicadas a la minería (0.03%), los cultivos transitorios (0.12%), los pastos (0.34%), los cultivos heterogéneos (1.67%) y los bosques (4.70%). La categoría que más sufrió transformaciones fue la de la vegetación herbácea o arbustiva, la cual experimentó un cambio importante hacia áreas agrícolas heterogéneas, representando el 7.95% del área departamental (262,067.17 hectáreas). Este análisis pone de manifiesto que las actividades agropecuarias ha sido el principal impulsor de los cambios en la cobertura del suelo, lo que pone en evidencia la necesidad de gestionar el uso de la tierra de manera más sostenible para evitar la pérdida de ecosistemas clave y la biodiversidad local.

Orradre (2014), en su estudio sobre “Métodos de clasificación de imágenes satelitales para la determinación de usos del suelo agrícola”, presentó un análisis innovador sobre cómo se pueden desarrollar diferentes metodologías de clasificación digital de imágenes satelitales, específicamente del satélite Landsat, para la evaluación de usos del suelo agrícola en la región de Tandil, Argentina. El objetivo principal del estudio fue identificar y clasificar las superficies agrícolas en seis clases distintas: cultivos de invierno, cultivos de verano, pasturas implantadas, pastizales naturales, uso mixto agrícola-ganadero, y doble cultivo invierno-verano, además de áreas sin cultivo.

El análisis permitió determinar la distribución de cada tipo de cultivo y, lo que es más relevante, facilitó un análisis multitemporal para evaluar los avances y retrocesos de las áreas dedicadas a cada tipo de uso del suelo. El estudio destacó la capacidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección para obtener información precisa y actualizada sobre la evolución de los usos del suelo en grandes extensiones, a un costo relativamente bajo y de manera eficiente. El trabajo subraya la importancia de estas herramientas tecnológicas para el monitoreo de cambios en los paisajes agrícolas, proporcionando a los planificadores territoriales información clave para la toma de decisiones. El desarrollo de nuevas metodologías de clasificación no solo optimiza el análisis de datos multitemporales, sino que también ofrece la oportunidad de realizar una planificación territorial más precisa y ajustada a las necesidades de conservación y desarrollo sostenible, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos naturales en el territorio.

Amna y Sheikh (2015), en su estudio sobre la evaluación de las cuencas hidrográficas y el desarrollo de una estrategia de gestión sostenible, subrayan la importancia de medir con precisión los parámetros de uso y cobertura de la tierra, tanto en el pasado como en el presente, dado que los cambios observados en la cobertura del suelo tienen un impacto directo en los procesos hidrológicos y ecológicos dentro de una cuenca hidrográfica. En este contexto, los autores aplicaron el algoritmo de máxima verosimilitud para la clasificación supervisada utilizando el software ERDAS Imagine, con el objetivo de detectar los cambios en el uso y cobertura de la tierra en la cuenca del río Simly, ubicada en Pakistán. Se utilizaron datos satelitales multiespectrales provenientes de los satélites Landsat (1992) y SPOT 5 (2012). A través de esta metodología, los investigadores clasificaron la cuenca en cinco categorías principales de uso del suelo: agricultura, suelos rocosos o pedregosos, asentamientos urbanos, vegetación y cuerpos de agua. Los resultados obtenidos revelaron un cambio significativo en la cobertura de la tierra, destacando una expansión de las áreas agrícolas y urbanas, así como una notable disminución de las zonas cubiertas por vegetación y agua. Estas transformaciones representan una amenaza considerable para los recursos naturales de la cuenca, por lo que los autores proponen una gestión adecuada de la misma para evitar la pérdida irreparable de estos valiosos recursos.

Nina (2015), en su investigación titulada “Cambios de la cobertura del suelo en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, Arequipa, Moquegua, Perú, en relación con la variación de la temperatura y precipitación, durante el periodo 1986-2010”, clasificó las coberturas de suelo en 11 categorías, agrupándolas en dos grandes bloques: suelos con vegetación y suelos con escasa o nula vegetación. Dentro del primer grupo, identificó seis tipos de cobertura vegetal: pajonal, tolar, césped de puna, bofedal, queñual y agricultura asociada con monte ribereño. El segundo grupo lo conforman suelos como nevado, cuerpos de agua, embalses, salares y suelos sin vegetación o con vegetación escasa. Para evaluar la salud y el vigor de la vegetación, se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que reveló que la agricultura y el monte ribereño mostraron el mayor vigor, con un valor de NDVI de 0.17, seguido por el bofedal con 0.16. En contraste, el pajonal y el tolar fueron las coberturas con los valores más bajos, alcanzando solo 0.02. El análisis temporal también mostró que el año 1986 registró el mayor índice de vigor de la vegetación (0.10), mientras que en 1992 este índice descendió a 0.06. A pesar de que la relación entre la temperatura y el NDVI no se mostró de manera sectorizada, los resultados indicaron que los períodos secos y húmedos coinciden con variaciones en la cobertura vegetal, siendo esta más abundante durante el período húmedo y mínima durante los tiempos secos. Esta información subraya la importancia de entender cómo las variaciones climáticas pueden influir en los patrones de vegetación en áreas sensibles como la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca.

Sosa (2016), en su estudio titulado “Cambio de uso de suelo de la subcuenca del Río Mocal, Lempira, utilizando SIG y teledetección (1988-2000)”, generó información para la toma de decisiones relacionadas con el ordenamiento territorial de la cuenca del río Mocal, ubicada en el departamento de Lempira, Honduras. El estudio se basó en la utilización de imágenes satelitales del sensor Landsat, correspondientes a los años 1988, 1998 y 2000. A través del procesamiento digital de imágenes y la implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se identificaron cambios significativos en el uso del suelo en la región durante el periodo estudiado. Los resultados mostraron un incremento del 18% en las áreas de bosque latifoliado, un aumento del 37% en las áreas de bosque mixto y un incremento del 7% en las áreas de matorral. Por otro lado, las zonas de pastizales experimentaron un aumento superior al 100%, lo que refleja una clara expansión de las áreas dedicadas a la ganadería. En contraste, la actividad agrícola mantuvo una cobertura relativamente estable, sin variaciones significativas durante el periodo analizado. Este estudio, además de proporcionar una base de datos espacial detallada, destaca cómo el uso de tecnologías avanzadas como la teledetección y los SIG puede mejorar la precisión en el monitoreo de cambios en el uso del suelo, contribuyendo a una planificación territorial más eficiente y sostenible.

Tantaleán (2016), en su estudio titulado “Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en el Distrito de Chota, años 1989-2013”, exploró cómo los cambios en la cobertura y uso del suelo a lo largo de los años reflejan las consecuencias de las actividades humanas sobre el medio ambiente. El objetivo principal de la investigación fue realizar un análisis detallado de las transformaciones en la cobertura vegetal y en el uso del suelo en el distrito de Chota durante un período de 24 años, desde 1989 hasta 2013, utilizando imágenes satelitales como fuente de datos. El estudio reveló que los cambios en la cobertura vegetal y en el uso del suelo en esta región están estrechamente vinculados a las actividades antrópicas, especialmente a la expansión de la agricultura y la urbanización. El análisis mostró una dinámica compleja de transformación del paisaje, que podría tener impactos significativos en los ecosistemas locales si no se implementan políticas de gestión ambiental más sostenibles.

Alegre (2017), en su estudio titulado “Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos durante el periodo 1997-2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal”, se

centró en describir los cambios en la cobertura vegetal de la provincia de Yauyos, ubicada en la región andina de Perú, a lo largo de dos décadas. La investigación, de enfoque descriptivo correlacional y diseño no experimental de corte longitudinal, analizó la evolución de la cobertura vegetal a través de herramientas como SIG, Erdas Imagine, ArcGIS y el programa Excel para el tratamiento estadístico de los datos. Los resultados del estudio indicaron que la provincia alberga una variedad de coberturas vegetales, destacando el pajonal andino, que ocupa un 50% del área total, seguido por el matorral arbustivo con un 22%, y el cardonal con un 11%. Otros tipos de cobertura incluyen el área altoandina con escasa vegetación (10%), la agricultura andina (3%), y el bosque relicto andino (2%). A lo largo de los 20 años de análisis, se observó una pérdida de cobertura vegetal permanente, con una disminución de 39,492.3 hectáreas (10.5% de la superficie total), mientras que las áreas de cobertura temporal aumentaron en 41,974.1 hectáreas (6% del total). Además, las superficies desnudas aumentaron en 31,203.3 hectáreas (4.5% del total). Los resultados sugieren que las transformaciones en la cobertura vegetal han sido en gran parte negativas, lo que indica una degradación progresiva de los ecosistemas naturales. Esta pérdida de cobertura vegetal resalta la necesidad urgente de implementar políticas de conservación y restauración en la región para evitar una mayor degradación de los recursos naturales.

Kirsi et al. (2019) Realizaron un estudio donde utilizaron datos de imágenes de radar de apertura sintética para generar modelos digitales de superficie de áreas forestales mediante interferometría SAR (InSAR). En donde se evaluó la capacidad de los cambios detectados en los modelos digitales para identificar variaciones en la altura del dosel y en la densidad del bosque. A partir de estas variaciones, se estimaron los cambios en la biomasa aérea. Aquí se emplearon datos bitemporales de escaneo láser aerotransportado, ortoimágenes aéreas y un mapa de cambios basado en el escaneo laser en un área del sur de Finlandia. Los resultados revelaron que los cambios de altura medidos con InSAR se correlacionan más estrechamente con cambios en la densidad del bosque que con cambios directos de altura. A nivel de rodal, la correlación entre los cambios de altura promedio de InSAR de 0.76, y con la tasa de penetración del fue de 0.89. La estimación de cambios de AGB a partir del InSAR mostró buena concordancia con los datos de referencia, con un error cuadrático medio de 20.7 Mg/ha. Estos hallazgos demuestran que los modelos digitales generados con datos de imágenes de radar son útiles para detectar cambios significativos en la biomasa forestal, como los provocados por tala o aclareo.

Shun et al. (2021), en un estudio llevado a cabo en China, desarrollaron un método innovador para medir la biomasa forestal, con el objetivo de mejorar la precisión en la predicción de la biomasa de los bosques. En primer lugar, los autores crearon un enfoque eficiente basado en el uso de variables obtenidas a través de escaneo láser terrestre (LiDAR), las cuales se utilizaron para generar modelos de regresión que permitieran predecir la biomasa forestal. A continuación, compararon la precisión de las predicciones obtenidas a partir de las variables derivadas del escaneo láser terrestre con aquellas obtenidas mediante mediciones directas en el campo, con el fin de evaluar la eficacia de esta nueva metodología. En la fase final del estudio, se aplicaron modelos predictivos que utilizaron las variables del escaneo láser terrestre para mapear y cuantificar el impacto de la densidad de herbívoros sobre la biomasa de los bosques templados en el noreste de China. Los resultados obtenidos demostraron que los datos derivados del escaneo láser terrestre superaron significativamente la precisión de las mediciones de campo en la predicción de la biomasa forestal, destacando la utilidad de esta tecnología avanzada para la gestión forestal y la evaluación de los ecosistemas.

Xiao et al. (2021), en su estudio realizado en el norte y noreste de China, emplearon dos modelos fundamentales para cuantificar con mayor precisión la calidad de la biomasa forestal. En primer lugar, se realizaron rodales de biomasa para identificar los sectores más sensibles a los cambios

climáticos. Este enfoque subrayó la importancia de contar con una contabilidad precisa del carbono, utilizando modelos de biomasa ajustados a variaciones climáticas, con el fin de mejorar la gestión de los recursos forestales y los proyectos de mitigación del cambio climático. Los resultados del estudio hicieron hincapié en la necesidad de utilizar enfoques más refinados para la estimación del carbono forestal, especialmente en áreas que experimentan cambios climáticos significativos, lo cual es crucial para una gestión forestal eficiente y sostenible.

Yueting et al. (2021), en su investigación centrada en el potencial de los árboles forestales en el norte de China, utilizaron tecnologías avanzadas como imágenes ópticas y sensores para mejorar la precisión de las estimaciones de biomasa en bosques de coníferas. El estudio comenzó con la obtención de un producto de altura de los árboles mediante imágenes estéreo del satélite Ziyuan-3 (ZY-3), las cuales fueron combinadas con un modelo de elevación digital (DEM) obtenido de imágenes del satélite Advanced Land Observing Satellite (ALOS). A partir de esta información, los investigadores establecieron dos modelos de estimación de la biomasa aérea, que combinaron la altura de los árboles con diversas variables relacionadas con la vegetación, tales como índices espectrales, biofísicos (proporcionados por imágenes de Sentinel-2) y topográficos. Para evaluar el impacto de estas variables en la estimación de la biomasa, se utilizó un algoritmo de bosque aleatorio, que permitió analizar el efecto específico de la variable de altura del árbol en la precisión de las predicciones de biomasa. Los resultados mostraron que la estimación de la altura de los árboles obtenida a partir de las vistas nadir y hacia adelante de las imágenes estéreo de ZY-3 fue significativamente más precisa que aquella obtenida a partir de las vistas nadir y hacia atrás, lo que sugiere que el uso de estas imágenes estéreo de alta resolución mejora considerablemente la exactitud en la estimación de la biomasa forestal.

De toda la información antes mencionada se concentra a continuación en un cuadro resumen de autores internacionales, ver tabla 4.

Tabla 4. Resumen de los autores internacionales consultados

Autor(es)	Año	Título del estudio	Objetivo del estudio	Metodología utilizada	Fundamentos teóricos
Moreno & Gonzales	2001	Evaluación de la calidad del paisaje en la Comunidad Autónoma Cántabra, España	Evaluar la calidad del paisaje utilizando SIG y el método Delphi.	SIG (ArcView), clasificación Corine Land Cover, método Delphi.	Teoría del paisaje, percepción visual, uso del suelo y su valor ecológico y social.
Rogan et al.	2003	Land Use and Land Cover Change in San Diego, California, USA	Analizar el cambio de uso del suelo en San Diego utilizando imágenes Landsat TM.	Fotointerpretación, clasificación supervisada (imágenes Landsat TM), validación con datos de campo.	Teledetección aplicada al análisis multitemporal de cobertura terrestre.
Rogan & Chen	2004	Remote sensing technology for land cover and land use change assessment	Revisar tecnologías de teledetección para evaluar cambios en el uso del suelo y la cobertura terrestre.	Revisión bibliográfica sobre sensores, clasificación de imágenes y monitoreo ambiental.	Evolución tecnológica en teledetección y geoinformación.
Lin et al.	2007	Modeling land use change and its impact on hydrology in the Poyang Lake Basin, China	Modelar el cambio de uso del suelo y su impacto en la hidrología en la cuenca del Lago Poyang.	Modelo de predicción de cambio de uso + modelo hidrológico; regresión logística; vecino más cercano.	Relación entre uso del suelo e impacto hidrológico.
Fan et al.	2008	Land use and land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on Landsat TM/ETM+ imagery	Analizar el cambio de uso del suelo y la cobertura terrestre en Guangzhou utilizando imágenes Landsat TM/ETM+.	Imágenes Landsat TM/ETM+, clasificación supervisada.	Urbanización y degradación ambiental.
Hu et al.	2008	Land use and land cover change detection in Jilin Province, China	Detectar cambios en el uso del suelo y la cobertura terrestre en la provincia de Jilin.	Fotointerpretación de imágenes aéreas y SPOT.	Urbanización y pérdida de cobertura boscosa.
Bahadur & Murayama	2009	Comparison of four classification methods for urban land use mapping in Tsukuba, Japan	Comparar cuatro métodos de clasificación para el mapeo del uso del suelo urbano en Tsukuba.	Comparación de cuatro métodos de clasificación, validación con datos de campo.	Precisión en métodos de clasificación remota para áreas urbanas complejas.
Dewan et al.	2009	Urbanization and its impact on land use/land cover changes in Dhaka, Bangladesh	Analizar la urbanización y su impacto en los cambios de uso/cobertura del suelo en Dhaka.	Clasificación automática de imágenes Landsat MSS, TM y ETM+, análisis post-clasificatorio.	Problemas inherentes en clasificación espectral supervisada.
Zorogastúa et al.	2011	Evaluación de bosques secos en Piura	Medir cambios de cobertura en bosques secos.	Imágenes Landsat, clasificación supervisada, comparación con mapa de INRENA.	Teoría de la dinámica de paisajes, ecología de bosques secos, monitoreo de cambios de cobertura.
Rodríguez	2011	Deforestación y cambio de uso en Colombia	Analizar deforestación en Andes y Guyana (1985–2000).	Modelos LULCC, imágenes satelitales, métricas del paisaje, SIG.	Teoría de cambio de uso del suelo, modelado de deforestación, ecología de paisajes.
Malette	2012	Uso de tierra en bosque seco tropical de Nicaragua	Evaluar cambio de cobertura en Chinandega (1985–2011).	Análisis Landsat 5, comparación multitemporal.	Teoría de uso del suelo, ecología de bosques secos, análisis multitemporal.
Sosa	2013	Cambio de uso en subcuenca del Río Mocal	Apoyar el ordenamiento territorial de la cuenca.	Imágenes Landsat (1988, 1998, 2000); clasificación supervisada.	Teoría de cambio de uso del suelo, ecología de cuencas, planificación territorial.
Alcántara	2014	Cambios de cobertura y uso del suelo en Cajamarca	Generar cartografía temática del uso del suelo (2001–2013).	ENVI, ArcGIS, clasificación CORINE Land Cover–CLC.	Teoría de cambio de uso del suelo, clasificación CORINE, ecología de paisajes.
Orradre	2014	Métodos de clasificación de suelos agrícolas en Tandil, Argentina	Clasificar usos agrícolas y monitorear su evolución.	Imágenes Landsat, clasificación digital, análisis multitemporal.	Teoría de clasificación de suelos, SIG, planificación agrícola.
Amna & Sheikh	2015	Evaluación de Simly watershed, Pakistán	Medir cobertura terrestre y su impacto hidrológico.	Imágenes Landsat y SPOT 5, ERDAS Imagine, clasificación supervisada.	Teoría de cambio de uso del suelo, ecología de cuencas, modelado hidrológico.
Nina	2015	Cambios de cobertura en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, Perú	Relacionar cobertura con temperatura y precipitación (1986–2010).	NDVI, imágenes satelitales, clasificación por grupos de vegetación.	Teoría de cambio de uso del suelo, ecología de bofedales, análisis multitemporal.
Tantaleán	2016	Cambios de uso del suelo en Chota (1989–2013)	Analizar efectos de actividades humanas sobre la cobertura vegetal.	Imágenes satelitales; análisis multitemporal.	Teoría de cambio de uso del suelo, ecología de paisajes, impactos antrópicos.
Alegre	2017	Cambios en la cobertura vegetal en Yauyos (1997–2017)	Evaluar evolución del desarrollo vegetal en la provincia.	SIG, Erdas Imagine, ArcGIS, Excel.	Teoría de cambio de uso del suelo, ecología de paisajes, análisis multitemporal.
Kirsi et al.	2019	TanDEM-X digital surface models in boreal forest above-ground biomass change detection, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.	Detectar cambios en altura del dosel y biomasa aérea mediante interferometría InSAR	Imágenes TanDEM-X, InSAR, ALS, ortoimágenes aéreas	Uso de interferometría SAR (InSAR) para derivar DSM; validación con datos ALS; fundamentos en teledetección, modelación de biomasa y dinámica forestal.
Shun et al.	2021	Medición de biomasa forestal con escaneo láser terrestre	Comparar precisión entre escaneo láser y medición de campo.	Modelos de regresión; escaneo láser terrestre; mapas de densidad de herbívoros.	Teoría de estimación de biomasa, tecnología LiDAR, ecología forestal.
Xiao et al.	2021	Estimación de biomasa y sensibilidad al cambio climático	Mejorar precisión en contabilidad de carbono forestal.	Modelos de rodales de biomasa; análisis climático.	Teoría de cambio climático, estimación de biomasa, ecología forestal.
Yueting et al.	2021	Estimación de biomasa de coníferas en China	Mejorar rendimiento de estimaciones usando sensores ópticos.	Imágenes ZY-3, DEM ALOS, Sentinel-2, Random Forest.	Teoría de estimación de biomasa, sensores ópticos, ecología forestal.

Fuente: Elaboración propia.

1.7.2 Estudios a nivel nacional

En México, se han realizado diversos estudios enfocados en los cambios de uso del suelo y vegetación. En general, estos trabajos se centran en evaluar tanto la velocidad de los procesos de deforestación como su distribución geográfica. Asimismo, analizan las principales causas sociales, económicas y ambientales que motivan dichos cambios, abordándolos desde distintas escalas de análisis.

En esta parte se trató de utilizar las investigaciones que aborden el análisis multitemporal, el cual permite comparar imágenes o datos obtenidos en diferentes momentos del tiempo. Esta técnica resulta particularmente útil para identificar transformaciones en la cobertura del suelo, visualizar la dinámica del paisaje, para así evaluar las repercusiones de las actividades humanas sobre los ecosistemas. A través de este enfoque, es posible observar de manera detallada el desarrollo y la magnitud de los cambios, así como comprender mejor los factores que los impulsan.

A continuación, se presentan algunos de los estudios más relevantes que se han llevado a cabo a nivel nacional con relación a la temática de estudio.

Ramírez (2001) realizó un estudio sobre la deforestación en la sierra de Angangueo, ubicada entre los estados de Michoacán y el Estado de México. Para ello, empleó un conjunto de imágenes compuesto por fotografías aéreas correspondientes a los años 1971 y 1994, así como una imagen satelital Landsat TM7 del año 2000. El análisis se basó en el método de comparación post-clasificatoria, el cual permite identificar los cambios en la cobertura del suelo entre distintas fechas. Para mejorar la precisión del análisis, se eliminaron los cambios falsos detectados en la matriz de transición y se descartaron aquellas fotografías aéreas que no mostraban transformaciones. Como resultado, se estimó una tasa anual de deforestación del 0.2%, valor inferior al 0.66% reportado para la región y al 0.5% estimado a nivel nacional.

García Nieto et al. (2002) utilizaron herramientas de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para monitorear los cambios en el uso del suelo agrícola en el estado de Guanajuato, en el periodo comprendido entre 1970 y 1997. El análisis se realizó mediante el software ArcView, aplicando técnicas de fotointerpretación digital directa. Se utilizaron imágenes Landsat TM correspondientes a 1996 y 1997, complementadas con cartas topográficas de 1998, ortofotos digitales de 1993 y datos recolectados en campo mediante GPS. Esta información fue contrastada con los datos históricos de uso del suelo generados por el Centro de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), a partir de fotografías aéreas de 1970 disponibles en formato digital. Los resultados mostraron una disminución del 4% en la superficie agrícola estatal, atribuida principalmente al abandono de tierras de cultivo, procesos de urbanización y expansión de zonas industriales. Además, se identificó la conversión de áreas forestales y de uso pecuario hacia uso agrícola. Los cambios más significativos se observaron en el incremento de áreas industriales y urbanas, con un crecimiento del 58%, aunque cabe señalar que estos usos del suelo aún representan poco más del 1% del territorio estatal.

Márquez et al. (2005) investigaron los procesos de sustitución de áreas forestales por chaparrales y comunidades herbáceas en una microcuenca ubicada en el estado de Durango, durante el periodo 1970-2000. Para ello, compararon mapas elaborados a partir de fotografías aéreas de 1970 a escala 1:50 000 con un mapa generado a partir de una imagen Landsat TM correspondiente al año 2000. Los resultados indicaron un aumento en las áreas cubiertas por chaparral, acompañado de una disminución significativa en las áreas arboladas, con una tasa de deforestación total de -2.43%. En términos específicos, se estimaron tasas anuales de

deforestación de -3% para los bosques de pino, -2% para los bosques de encino, y -1% para el bosque templado de montaña.

Gómez Mendoza et al. (2006) analizaron los cambios en el uso del suelo en la Sierra Norte de Oaxaca mediante una clasificación automatizada de imágenes satelitales. Además del análisis histórico de la dinámica del uso del suelo, el estudio incorporó el modelo de cadenas de Markov para proyectar los posibles escenarios de cambio hacia el año 2020. Los hallazgos revelaron que la tasa anual de deforestación de los bosques tropicales en la región fue del 3% durante el periodo 1980-2000, superando la tasa promedio estatal de Oaxaca, estimada en un 2% anual para el mismo periodo.

Dupuy Rada et al. (2007) llevaron a cabo un estudio sobre el cambio de cobertura y uso del suelo en dos comunidades rurales ubicadas en el noroeste del estado de Quintana Roo. A través de la digitalización de fotografías aéreas a escala 1:75,000 y la elaboración de una matriz de cambio de uso del suelo, los autores lograron identificar una expansión significativa de las áreas de selva. Este incremento fue atribuido, principalmente, a la repoblación natural de zonas previamente afectadas por incendios, lo cual indica un proceso de regeneración secundaria. El análisis arrojó una tasa anual de recuperación de selva notablemente positiva, estimada en +3.47%. Este resultado sugiere que, bajo condiciones ecológicas y silvícolas específicas, el uso controlado del fuego como herramienta de manejo forestal puede desempeñar un papel favorable en la conservación y promoción de áreas forestales, contradiciendo en parte la percepción negativa generalizada sobre su utilización.

Rosete Vergés (2009) realizó un análisis de los cambios en el uso del suelo y la vegetación en la península de Baja California, México. Este estudio se basó en la comparación espacial de cartografía generada por el INEGI correspondiente al periodo 1998–2000, a escala 1:250,000. Utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se construyó una matriz de transición y se clasificaron los distintos tipos de cambio detectados. Entre los resultados más relevantes destaca que el 7.7% del territorio peninsular experimentó algún tipo de transformación en su cobertura. En particular, se documentó una pérdida de 4,078.7 km² de matorral (equivalente al 2.9% del área total de la península), así como un notable incremento en la superficie urbana, que creció en 457 km², lo cual representa un aumento del 270% respecto a su extensión inicial.

Nájera et al. (2010), en su artículo titulado Cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit, realizaron un análisis de los cambios en la cobertura y uso del suelo entre los años 1995 y 2005. Para ello, utilizaron técnicas de interpretación de ortofotos digitales y análisis espacial mediante SIG. Los resultados mostraron que el paisaje de la cuenca estaba dominado por vegetación natural y tierras agrícolas, las cuales abarcaban el 83.01% del área total. El estudio evidenció que los cambios más significativos se concentraron en dos tipos de cobertura: la vegetación natural, que disminuyó a una tasa de 41.67 hectáreas por año, y las áreas construidas, que aumentaron a una tasa de 74.86 hectáreas por año. La tasa anual de deforestación estimada para los bosques y selvas de la región fue relativamente baja, con valores de 0.1% y 0.36%, respectivamente, por debajo de las cifras reportadas a nivel nacional y estatal. Además, los autores destacaron que los resultados obtenidos tienen un alto potencial de aplicación práctica, ya que proporcionan información cuantitativa, geográfica y descriptiva valiosa para la planificación territorial. En particular, pueden servir como base para instrumentos de gestión como el ordenamiento ecológico, así como para planes sectoriales de desarrollo urbano y agrícola, apoyando la formulación de políticas públicas orientadas al uso sostenible de los recursos naturales.

Jean y Flamenco (2011) en su trabajo denominado “Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México GeoTrópico”, señalan que los cambios en la cobertura y uso del suelo, especialmente la deforestación, son factores clave en la pérdida de biodiversidad, la emisión de gases de efecto invernadero y la erosión del suelo. Comentan que en países desarrollados se observa una ganancia neta de superficie forestal, mientras que en países de América Latina, las tasas de pérdida forestal siguen siendo altas. Según la FAO (2009), naciones como Brasil, Ecuador, El Salvador, Honduras, Paraguay y Venezuela registraron tasas de deforestación entre 0.6% y 3% anual entre 2000 y 2005. En México, aunque la tasa nacional de deforestación ha disminuido en años recientes a menos del 0.5%, esta cifra varía regionalmente y es considerablemente mayor en zonas de bosques tropicales. Las condiciones socioambientales que impulsan o mitigan los procesos de cambio en el uso del suelo aún no se comprenden del todo. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo modelar los cambios de cobertura y uso del suelo en una región del trópico mexicano con altas tasas históricas de deforestación, y evaluar el modelo propuesto en términos de sus alcances y limitaciones.

Thaden (2012) desarrolló una investigación titulada “Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en el municipio de Guelatao de Juárez, Oaxaca, México”, cuyo objetivo fue realizar un análisis tanto retrospectivo como prospectivo de la dinámica territorial de este municipio, ubicado en la Sierra Norte del estado de Oaxaca. El estudio reveló que, entre los años 1973 y 2011, el municipio perdió aproximadamente el 70% de su cobertura vegetal y superficie agrícola. No obstante, las proyecciones realizadas indicaron que las áreas de cultivo remanentes en el año 2010 se mantendrían relativamente estables hasta el año 2025. En cuanto a la regeneración del paisaje, se observó que muchas de las zonas abandonadas fueron recolonizadas por vegetación de tipo selva baja caducifolia, la cual se identificó como la clase de cobertura más dinámica, al protagonizar la mayoría de las transiciones observadas. El estudio concluyó que la integración del análisis retrospectivo y prospectivo constituye una herramienta valiosa para comprender la complejidad de los procesos de cambio de uso de suelo, ya que permite obtener datos espaciales y cuantitativos fundamentales para la gestión del territorio y la toma de decisiones ambientales a diversos niveles de gobierno.

Osuna et al. (2015), en su trabajo que tuvo como objetivo principal evaluar el impacto de las actividades antropogénicas en la cuenca del río Tecolutla, ubicada en el estado de Veracruz, México, durante un periodo de 16 años. Para ello, se emplearon imágenes satelitales de la misión Landsat correspondientes a los años 1994 y 2010. A partir de estas imágenes, se logró identificar y clasificar nueve tipos distintos de uso y cobertura del suelo: selva, bosques, suelo agrícola, cuerpos de agua, vegetación perturbada, asentamientos urbanos, pastizales, cultivos de cítricos y matorrales. La validación de los mapas temáticos generados mostró altos niveles de precisión, con exactitudes globales superiores al 92% y coeficientes de Kappa de 0.89 y 0.91 para las clasificaciones de los años 1994 y 2010, respectivamente. El análisis de la matriz de transición reveló una clara tendencia hacia el aumento de áreas destinadas a actividades humanas, particularmente aquellas orientadas a la agricultura y al crecimiento urbano. Estas actividades registraron incrementos del 28% y 67%, respectivamente, en el periodo analizado.

Como consecuencia directa, se evidenció una disminución anual del 1.1% en la extensión de las coberturas naturales, principalmente en áreas de bosques y selvas. Este patrón coincide con los hallazgos reportados en estudios previos a nivel nacional y estatal, donde se ha documentado la sustitución progresiva de ecosistemas naturales por usos del suelo relacionados con el desarrollo humano. Los resultados obtenidos en este trabajo son de gran utilidad para la elaboración de futuros planes de desarrollo ambiental, así como para el diseño de programas de ordenamiento territorial y estrategias de conservación de los recursos naturales en la cuenca del río Tecolutla.

Hernández et al. (2017), en su artículo titulado “Cambios de uso del suelo en manglares de la costa de Tabasco”, llevaron a cabo una evaluación detallada de las modificaciones en el uso del suelo ocurridas entre 1995 y 2008 en cuatro ejidos localizados en la región costera del estado de Tabasco. El estudio se centró particularmente en los cambios en la cobertura de manglar, los cuales fueron detectados mediante el análisis de ortofotos digitales a escalas 1:20,000 (año 1995) y 1:10,000 (año 2008). Los resultados revelaron que en 1995 la superficie ocupada por manglares era de 568.49 hectáreas. Para 2008, dicha cobertura mostró un incremento significativo de 148.72 hectáreas. Este crecimiento ocurrió principalmente sobre áreas que anteriormente estaban ocupadas por vegetación hidrófita y agroecosistemas asociados al pastoreo. Los autores atribuyen estos cambios a las condiciones socioeconómicas de los propietarios de las tierras, destacando que, desde una perspectiva ecológica, el aumento de la superficie de manglar representa una recuperación ambiental positiva, al contribuir a la restauración de este ecosistema clave para la biodiversidad y la protección costera.

Cruz et al. (2020) realizaron un análisis de cambios en las coberturas y usos de suelo de la cuenca del río Cuale, en el estado de Jalisco, México. La investigación se basó en la clasificación de coberturas a partir de tres imágenes satelitales Landsat, correspondientes a los años 1990 (Sensor TM), 2003 y 2013 (Sensor ETM), utilizando el software ArcGIS 10. Se generaron mapas temáticos de cobertura con cuatro clases principales, y se alcanzaron niveles de fiabilidad del 75%, 78% y 86%, respectivamente, acompañados de coeficientes Kappa de 0.61, 0.67 y 0.80, lo cual indica una aceptable precisión en la clasificación. Los cambios entre los mapas fueron evaluados mediante matrices de error, evidenciando transformaciones notables en áreas destinadas a la agricultura. Las tasas anuales de cambio fueron de 0.99% para el bosque templado de coníferas y latifoliadas, 1.02% para el bosque tropical subcaducifolio, y 1.08% para las zonas agrícolas, con respecto a la superficie total de la cuenca. Cabe destacar que las zonas urbanas no presentaron variaciones durante el periodo analizado, fenómeno que los autores atribuyen a las condiciones topográficas de la cuenca, que limitan la expansión urbana.

Rufino et al. (2021) evaluaron el cambio de uso de suelo y vegetación en una microcuenca ubicada en la Mixteca Alta Oaxaqueña, durante el periodo de 1995 a 2016. El objetivo del estudio fue identificar la dinámica de pérdida y ganancia de cobertura vegetal, con el fin de delimitar zonas prioritarias para la conservación y restauración ecológica. La metodología se basó en el análisis de imágenes de alta resolución, aplicando una clasificación no supervisada complementada con trabajo de validación en campo. Los resultados indicaron un incremento del 6.6% en la cobertura forestal a lo largo del periodo analizado, cambio atribuible a las estrategias de restauración implementadas por las comunidades indígenas en colaboración con instituciones gubernamentales. Paralelamente, se observó una reducción del 8.4% en la superficie dedicada a la agricultura, fenómeno asociado al abandono de tierras agrícolas debido a la migración, la pérdida de fertilidad del suelo y la alteración en los patrones de precipitación. Este proceso derivó en una conversión natural hacia pastizales. Las áreas sin vegetación disminuyeron en un 4.1%, como resultado de esfuerzos locales para la conservación de suelos, que incluyeron la construcción de terrazas, la estabilización de taludes y otras obras de infraestructura ambiental. No obstante, el aumento en la cobertura de pastizales representa un desafío, ya que estas áreas se desarrollan sobre suelos con alta susceptibilidad a la erosión, por lo que se proponen como zonas prioritarias de restauración dentro de la microcuenca.

De toda la información antes mencionada se concentra a continuación en un cuadro resumen de autores estatales, ver tabla 5.

Tabla 5. Resumen de los autores Nacionales consultados

Autor(es)	Año	Título del estudio	Periodo analizado	Objetivo del estudio	Metodología utilizada	Fundamentos teóricos
Ramírez	2001	Cambios de cobertura y uso del suelo en la Sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México, 1971–1994–2000	1971–2000	Evaluar los cambios en la cobertura y uso del suelo en la Sierra de Angangueo, hábitat de hibernación de la mariposa monarca, para generar cartografía actualizada que apoye la conservación y gestión de recursos naturales.	Comparación post-clasificatoria con fotografías aéreas y Landsat TM7	Se fundamenta en la importancia de contar con cartografía detallada y actualizada para la gestión y conservación de recursos naturales, especialmente en áreas de alta biodiversidad como la Sierra de Angangueo, hábitat de la mariposa monarca.
García Nieto et al.	2002	Cambio de uso del suelo en Guanajuato, 1970–1997	1970–1997	Analizar los cambios en el uso del suelo en Guanajuato entre 1970 y 1997, utilizando imágenes satelitales y herramientas SIG, para comprender las dinámicas de transformación del paisaje.	Fotointerpretación con ArcView, imágenes Landsat, ortofotos, SIG	Se basa en la necesidad de monitorear los cambios en el uso del suelo agrícola para entender las dinámicas de transformación del paisaje, considerando factores como el abandono de cultivos, urbanización y crecimiento industrial.
Márquez et al.	2005	Análisis de cambios en la cobertura del suelo en una microcuenca de Durango, 1970–2000	1970–2000	Evaluar los cambios en la cobertura del suelo en una microcuenca de Durango entre 1970 y 2000, utilizando imágenes satelitales y fotografías aéreas, para comprender los procesos de deforestación y regeneración.	Fotografías aéreas, Landsat TM, análisis de cambio	Se apoya en la teoría de la sucesión ecológica y la dinámica de los ecosistemas, observando cómo las áreas arboladas se transforman en chaparrales y comunidades herbáceas, reflejando procesos naturales y antropogénicos.
Gómez Mendoza et al.	2006	Análisis de la deforestación en la Sierra Norte de Oaxaca, 1980–2000	1980–2000	Analizar la deforestación en la Sierra Norte de Oaxaca entre 1980 y 2000, utilizando imágenes satelitales y herramientas SIG, para identificar las áreas más afectadas y proponer estrategias de conservación.	Clasificación automatizada, modelo de Markov	Fundamentado en modelos de predicción espacial y temporal, como el modelo de Markov, para proyectar la dinámica del uso del suelo y la cobertura vegetal, considerando factores ecológicos y sociales.
Dupuy Rada et al.	2007	Recuperación de manglares en el noroeste de Quintana Roo, 1990–2000	1990–2000	Evaluar la recuperación de manglares en el noroeste de Quintana Roo entre 1990 y 2000, utilizando imágenes satelitales y herramientas SIG, para comprender los procesos de regeneración y su relación con la dinámica ambiental.	Digitalización de fotografías aéreas, matriz de cambio	Se basa en la teoría de la regeneración natural y el uso controlado del fuego como herramienta de manejo forestal, observando cómo la repoblación de áreas quemadas puede conducir a la recuperación de la selva.
Rosete Vergés	2009	Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, 1978–2000	1998–2000	Analizar los cambios en el uso del suelo y la vegetación en la Península de Baja California entre 1978 y 2000, utilizando imágenes satelitales y herramientas SIG, para identificar los procesos de desmatorralización y urbanización.	Comparación de mapas de INEGI, SIG, matriz de transición	Se fundamenta en la teoría de los procesos de cambio de uso del suelo, identificando tres procesos principales: desmatorralización, recuperación y crecimiento de manchas urbanas, y analizando su distribución espacial en la península.
Nájera et al.	2010	Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit, 1995–2005	1995–2005	Evaluar los cambios en la cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit, entre 1995 y 2005, utilizando ortofotos digitales y herramientas SIG, para comprender los procesos de deforestación y urbanización.	Ortofotografía digital, SIG	Se apoya en el análisis de matrices de cambio y en la interpretación de imágenes satelitales y ortofotos para identificar y cuantificar las transiciones en el uso del suelo, considerando factores sociales y económicos.
Thaden	2010	Proyección de cambios en el uso del suelo en Guelatao de Juárez, Oaxaca, 1973–2025	1973–2011	Proyectar los cambios en el uso del suelo en Guelatao de Juárez, Oaxaca, entre 1973 y 2025, utilizando modelos de simulación y herramientas SIG, para prever las tendencias de deforestación y urbanización.	Análisis retrospectivo y prospectivo, SIG	Fundamentado en la teoría de la dinámica del paisaje y la sucesión ecológica, utilizando modelos predictivos para proyectar los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal en el futuro.
Jean y Flamenco	2011	Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México GeoTrópico	1986-2008	Modelar los cambios de cobertura y uso del suelo (CCUS) y evaluar escenarios futuros	SIG, modelación de CCUS	Uso de SIG para identificar zonas vulnerables; análisis espacial para proyecciones de cambio; fundamentos en ecología del paisaje y planificación territorial.
Hernández et al.	2015	Cambios de uso del suelo en manglares de la costa de Tabasco	1995–2008	Evaluar el cambio de uso de suelo en el periodo 1995–2008, identificando y cuantificando los cambios en localización y superficie del manglar en cuatro ejidos del municipio de Cárdenas, Tabasco.	Análisis de ortofotos digitales a escalas 1:20,000 y 1:10,000	Se basa en la teoría de la regeneración natural y el uso controlado del fuego como herramienta de manejo forestal, observando cómo la repoblación de áreas quemadas puede conducir a la recuperación de la selva.
Sánchez et al.	2017	Assessment of land use-cover changes and successional stages of vegetation in the natural protected area altas cumbres, Northeastern Mexico, using landsat satellite imagery	1973–2015	Analizar cambios de uso/cobertura del suelo y etapas sucesionales en 42 años	LANDSAT (1973-2015), segmentación, clasificación supervisada, SIG	Aplicación de análisis multitemporal con imágenes satelitales; evaluación de sucesión ecológica; fundamentos en dinámica de ecosistemas y conservación de ANP.
Cruz et al.	2020	Análisis de cambios en las coberturas y usos de suelo de la cuenca del río Cuale, Jalisco, México	1990–2013	Analizar los cambios en las coberturas y usos de suelo de la cuenca del río Cuale entre 1990 y 2013, utilizando imágenes satelitales Landsat y herramientas SIG, para identificar procesos de cambio y su relación con la dinámica socioeconómica y ecológica de la región.	Clasificación de imágenes Landsat, SIG, análisis de error, coeficiente Kappa	Se fundamenta en el análisis de matrices de cambio y en la interpretación de imágenes satelitales para identificar y cuantificar las transiciones en el uso del suelo, considerando factores sociales y económicos.
Rufino et al.	2021	Análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo en la Mixteca Alta Oaxaqueña	1995–2016	Evaluar el cambio del uso de suelo y vegetación en una microcuenca de la Mixteca Alta Oaxaqueña durante el periodo de 1995 a 2016, mediante el uso de imágenes de alta resolución y con ello identificar la dinámica de pérdida y ganancia de la cobertura vegetal que permitan catalogar zonas prioritarias para la conservación y restauración.	Imágenes de alta resolución, clasificación no supervisada, validación en campo	Se apoya en la teoría de la transición forestal, analizando los factores sociales y biofísicos que influyen en la recuperación de la cobertura forestal, como las estrategias de restauración impulsadas por las comunidades indígenas e instituciones gubernamentales.

Fuente: Elaboración propia.

1.7.3 Estudios a nivel estatal

A nivel estatal se han desarrollado diversos estudios relacionados con el cambio de uso del suelo; sin embargo, la mayoría de ellos se centran en áreas geográficas muy amplias o en regiones específicas con una escala generalizada. En contraste, existen pocas investigaciones que aborden de manera puntual y detallada territorios con características ecológicas particulares, como es el caso del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Esta zona, a pesar de su relevancia ecológica, ambiental y social, ha sido escasamente estudiada en cuestión de cambios de uso y vegetación, incluso en los casos dentro del contexto estatal. Entre los trabajos que se han enfocado en analizar los cambios de uso del suelo en esta región, destacan los siguientes:

González et al. (2000) llevaron a cabo un proyecto titulado “Atlas del Medio Físico del Estado de México”, en el cual se presenta una descripción detallada de las coberturas terrestres existentes en la entidad. Este estudio se basó en la clasificación de imágenes satelitales Landsat, lo que, en su momento, representó una de las investigaciones más relevantes para el conocimiento del medio físico del estado. La metodología adoptada sigue la clasificación del INEGI, aquí se observaron diferencias notables en la calidad de los productos cartográficos, principalmente en el nivel de detalle.

INIFAP (2004), elaboró una carta de uso de suelo del Estado de México, el Instituto Nacional de investigaciones, forestales, Agrícolas y Pecuarias, manejo una escala 1:50,000 con una clasificación similar a la de INEGI, pero en la zona agrícola tiene mayor diversidad, este proyecto también usan imágenes de satélite spot y landsat, las cuales les da un acercamiento más preciso en los datos que la cartografía de INEGI.

La metodología empleada en este estudio consistió en el acopio, digitalización y generación de cartografía digital mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), a través de los cuales se actualizaron los datos de suelos en todo el estado. Como resultado, se generaron mapas detallados que clasifican las unidades y fases de suelo por municipio, proporcionando una visión integral del recurso edáfico y sus posibilidades de uso.

El análisis reveló que el Estado de México cuenta con suelos de alta calidad, particularmente adecuados para la agricultura, destacándose su potencial para la producción de cultivos anuales y frutales de ciclo perenne. Esta condición subraya la necesidad de planear cuidadosamente las actividades agropecuarias de acuerdo con las características específicas de cada tipo de suelo, promoviendo así un modelo de agricultura sustentable que contribuya a la conservación del medio ambiente, la protección del recurso suelo y el bienestar económico de las comunidades rurales.

Franco Maass et al. (2006), en el estudio titulado Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca, analizaron el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal durante el periodo 1972-2000, mediante técnicas de fotointerpretación. Los mapas generados siguieron el sistema de clasificación de la Serie I del INEGI. La incorporación de un SIG permitió evaluar la densidad de la cobertura forestal y cuantificar el cambio de uso del suelo. Los resultados revelaron que aproximadamente el 20 % del área del parque sufrió algún nivel de degradación y que la tasa anual de deforestación fue de 0.006 %, lo que evidenció una pérdida paulatina, pero constante, de los ecosistemas forestales.

El ICAR (2009), el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), que forma parte de la Universidad Autónoma del Estado de México, en colaboración con diversos investigadores, publicó el libro Los bosques y selvas del Estado de México. Esta obra recopila y analiza los cambios en la cobertura vegetal entre los años 1970 y 2000, y propone una nueva clasificación para el año 2009, basada en el análisis de imágenes satelitales. El estudio proporciona una valiosa actualización sobre el estado y la evolución de los ecosistemas forestales de la entidad, integrando información clave para la toma de decisiones en materia de conservación y manejo sostenible de los recursos naturales.

Pineda et al. (2009) desarrollaron un estudio cuyo objetivo principal fue describir y analizar los cambios en la cobertura y uso del suelo ocurridos en el Estado de México durante el periodo comprendido entre 1993 y 2002. Este trabajo se centró en el cálculo de los cambios netos, intercambios y transiciones sistemáticas que influyen en la pérdida de la cobertura forestal, empleando modelos estadísticos de regresión multivariada para identificar las posibles causas subyacentes del proceso de deforestación a nivel regional. La investigación reveló que las categorías de bosque mostraron cambios netos relativamente bajos, presentaron al mismo tiempo valores de intercambio elevados, lo que sugiere una alta dinámica de perturbación-recuperación dentro de las áreas forestales.

Las transiciones sistemáticas entre categorías de uso del suelo pusieron de manifiesto patrones complejos de degradación y regeneración ecológica. Mediante modelos de regresión lineal múltiple, se identificó que los factores demográficos a nivel municipal, tales como el crecimiento poblacional y la expansión de asentamientos humanos, tienen una influencia significativa en la pérdida de cobertura forestal. A escala de píxel, los modelos de regresión logística indicaron que las áreas boscosas más próximas a zonas agrícolas son las más vulnerables a la deforestación. Asimismo, se concluyó que las regiones con alta fragilidad ecológica presentan una mayor susceptibilidad a sufrir pérdida de cobertura forestal, lo cual representa un riesgo importante para la conservación de los ecosistemas del Estado de México.

En una investigación posterior, Pineda (2010) realizó un análisis más específico y detallado de los procesos forestales en la entidad durante el periodo 1993–2000. Este trabajo incluyó la descripción, análisis y simulación de escenarios de uso del suelo, con el objetivo de identificar zonas óptimas para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, actividades de restauración y protección ecológica, así como proyectos agroforestales. Para ello, se emplearon técnicas integradas de Evaluación Multicriterio (EMC), combinadas con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo cual permitió una evaluación espacial precisa de las áreas con mayor potencial productivo y ecológico, contribuyendo a una mejor toma de decisiones en el ámbito del manejo forestal sostenible.

Por otro lado, Cabral (2011) desarrolló el estudio titulado “Dinámica espacio-temporal del uso del suelo en la UMAFOR del Estado de México”, en el cual se analizó el cambio en la cobertura vegetal y el uso del suelo durante el periodo 1990–2007. La metodología incluyó la fotointerpretación de imágenes satelitales Landsat TM y QuickBird, utilizando el software ArcView 3.2, complementada con la sobreposición de curvas de nivel vectoriales derivadas de las cartas topográficas del INEGI. Este enfoque permitió una evaluación precisa de las transformaciones espaciales ocurridas en las Unidades de Manejo Forestal (UMAFOR) de la entidad.

Entre los hallazgos más relevantes del trabajo identificaron la disminución significativa del bosque cerrado, con una tasa de pérdida anual del 2.98 %, equivalente a 7,729 hectáreas, así como una reducción del área forestal arbustiva del 0.80 % anual, lo que representa una pérdida de 511 hectáreas. En contraste, otras categorías mostraron un incremento en su superficie hacia el año

2007, destacando el crecimiento del bosque abierto con una tasa anual del 3.82 %, seguido por el bosque fragmentado (1.62 %), plantaciones forestales (1.25 %), y otras formas de vegetación como pastizales, agricultura de temporal y zonas de uso mixto, incluyendo asentamientos humanos (0.25 %).

Adicionalmente, el estudio generó mapas temáticos actualizados sobre la vegetación y el uso actual del suelo, así como una estimación detallada de las tasas de deforestación para cada municipio del área de estudio. Una de las contribuciones más destacadas de este trabajo fue la comparación entre las Series I y II de cobertura del INEGI, la cual evidenció diferencias sustanciales entre ambas bases de datos, resaltando la necesidad de estandarizar y mejorar los procesos de levantamiento y actualización de la información geoespacial a nivel nacional.

Coutiño (2012) llevó a cabo un estudio titulado “Análisis multitemporal de imágenes satelitales para conocer la calidad del agua en la presa Valle de Bravo”, cuyo objetivo principal fue aplicar una metodología basada en el análisis multitemporal de imágenes satelitales con el fin de evaluar, de manera cualitativa, la calidad del agua en este importante cuerpo hídrico del Estado de México. La investigación integra información obtenida de tres campañas de muestreo realizadas entre los años 2010 y 2011, las cuales se combinaron con el análisis de imágenes digitales procesadas mediante técnicas de percepción remota y Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Este enfoque permitió demostrar la eficacia del uso de tecnologías espaciales para el monitoreo ambiental, particularmente en lo relativo a la vigilancia y gestión de recursos hídricos. El documento se organiza en cuatro capítulos claramente estructurados. En el primero, se introducen los conceptos fundamentales y las aplicaciones de la percepción remota y los SIG en el estudio de la calidad del agua. El segundo capítulo aborda el procesamiento digital de imágenes, detallando procedimientos como la rectificación geométrica, el realce de imágenes y la clasificación temática. El tercer capítulo contextualiza el estudio al presentar las características físicas, ambientales y socioeconómicas del municipio de Valle de Bravo, además de revisar antecedentes relacionados con la calidad del agua en la región. Finalmente, en el cuarto capítulo se presenta un análisis detallado de las imágenes satelitales del embalse, cuyos resultados son comparados con los datos obtenidos en campo. Esta comparación permitió validar la utilidad de las técnicas de percepción remota como herramienta complementaria a los métodos tradicionales de monitoreo, reafirmando su aplicabilidad en la evaluación ambiental.

Por su parte, Champo et al. (2012) realizaron el estudio titulado “Pérdida de cobertura forestal en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, Michoacán, México (2006–2010)”, en el cual se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la pérdida de cobertura forestal dentro de esta importante área natural protegida, ubicada entre los estados de Michoacán y México. El estudio abarcó el periodo comprendido entre 2006 y 2010 y empleó imágenes satelitales de alta resolución provenientes del satélite SPOT, con una resolución espacial de 10 metros. Las imágenes fueron sometidas a un riguroso proceso de calibración radiométrica y corrección atmosférica, seguido de una georreferenciación precisa mediante puntos de control terrestre, garantizando una elevada exactitud espacial en el análisis.

A partir del procesamiento de estas imágenes, se generaron mapas temáticos que diferenciaban entre áreas con presencia y ausencia de vegetación arbórea, clasificando el territorio en categorías de "bosque" y "no bosque". Dentro de la categoría de bosque, se realizó una clasificación supervisada más detallada que permitió distinguir entre bosques de oyamel (Abies religiosa) y bosques de pino, apoyándose en criterios altitudinales, ya que ambas especies presentan distribuciones altitudinales particulares y bien definidas. Esta diferenciación fue fundamental para identificar con mayor precisión las zonas dominadas por el oyamel, especie

esencial para la hibernación de la mariposa monarca (Danaus plexippus), y cuya conservación es crítica para el mantenimiento del equilibrio ecológico de la reserva.

El análisis multitemporal de los mapas generados evidenció una pérdida acumulada de 2,227 hectáreas de bosque de oyamel en el periodo de estudio, lo que representa una tasa anual de deforestación aproximada de 556.75 hectáreas. Estos resultados fueron puestos en perspectiva mediante su comparación con reportes previos sobre afectaciones forestales por plagas elaborados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Universidad Autónoma Chapingo en 2004. Asimismo, se contrastaron con los registros de acciones de saneamiento forestal implementadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) entre 2005 y 2009. Esta triangulación de datos permitió contextualizar los resultados dentro del marco de las intervenciones institucionales previas, y comprender de manera más integral los factores que han contribuido al proceso de degradación forestal en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca.

Valdez et al. (2012) realizaron un estudio en el Parque Nacional Nevado de Toluca, una de las 160 Áreas Naturales Protegidas de México, con una extensión de 51,000 hectáreas, conformada por 25 microcuencas y 22 localidades. El objetivo del trabajo fue aplicar Sistemas de Información Geográfica (SIG) para apoyar el ordenamiento ecológico del área. La metodología, basada en Valdez (2008), consistió en generar mapas temáticos del medio físico, así como de las condiciones sociales y económicas de las comunidades dentro del parque. Esta información permitió elaborar un diagnóstico integral, base para el diseño de estrategias y políticas que regulen el uso del suelo.

El principal aporte del estudio fue el desarrollo de un ordenamiento ecológico por cuenca hidrológica, donde se identificaron patrones de comportamiento ambiental y se clasificaron las actividades según su compatibilidad con el entorno (compatibles, compatibles con limitaciones e incompatibles). Asimismo, se propusieron políticas ambientales específicas para cada microcuenca, demostrando la utilidad del SIG como herramienta para la planificación territorial sostenible.

Camacho et al. (2015) realizaron un estudio enfocado en el análisis de los cambios en la cobertura y uso del suelo en la región sur-poniente del Estado de México, durante el periodo comprendido entre 1989 y 2009. Este análisis se fundamentó en la interpretación de imágenes satelitales Landsat, complementada con la aplicación del algoritmo de clasificación supervisada de máxima verosimilitud (Maximum Likelihood), lo que permitió la elaboración de mapas temáticos de uso de suelo y cobertura vegetal. Dichos mapas fueron sometidos a procesos de validación para evaluar su confiabilidad temática mediante índices de precisión y matrices de confusión, lo que aseguró una adecuada calidad en los resultados cartográficos.

A partir de la sobreposición espacial de los mapas generados para los dos años de análisis, se construyó una matriz de cambio que permitió cuantificar las transiciones entre distintas categorías de cobertura y uso del suelo. Esta matriz detalló la superficie correspondiente a cada cambio, facilitando el cálculo de tasas de transformación entre coberturas. Los resultados mostraron una notable disminución en la cobertura forestal, evidenciando una fuerte presión antrópica sobre los ecosistemas naturales de la región. El estudio resalta la importancia de integrar herramientas geoespaciales y modelos de clasificación robustos para la evaluación temporal de los recursos naturales y el diseño de estrategias orientadas a su conservación.

Por su parte, Regil et al. (2016), en su investigación titulada “Evaluación de las técnicas para el estudio del cambio de ocupación de suelo y propuesta metodológica para solventar algunas de sus inconsistencias: el Parque Nacional Nevado de Toluca, México”, realizaron un diagnóstico crítico de las metodologías comúnmente utilizadas para el estudio del cambio de uso y ocupación del suelo. El trabajo se enfoca específicamente en el Parque Nacional Nevado de Toluca, y tiene como finalidad identificar y corregir inconsistencias metodológicas que pueden comprometer la precisión de los análisis espaciales.

Los autores proponen una metodología alternativa basada en la interpretación interactiva de imágenes y resultados cartográficos, incorporando la validación cruzada con datos de campo y criterios geomorfológicos. Esta estrategia busca minimizar errores asociados a la clasificación automática y a los métodos de comparación multitemporal que no consideran las características ecológicas locales. El estudio enfatiza la necesidad de incorporar elementos cualitativos y participativos en los procesos de interpretación, lo que contribuye a mejorar la fiabilidad de los diagnósticos territoriales y a fortalecer las bases técnicas para la toma de decisiones en áreas protegidas.

Acosta et al. (2017), en su investigación titulada “Estimación de la densidad forestal mediante imágenes Landsat ETM+ en la región sur del Estado de México”, desarrollaron un estudio orientado a establecer una relación cuantitativa entre los parámetros forestales obtenidos a partir del Inventario Forestal y de Suelos del Estado de México y los valores espectrales derivados de imágenes Landsat ETM+. El objetivo principal fue generar modelos estadísticos que permitieran estimar variables clave del ecosistema forestal, tales como el área basal, el volumen maderable y la biomasa, utilizando herramientas de percepción remota.

Durante el análisis, se evaluaron distintas bandas espectrales del sensor, identificándose que la banda del infrarrojo medio (IRM) presentaba la mayor correlación con las variables biofísicas del bosque, por lo cual fue seleccionada como la variable predictora principal en los modelos de regresión. Los modelos generados mostraron niveles altos de ajuste estadístico, con coeficientes de determinación ajustados de 0.52 para área basal, 0.54 para volumen y 0.60 para biomasa, todos con un nivel de confianza del 95%. Estos resultados evidencian una capacidad explicativa considerable, permitiendo estimaciones espaciales confiables de los atributos forestales.

A partir de estos modelos, se generaron mapas temáticos de distribución de los parámetros forestales, los cuales constituyen una herramienta fundamental para el diseño e implementación de políticas de manejo forestal sustentable. Además, el estudio demuestra el potencial de las imágenes satelitales y el análisis estadístico como instrumentos eficaces para monitorear los recursos naturales y apoyar los procesos de planificación territorial.

Sánchez et al. (2017), en su estudio sobre los cambios de uso y cobertura del suelo y las etapas sucesionales de la vegetación en el Área Natural Protegida Altas Cumbres (ANPAC), en el noreste de México, destacan que la pérdida de cobertura vegetal representa una amenaza significativa para la biodiversidad. Por ello, subrayan la importancia del uso de sistemas de información geográfica y análisis de imágenes satelitales para monitorear estos cambios, especialmente en zonas protegidas donde la presión sobre los ecosistemas es creciente. El objetivo del estudio fue analizar los cambios en el uso del suelo dentro y fuera del ANPAC durante un periodo de 42 años (1973–2015) y proponer tiempos de sucesión para los principales tipos de vegetación. Se utilizaron imágenes satelitales LANDSAT de cinco años distintos, clasificadas en siete categorías mediante segmentación y análisis de máxima verosimilitud. Además, se aplicó un análisis de tabulación cruzada para evaluar los gradientes de sucesión.

Los resultados muestran una notable disminución de la vegetación tropical y, en menor medida, de los bosques templados dentro del área protegida, acompañada de un incremento del matorral. En el área exterior, se observó un aumento en la cobertura urbana, zonas sin vegetación y vegetación modificada. Mientras que en el interior del ANP los procesos de perturbación y recuperación fueron complejos y no lineales, en las zonas exteriores predominó la vegetación secundaria con patrones de sucesión más definidos. Este estudio representa la primera evaluación detallada del cambio de cobertura y uso del suelo en esta ANP, y sus resultados resaltan la urgencia de evaluar el impacto de estas transformaciones sobre la biodiversidad local.

Vieyra et al. (2022) desarrollaron el estudio titulado “El Cambio del Uso y Cobertura del Suelo, su Efecto y Vulnerabilidad del Ecosistema Nevado de Toluca”, con el objetivo de analizar el estado actual del uso y cobertura del suelo en dicha región, así como identificar los cambios más relevantes ocurridos entre los años 2009 y 2021. Este trabajo no solo se enfocó en cuantificar las modificaciones territoriales, sino también en evaluar la vulnerabilidad del ecosistema ante los efectos del cambio climático, con el propósito de generar información estratégica que respalde una gestión ambiental más sostenible y adaptativa.

El estudio empleó herramientas de teledetección y análisis geoespacial para caracterizar los patrones de transformación del paisaje y determinar las presiones antrópicas que han intensificado el deterioro ambiental. Se identificó que la sobreexplotación de recursos naturales, sumada a una escasa regulación en las actividades extractivas, ha generado un deterioro considerable en la estructura ecológica del Nevado de Toluca. Entre las principales actividades humanas responsables de esta degradación se encuentran el aprovechamiento forestal para la extracción de madera y productos no maderables, como los hongos silvestres comestibles, el pastoreo extensivo de pequeños rumiantes (principalmente ovinos y caprinos), y la expansión agrícola asociada al cultivo de papa y avena.

Estas prácticas han alterado significativamente los equilibrios ecológicos de la zona, provocando la fragmentación del hábitat y la pérdida de biodiversidad, lo que pone en riesgo la supervivencia de diversas especies silvestres. Además, el estudio concluye que la creciente presión sobre los recursos naturales exige con urgencia la implementación de estrategias de manejo ambiental más estrictas, que integren criterios de conservación y restauración ecológica.

García et al. (2024), en su investigación titulada “Cambio de uso de suelo asociado al manejo forestal sustentable en áreas de conservación: Caso Nevado de Toluca”, centraron su análisis en la evaluación del estado de conservación de las zonas con cobertura forestal dentro del Área de Protección de Flora y Fauna "Nevado de Toluca". El estudio se propuso entender la evolución del uso del suelo en esta zona protegida y detectar tendencias significativas de transformación territorial a lo largo del tiempo, particularmente en relación con la eficacia de los programas de manejo forestal sustentable.

Para ello, los autores emplearon un análisis multitemporal basado en imágenes satelitales Landsat, procesadas mediante la plataforma Google Earth Engine. El periodo de observación abarcó dos décadas (2003–2023), con énfasis en los años 2003, 2013 y 2023. Esta metodología permitió una evaluación precisa, sistemática y replicable de los cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo.

Los resultados del análisis permitieron clasificar el territorio en seis categorías de uso y cobertura del suelo: hielo/arenales, agricultura, pastizal, bosque abierto, bosque cerrado y cuerpos de agua. Según los datos correspondientes al año 2023, los bosques (sumando tanto los de tipo abierto

como cerrado) representan más del 79.0 % del área total del territorio protegido, lo que confirma una predominancia significativa de la vegetación forestal en el área de estudio.

El análisis temporal reveló una tendencia positiva hacia la recuperación forestal, especialmente en la categoría de bosque cerrado, que registró la mayor tasa anual de incremento con un 2.0 %. Por el contrario, el pastizal fue la categoría más afectada por la disminución de superficie, con una tasa de cambio negativa de -5.5 % anual. Estos hallazgos respaldan la hipótesis planteada por los autores, según la cual la implementación efectiva de planes de manejo y conservación ha tenido un impacto significativo en la restauración de los ecosistemas forestales. En consecuencia, se destaca el papel del Nevado de Toluca no solo como un refugio de biodiversidad, sino también como un modelo de gestión ambiental sostenible, basado en la interacción equilibrada entre aprovechamiento y conservación.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023) se ha consolidado como una de las principales instituciones en la generación de información primaria geoespacial para el país, siendo una fuente esencial para la planeación territorial, la gestión ambiental y el análisis del uso del suelo. Entre sus productos más destacados se encuentran las cartas de uso del suelo y vegetación a escala 1:50,000, las cuales proporcionan un nivel de detalle considerable y han sido ampliamente utilizadas en estudios ambientales, forestales y agrícolas. No obstante, cabe señalar que esta escala detallada solo cubre aproximadamente el 35 % de la superficie nacional, por lo que su alcance geográfico aún es limitado. En cambio, existen coberturas nacionales completas en escalas menores, específicamente a 1:250,000 y 1:1,000,000, distribuidas en siete series que abarcan distintos periodos de actualización y metodologías cartográficas.

Desde la primera edición de las guías para la interpretación de cartas de uso del suelo y vegetación, publicadas en 1978, hasta las más recientes de 2018, el INEGI ha proporcionado orientaciones metodológicas claras para el uso e interpretación de esta cartografía temática. Estas guías describen los principales tipos de vegetación presentes en el país, así como aspectos agrícolas relevantes, y están fundamentadas en la terminología y clasificación desarrollada por Flores Mata et al. (1971). Esta tipología ha sido adoptada oficialmente como base conceptual para la delimitación de unidades de vegetación natural e inducida, constituyéndose en una herramienta fundamental para investigadores, técnicos y tomadores de decisiones.

A partir de 1998, el INEGI comenzó a publicar los diccionarios de datos de uso del suelo y vegetación, los cuales han sido puestos a disposición del público a través de su plataforma digital. Estos diccionarios contienen descripciones detalladas de cada tipo de cobertura, incluyendo características estructurales, especies dominantes, condiciones ecológicas y usos predominantes. En particular, se hace una distinción clara entre la vegetación natural, como bosques, selvas y matorrales, incluyendo la vegetación inducida o modificada por actividades humanas, como áreas agrícolas, pastizales manejados y zonas urbanas. Esta información constituye un recurso clave para la armonización de bases de datos espaciales y para el desarrollo de políticas públicas orientadas al ordenamiento ecológico del territorio.

En México, una proporción significativa de los estudios relacionados con la cobertura forestal se ha centrado predominantemente en el diagnóstico del estado actual de los ecosistemas y en la identificación de sus principales amenazas y atribuciones. Estos trabajos, si bien son fundamentales para comprender la magnitud y distribución de la pérdida de cobertura vegetal, tienden a limitarse al análisis descriptivo del problema. En la mayoría de los casos, no abordan de manera integral la modelación de escenarios futuros ni la generación de propuestas concretas de conservación que permitan mitigar los impactos ambientales derivados del cambio en el uso del suelo y la deforestación.

Este enfoque parcial ha dejado un vacío importante en la formulación de estrategias proactivas, pues el diseño de políticas públicas efectivas requiere no solo comprender el estado actual del territorio, sino también anticipar su evolución bajo distintos supuestos de intervención o inacción. La modelación espacial, el análisis predictivo y la simulación de escenarios representan herramientas clave que, desafortunadamente, son tratadas en muchos estudios como líneas de investigación complementarias o secundarias, cuando en realidad deberían integrarse como componentes centrales dentro de una agenda ambiental orientada a la sostenibilidad y resiliencia de los ecosistemas forestales.

De toda la información antes mencionada se concentra a continuación en un cuadro resumen de autores estatales, ver tabla 6.

Tabla 6. Resumen de los autores Estatales consultados

Autor(es)	Año	Título del estudio	Periodo analizado	Objetivo del estudio	Metodología utilizada	Fundamentos teóricos
González et al.	2000	Atlas del Medio Físico del Estado de México	2000	Describir las coberturas existentes mediante la clasificación de imágenes satelitales.	Imágenes Landsat, clasificación basada en INEGI	Clasificación de INEGI; enfoque en percepción remota y cartografía temática.
INIFAP	2004	Carta de uso del suelo	2000	Elaborar un mapa detallado del uso del suelo a escala 1:50,000 con imágenes satelitales.	Imágenes SPOT y Landsat; escala 1:50,000	Clasificación similar a INEGI; técnicas de percepción remota y SIG.
Franco Maass et al.	2006	Dinámica de perturbación-recuperación en zonas forestales	1972–2000	Analizar los cambios en cobertura forestal y procesos de perturbación-recuperación.	Fotointerpretación, SIG, clasificación INEGI Serie I	Teoría de perturbación y resiliencia ecológica; dinámica de ecosistemas.
ICAR	2009	Los bosques y selvas del Estado de México	1970–2000 y 2009	Documentar cambios en la cobertura forestal y actualizar clasificaciones con imágenes satelitales.	Imágenes satelitales; nueva clasificación temática	Percepción remota; análisis multitemporal y cambios de cobertura.
Pineda et al.	2009	Cambios en uso y cobertura del suelo	1993–2002	Estudiar cambios, intercambios y causas de pérdida de cobertura forestal.	Regresiones multivariantes; SIG	Modelos de cambio de uso de suelo; análisis espacial y regresión múltiple.
Pineda	2010	Simulación de procesos forestales	1993–2000	Identificar zonas óptimas para restauración, protección y plantaciones forestales mediante evaluación multicriterio.	Evaluación multicriterio	Técnicas multicriterio; análisis de aptitud espacial; modelación para toma de decisiones.
Cabral	2011	Dinámica espacio-temporal del uso del suelo en UMAFOR	1990–2007	Analizar cambios espaciales en cobertura y uso del suelo mediante SIG y fotointerpretación.	Landsat TM, QuickBird, ArcView 3.2	Comparación de series INEGI I y II; dinámica espacio-temporal; análisis SIG.
Coutiño	2012	Análisis multitemporal de imágenes para calidad del agua	2010–2011	Evaluar la calidad del agua mediante imágenes satelitales y datos de campo.	SIG y percepción remota	Teoría de percepción remota; integración SIG–datos in situ.
Champo et al.	2012	Pérdida de cobertura forestal en la Reserva Mariposa Monarca	2006–2010	Cuantificar pérdida de cobertura forestal en la reserva y vincularla a variables ecológicas.	Imágenes SPOT, clasificación supervisada, altitud	Ecología del paisaje; clasificación altitudinal; especies indicadoras (oyamel).
Valdez et al.	2012	Aplicación de los sistemas de información geográfica para ordenamientos ecológicos en Áreas Naturales Protegidas	1970-2005	Aplicar SIG para elaborar un ordenamiento ecológico por cuenca hidrológica	SIG, mapas físicos y socioeconómicos, diagnóstico participativo	Basado en la metodología de ordenamiento ecológico (Valdez 2008); integración de variables físicas y sociales; fundamentos en desarrollo sostenible y gestión ambiental.
Camacho et al.	2015	Cambios de cobertura en el sur poniente del Estado de México	1989–2009	Identificar cambios en cobertura mediante mapas temáticos y matriz de cambio.	Landsat, algoritmo de máxima verosimilitud	Modelos de clasificación supervisada; análisis de cambio de cobertura.
Regil et al.	2016	Evaluación metodológica del cambio de ocupación del suelo	1972-2000	Detectar inconsistencias metodológicas y proponer mejoras en el análisis de cambios de uso del suelo.	Análisis crítico metodológico; interpretación interactiva	Metodología comparativa; teoría de error en análisis de cambio de uso del suelo.
Acosta et al.	2017	Estimación de densidad forestal con Landsat ETM+	2010	Establecer relación entre variables espectrales e inventario forestal mediante modelos de regresión.	Modelos de regresión; Landsat ETM+	Relación espectro-biofísica; teoría de sensores remotos; regresión estadística.
Vieyra et al.	2022	Cambio de uso del suelo y vulnerabilidad del ecosistema Nevado de Toluca	2009–2021	Analizar la vulnerabilidad del ecosistema ante el cambio climático y uso del suelo.	SIG, análisis de vulnerabilidad, inventario de actividades humanas	Evaluación de vulnerabilidad ecológica; enfoque socioecológico.
García et al.	2024	Cambio de uso del suelo asociado al manejo forestal sustentable	2003–2023	Evaluar efectividad de manejo sustentable mediante análisis multitemporal satelital.	Google Earth Engine, imágenes Landsat multitemporales	Teoría de conservación y manejo forestal sustentable; monitoreo satelital.
INEGI	2018	Generación de cartografía de uso del suelo y vegetación	1978–2018	Generar información base para análisis espacial con tipología nacional de vegetación.	Cartografía temática; escalas 1:50,000 a 1:1,000,000	Tipología de vegetación (Flores Mata et al., 1971); cartografía oficial multiescala.

Fuente: Elaboración propia.

1.8 Marco jurídico

El desarrollo sustentable ha sido reconocido como un principio rector en las políticas ambientales a nivel global, nacional y local, cuyo propósito es equilibrar las necesidades sociales, económicas y ambientales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias demandas. En este contexto, las Áreas Naturales Protegidas (ANP) representan una de las herramientas más importantes para la conservación de la biodiversidad, la regulación de los servicios ecosistémicos y la contención de la degradación ambiental. Para garantizar su protección y manejo adecuado, diversos países han diseñado y adoptado un conjunto de instrumentos jurídicos que integran enfoques ecológicos, sociales y económicos bajo el marco del desarrollo sustentable.

En el caso de México, el marco jurídico ambiental ha evolucionado para fortalecer el régimen de conservación de las ANP, estableciendo mecanismos normativos, técnicos y participativos que orientan su creación, administración y uso racional. Leyes como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), así como su Reglamento en materia de Áreas Naturales Protegidas, junto con normas oficiales, decretos específicos y programas de manejo, conforman un entramado legal que permite armonizar la preservación de los ecosistemas con las actividades humanas compatibles, tales como el ecoturismo, la educación ambiental y el aprovechamiento sustentable de recursos.

Asimismo, estos instrumentos jurídicos incorporan principios clave como la participación social, la corresponsabilidad, la prevención, la precaución y la restauración ambiental, fomentando esquemas de gobernanza ambiental que incluyen a comunidades locales, instituciones gubernamentales, organizaciones civiles y el sector académico. De esta forma, las ANP no solo se entienden como espacios restringidos a la conservación, sino como territorios estratégicos donde se materializan las aspiraciones del desarrollo sustentable**.**

1.8.1 Acuerdos Internacionales

En las últimas décadas, el cambio en el uso del suelo se ha reconocido como uno de los principales factores que contribuyen al cambio global. Este fenómeno puede afectar al medio ambiente de manera parcial o total, dependiendo en gran medida de las políticas de conservación vigentes y del compromiso social e institucional por preservar áreas naturales.

En este contexto, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) impulsó la creación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): un conjunto de 17 objetivos y 169 metas diseñados para abordar los principales desafíos que enfrenta la humanidad. Entre estos se incluyen la erradicación de la pobreza, la reducción de la desigualdad, la lucha contra el cambio climático, la protección del medio ambiente, y la promoción de la paz y la justicia (ONU, 2021).

Los ODS constituyen un llamado urgente a la acción colectiva, en el que gobiernos, empresas, sociedad civil y ciudadanía deben colaborar para garantizar un desarrollo equitativo y sostenible. Su enfoque integral busca equilibrar el crecimiento económico, la protección ambiental y el bienestar social, reconociendo la interdependencia entre estos tres pilares fundamentales para el futuro del planeta (ONU, 2021).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), son establecidos por la Organización de las Naciones Unidas en 2015 como parte de las estrategias que se pretenden llegar en la Agenda 2030, estas representan un llamado global para erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar paz y prosperidad para todas las personas. Entre los 17 objetivos, el ODS 15, titulado

"Vida de ecosistemas terrestres", se enfoca en la protección, restauración y promoción del uso sostenible de los ecosistemas terrestres, la gestión sostenible de los bosques, la lucha contra la desertificación, y la detención y reversión de la degradación de las tierras y la pérdida de biodiversidad (ONU, 2021).

Este objetivo reconoce que los ecosistemas terrestres, como los bosques, montañas, pastizales y zonas áridas, son esenciales para la vida en la Tierra, ya que proporcionan servicios fundamentales como la purificación del aire y del agua, la regulación del clima, el almacenamiento de carbono y el sustento de millones de especies, incluida la humana (ONU, 2021). Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan amenazas constantes debido a actividades humanas como la deforestación, el cambio de uso del suelo, la expansión urbana, la sobreexplotación de recursos naturales y el cambio climático.

Una de las metas más destacadas del ODS 15 es la 15.2, que busca “promover la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, poner fin a la deforestación, recuperar los bosques degradados e incrementar la forestación y la reforestación a nivel mundial” (ONU, 2021). Esta meta resalta la necesidad urgente de adoptar políticas de conservación eficaces, desarrollar modelos de desarrollo compatibles con la protección de la biodiversidad y fortalecer el compromiso de los gobiernos, las empresas y la sociedad civil en la protección del patrimonio natural.

Cumplir con el Objetivo 15 implica un enfoque integral y colaborativo, donde la sostenibilidad ambiental se convierta en una prioridad en todos los niveles de decisión. Preservar los ecosistemas terrestres no solo garantiza el equilibrio ecológico del planeta, sino también el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

También por parte de la ONU adoptó en 1994 la **Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD)** que promueve prácticas sostenibles de manejo del suelo, restauración de tierras degradadas y fortalecimiento de capacidades locales. Además, la meta 15.3 del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) busca lograr un mundo con degradación neutra del suelo para 2030, es decir, que cualquier pérdida de tierra productiva se compense con su recuperación en otra parte.

La lucha contra la desertificación es un esfuerzo global para prevenir y revertir la degradación de tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, que afecta gravemente la biodiversidad, la agricultura y la seguridad alimentaria. La desertificación es causada principalmente por actividades humanas insostenibles, como la deforestación, el sobrepastoreo, el uso inadecuado del suelo y el cambio climático. Esta problemática impacta especialmente a comunidades rurales que dependen directamente de los recursos naturales para su subsistencia.

La lucha contra la desertificación requiere un enfoque integrado que combine políticas públicas, tecnología, educación ambiental y participación comunitaria, con el fin de proteger los ecosistemas y garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

1.8.2 Marco jurídico Federal

En México, la conservación de las Áreas Naturales Protegidas está respaldada por un marco jurídico federal que busca preservar la biodiversidad, proteger los ecosistemas y garantizar el uso sostenible de los recursos naturales. Estas áreas representan una herramienta clave para la

política ambiental del país, ya que contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático, conservar especies en peligro de extinción y mantener servicios ecosistémicos vitales.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), publicada en 1988 y actualizada en diversas ocasiones, es la principal norma en materia ambiental a nivel federal. Esta norma se enfoca en preservar y restaurar el equilibrio ecológico, proteger el medio ambiente y regular el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Sus ejes principales son el ordenamiento ecológico, las bases para creación, administración y vigilancia de las Áreas Naturales Protegidas, la evaluación del impacto ambiental, previsión y control de la contaminación, la educación y participación ambiental y por último la inspección, vigilancia y sanciones. Esta ley también clasifica a las ANP en distintas categorías, tales como reservas de la biosfera, parques nacionales, monumentos naturales, áreas de protección de flora y fauna, santuarios y áreas de protección de recursos naturales.

También existe la **Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP),** órgano desconcentrado de la **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT**), que es la institución encargada de administrar, manejar y vigilar las ANP federales. Su labor incluye la elaboración de programas de manejo, la promoción de actividades de conservación, la educación ambiental y la participación comunitaria.

Además, el **Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos** otorga al Estado la facultad de regular el uso de los recursos naturales y garantizar su conservación. Asimismo, México es parte de tratados internacionales relevantes, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y la Convención RAMSAR sobre humedales, que refuerzan su compromiso global en la materia.

En conjunto, este marco normativo busca equilibrar el desarrollo económico con la preservación del medio ambiente, fomentando prácticas responsables y sostenibles que aseguren los recursos naturales para las generaciones futuras.

Las Áreas Naturales Protegidas en México están envueltas en varias leyes, que están enfocadas a la conservación, el aprovechamiento sostenible y la restauración de los ecosistemas. Estas se consideran pilares clave en la estrategia de protección ambiental, sostenibilidad y resiliencia frente al cambio climático.

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable establece directrices para el uso racional de los recursos forestales, y considera a las ANP como zonas prioritarias para la conservación, restauración y manejo sostenible. Prohíbe el aprovechamiento forestal comercial en zonas núcleo y promueve programas de reforestación y protección en zonas de amortiguamiento.

Por otra parte, la **Ley General de Vida Silvestre** protege la biodiversidad en su hábitat natural y otorga un papel central a las ANP, ya que éstas son refugio de numerosas especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción. Esta ley regula el aprovechamiento no extractivo (como el ecoturismo) dentro de estas áreas y promueve acciones de conservación en coordinación con comunidades locales.

La Ley de Aguas Nacionales reconoce el papel fundamental de las ANP en la conservación de cuencas, cuerpos de agua y zonas de recarga hídrica. Establece medidas para proteger la calidad y disponibilidad del agua dentro de estos territorios, especialmente en humedales y nacimientos de agua localizados dentro de ANP.

En el ámbito acuático, la **Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables** incluye disposiciones para restringir o regular la pesca en ANP marinas y zonas costeras, priorizando la recuperación de especies y el equilibrio de ecosistemas marinos. Estas áreas también fungen como laboratorios naturales para la investigación y el monitoreo pesquero.

La Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados contempla restricciones estrictas en ANP, con el fin de evitar riesgos ecológicos relacionados con la liberación de organismos genéticamente modificados (OGM), dada su alta biodiversidad y fragilidad ecológica.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos incluye a las ANP como zonas donde se deben aplicar criterios más estrictos en la gestión de residuos, minimizando impactos negativos de actividades humanas, especialmente las asociadas al turismo y a la cercanía de centros urbanos.

Desde el enfoque productivo, la **Ley de Desarrollo Rural Sustentable** considera a las ANP como parte de las regiones que requieren desarrollo equilibrado, integrando prácticas agrícolas sostenibles, servicios ambientales y conservación del capital natural, en beneficio de comunidades rurales que habitan o colindan con estos espacios.

La Ley General de Cambio Climático subraya la función de las ANP como sumideros de carbono, reguladores del clima local y barreras frente a eventos extremos. Además, promueve su fortalecimiento como parte de las estrategias de mitigación y adaptación frente al cambio climático.

En cuanto a la planeación gubernamental, el Plan Nacional de Desarrollo 2019–2024 reconoce la protección del medio ambiente como uno de sus ejes transversales, donde las ANP se integran como herramientas clave para garantizar el equilibrio ecológico y los derechos ambientales de las comunidades.

El Programa Nacional Hídrico 2020–2024 también incorpora a las ANP como áreas esenciales para garantizar el acceso al agua en calidad y cantidad, promoviendo su conservación como parte de la gestión integral del recurso hídrico.

Finalmente, el **Programa Especial de Cambio Climático 2021–2024** reconoce el papel estratégico de las ANP como territorios resilientes al cambio climático, en los que se deben priorizar acciones de restauración ecológica, monitoreo ambiental y participación comunitaria para la adaptación y reducción de vulnerabilidades.

En conjunto, las Áreas Naturales Protegidas no solo representan un instrumento de conservación ecológica, sino que se integran de manera transversal en el marco jurídico y programático de México, reflejando un enfoque integral hacia la sostenibilidad ambiental y el bienestar social.

En México, el uso racional y la conservación de los recursos naturales están regulados a través de un conjunto de **Normas Oficiales Mexicanas (NOM)** que establecen criterios técnicos, procedimientos y especificaciones para diversas actividades económicas, ambientales y turísticas. Estas normas tienen como objetivo garantizar que las acciones humanas se realicen de manera sostenible y con el menor impacto posible sobre los ecosistemas.

En el ámbito del turismo, destacan las **NOM 08-TUR-2002** y **09-TUR-2002**, que regulan la actividad de los guías turísticos. La primera establece los elementos que deben cumplir los guías generales y especializados en temas o localidades de carácter cultural, mientras que la segunda

se enfoca en los guías especializados en actividades específicas, promoviendo un turismo responsable y con enfoque en la preservación del patrimonio natural y cultural.

En cuanto al aprovechamiento forestal y de la biodiversidad, existe un conjunto de normas emitidas por la SEMARNAT que detallan los lineamientos para extraer y manejar productos del bosque y del suelo de manera sostenible. Entre ellas se encuentran:

NOM-005-SEMARNAT-1997, sobre el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de corteza, tallos y plantas completas.

NOM-010, 011 y 012-SEMARNAT-1996, que regulan respectivamente el uso de hongos, musgos, henos y doradillas, y leña para uso doméstico.

NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007, que establece los métodos para el uso controlado del fuego en terrenos forestales y agropecuarios, vital para la prevención de incendios.

NOM-019-SEMARNAT-2006, centrada en el control de insectos descortezadores, y la **NOM-020-SEMARNAT-2001**, sobre la rehabilitación y conservación de terrenos forestales de pastoreo.

NOM-021-SEMARNAT-2000, que define los métodos para evaluar la fertilidad y salinidad del suelo.

Otras normas, como la **NOM-026-SEMARNAT-2005** (aprovechamiento de resina), **027, 028 y 060-SEMARNAT** (extracción de tierra, raíces y mitigación del impacto en suelos), complementan el marco para el manejo responsable de recursos vegetales y del suelo.

En términos de protección de especies y biodiversidad, la **NOM-059-SEMARNAT-2010** es fundamental, ya que clasifica a las especies nativas mexicanas de flora y fauna silvestres según su riesgo y especifica los criterios para su protección. Asimismo, la **NOM-061-SEMARNAT-1994** busca mitigar los efectos del aprovechamiento forestal sobre flora y fauna silvestres, y la **NOM-126-SEMARNAT-2000** regula la colecta científica de especies y material biológico en el territorio nacional.

Respecto al manejo forestal maderable, la **NOM-152-SEMARNAT-2006** establece los contenidos mínimos de los programas de manejo forestal, garantizando que esta actividad se realice bajo criterios técnicos y de conservación.

En el ámbito del agua subterránea, la CONAGUA ha emitido las normas **NOM-003-1996 y NOM-004-1996**, que especifican los requisitos para evitar la contaminación de acuíferos durante la construcción, mantenimiento o cierre de pozos de extracción de agua.

1.8.3 Marco jurídico Estatal

El Estado de México cuenta con un marco legal para la conservación y manejo de sus Áreas Naturales Protegidas (ANP), el cual se fundamenta en la legislación federal y estatal. Este marco busca garantizar la preservación de la biodiversidad, la restauración ecológica y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Diversos instrumentos legales y de planeación del estado reconocen su importancia y establecen mecanismos para su creación, manejo y protección. A continuación, se detallan varios marcos jurídicos y programáticos del Estado de México están ligados a las ANP.

1- Plan de Desarrollo del Estado de México
Este instrumento rector de la administración estatal contempla la protección del medio ambiente como una prioridad transversal. En particular, promueve la conservación de los recursos naturales mediante el fortalecimiento de las Áreas Naturales Protegidas, reconociéndolas como espacios estratégicos para la recarga hídrica, la protección de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. El plan también impulsa la educación ambiental, el turismo sostenible y la participación social en torno a las ANP.

2- Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)
A nivel federal, la LGEEPA establece los lineamientos para la creación y manejo de las ANP en todo el país. El Estado de México, al ser una entidad federativa, debe acatar y aplicar estas disposiciones en su territorio.

3- Ley de Planeación del Estado de México y Municipios
Esta ley establece los procedimientos para la planeación del desarrollo en el estado, incluyendo la incorporación de las ANP en los planes de ordenamiento territorial y urbano.

4- Ley del Cambio Climático del Estado de México
Esta ley reconoce a las ANP como espacios clave para la adaptación y mitigación frente al cambio climático. Establece que las políticas públicas deben incluir medidas para conservar y restaurar estos territorios, ya que actúan como sumideros de carbono, reguladores del clima local y barreras naturales ante fenómenos extremos. Además, promueve la integración de las ANP en los planes municipales de acción climática.

5- Ley General de Bienes Nacionales
Regula la propiedad y uso de los bienes nacionales, incluyendo aquellos que forman parte de las ANP. Esta ley es aplicable cuando las ANP incluyen terrenos de propiedad federal.

6- Ley General de Vida Silvestre
Esta ley federal regula la conservación de la flora y fauna silvestres. Las ANP en el Estado de México deben alinearse con sus disposiciones, especialmente en lo que respecta a la protección de especies en peligro de extinción y la regulación de actividades que puedan afectar la biodiversidad.

7- Código para la Biodiversidad del Estado de México
Es la norma central en materia ambiental en el estado y el principal marco jurídico específico para las ANP. Define las categorías de protección, los procedimientos para su declaración y los lineamientos para su manejo. También establece las obligaciones de las autoridades estatales y municipales, así como los derechos y responsabilidades de las comunidades que habitan o interactúan con estos espacios. Este código garantiza que las ANP contribuyan a la preservación del patrimonio natural del estado y fomenta su aprovechamiento sustentable. Entre sus disposiciones clave se encuentran:

Categorías de protección: Incluye reservas estatales, parques estatales, parques urbanos, parques municipales, reservas naturales privadas o comunitarias, paisajes protegidos, zonas de preservación ecológica de los centros de población y santuarios del agua.

Declaratorias y programas de manejo: Establece que las ANP deben contar con declaratorias oficiales y programas de manejo que definan las acciones de conservación y uso sostenible.

Administración y vigilancia: Asigna responsabilidades a la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible del Estado de México y a los municipios para la gestión y supervisión de las ANP.

8- Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México
La Constitución estatal reconoce el derecho de toda persona a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. En ese sentido, establece que el Estado tiene la obligación de proteger los recursos naturales, incluyendo la biodiversidad y los ecosistemas. Esta base constitucional otorga legitimidad a las ANP como instrumentos de política pública ambiental, y respalda su conservación como un deber del gobierno y un derecho de los ciudadanos.

9- Código Administrativo del Estado de México
Este código complementa la legislación ambiental al establecer lineamientos sobre la propiedad, el uso del suelo y la planeación urbana y rural. Las ANP están consideradas dentro de las zonas sujetas a regulación especial, debido a su valor ambiental. El código también faculta a las autoridades a emitir restricciones de uso del suelo en favor de la conservación, y a integrar criterios ecológicos en la toma de decisiones administrativas y de desarrollo.

10- Registro Público Estatal de Áreas Naturales Protegidas
La Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible del Estado de México es responsable de mantener un registro público de las ANP, donde se inscriben las declaratorias y actos relacionados con su establecimiento y modificación.

11- Participación Municipal y Comunitaria
El Código para la Biodiversidad del Estado de México promueve la participación de los municipios y las comunidades en la gestión de las ANP. Los municipios pueden colaborar en la creación de ANP y en la implementación de programas de manejo, especialmente en las categorías de protección que les competen.

RESUMEN DEL CAPITULO

En primera instancia se manejó el tema de desarrollo sustentable donde se desarrolla el tema y se enfoca al desarrollo forestal en México, explicando las necesidades de promover la conservación por medio de un desarrollo sustentable, los cuales están englobados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales nos indican los desafíos que se tiene que enfrentar para llegar a un uso responsable de los recursos.

Posteriormente, se aborda el tema de la cobertura vegetal en México, desarrollando un estado del arte sobre la vegetación nacional y sus tipos de cobertura. Este apartado se centra especialmente en la vegetación del Estado de México, como área de estudio clave, para comprender mejor la dinámica de transformación del paisaje en contextos regionales.

Enseguida, se analiza el papel de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) como instrumento jurídico fundamental para la conservación ambiental. Aunque estas áreas presentan diversos desafíos de gestión, han contribuido significativamente a la disminución de la pérdida de biodiversidad. Se explica también la clasificación de las ANP en sus tres niveles federal, estatal y municipal, así como las categorías de manejo que existen dentro de ellas.

A partir de la identificación de problemáticas como la pérdida de cobertura vegetal dentro de las ANP, el siguiente apartado introduce las herramientas tecnológicas utilizadas en el análisis espacial. Se destaca el papel de la geomática, un campo interdisciplinario que integra tecnologías como la teledetección, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos digitales, que permiten recolectar, procesar y analizar información geoespacial con alto nivel de precisión.

En complemento a lo anterior, se incorpora el análisis mediante matrices de transición, un método cuantitativo eficaz para detectar y describir cambios en el uso del suelo. Con base en la metodología propuesta por Pontius et al. (2014), se identifican patrones de ganancia, pérdida y persistencia, lo cual permite distinguir cambios significativos y no aleatorios en la cobertura del paisaje.

También se exploran los modelos estadísticos de probabilidad, útiles para analizar y predecir fenómenos ambientales a partir de datos cuantitativos. Este tipo de modelos permite construir escenarios futuros y entender la relación entre diversas variables que influyen en el cambio del uso del suelo.

Con el propósito de contextualizar la metodología empleada, se revisan diversos estudios sobre cobertura forestal y uso del suelo realizados a nivel internacional, nacional y estatal. Esta revisión evidencia la utilidad y validez de estas herramientas en contextos similares, y destaca que los estudios de escala estatal o local suelen ser más detallados y generar resultados más específicos y aplicables.

Finalmente, el capítulo cierra con un análisis del marco jurídico aplicable a las ANP, comenzando con los compromisos internacionales y descendiendo hasta las leyes federales y estatales. Se examina cómo estos instrumentos normativos pueden representar tanto limitantes como oportunidades para una conservación efectiva y una gestión operativa funcional, en armonía con los principios del desarrollo sustentable.

CAPITULO 2. CONTEXTO GEOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

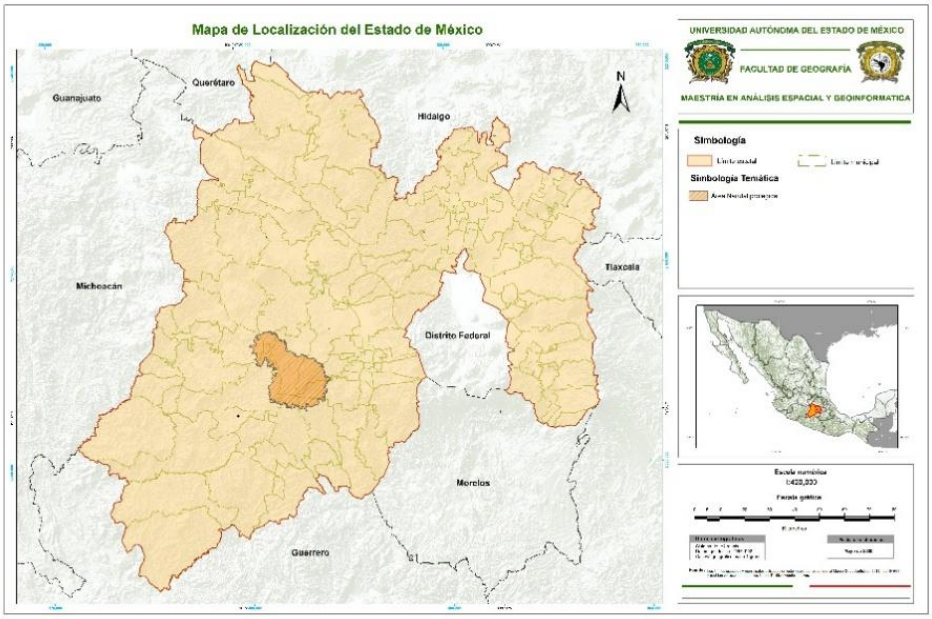
El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) tuvo su origen en 1936 como Parque Nacional, hasta que en 2014 se realizó una modificación en su categoría, adaptándose a nuevas necesidades y contextos. Dada la complejidad de los aspectos ambientales y sociales que abarca, ha resultado imprescindible redefinir su marco de actuación con un enfoque más preciso y legalmente sustentado. Este ajuste busca consolidar, de manera efectiva, un único objetivo de protección y conservación, al mismo tiempo que fomente el desarrollo tanto de las instituciones encargadas de su gestión como de las comunidades que históricamente han habitado en su interior, dentro de los límites de la zona de interés.

2.1. Localización geográfica

El área en cuestión se localiza dentro del Estado de México, el cual forma parte de las 97 Áreas Naturales Protegidas de México, destacándose como la entidad con el mayor número de zonas de protección en todo el país. En total, el Estado de México cuenta con 987,497.19 hectáreas de áreas protegidas, lo que representa aproximadamente el 43.91% de su territorio. De estas, 12 están bajo la administración de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), mientras que 85 son gestionadas por la Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF). Entre las zonas protegidas se incluyen nueve parques nacionales, 53 parques estatales, 12 reservas ecológicas estatales, cuatro parques municipales, seis parques urbanos, una reserva ecológica federal, un área de protección de flora y fauna, y un área de protección de recursos naturales. Además, 10 de estas áreas no cuentan aún con decreto formal (CEPANAF, 2018).

El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) se ubica en la porción centro-sur del Estado de México, específicamente a unos 23 kilómetros al suroeste de la ciudad de Toluca (ver Figura 4).

Figura 4. Localización del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)



Fuente: Elaboración propia

Esta vasta área abarca un total de 53,590.68 hectáreas, extendiéndose por varios municipios que forman parte de la región, incluyendo Almoloya de Juárez, Amanalco de Becerra, Calimaya, Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenango del Valle, Toluca, Villa Guerrero, Villa Victoria y Zinacantepec. Esta extensa zona de gran valor ecológico y cultural se caracteriza por una rica biodiversidad y por la presencia de diversos ecosistemas, lo que la convierte en un espacio clave para la conservación de la flora y fauna en la región. Su ubicación geográfica y la diversidad de su territorio hacen que el APFFNT sea de interés tanto para los estudios ambientales como para las políticas de manejo y conservación en el Estado de México. (ver Tabla 7)

Tabla 7. Superficie del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) por municipio.

Municipio	Superficie (ha)	Porcentaje %
Almoloya de Juárez	2,715.10	5.07
Amanalco	2,871.54	5.36
Calimaya	3,013.71	5.62
Coatepec Harinas	2,714.67	5.07
Temascaltepec	7,122.59	13.29
Tenango del Valle	6,114.12	11.41
Toluca	7,690.83	14.35
Villa Guerrero	2,668.67	4.98
Villa Victoria	0.48	0.001
Zinacantepec	18,678.17	34.85
Superficie total APFFNT	**53,590.68**	**100.00**

Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas con base en el Marco Geoestadístico Municipal 2020. INEGI, México, 2020.

A nivel estatal, el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca representa una zona de extraordinaria importancia en múltiples aspectos, incluyendo su relevancia ecológica, hidrológica, social y económica. Esta área forma parte integral del Sistema Volcánico Transmexicano (SVTM), una de las principales formaciones geológicas de México, que atraviesa gran parte del país y alberga una notable biodiversidad. Desde una perspectiva zoogeográfica, el APFFNT se posiciona como un punto de contacto y transición entre dos grandes regiones biogeográficas: la fauna neártica, que incluye especies propias de zonas más frías, y la fauna neotropical, que corresponde a especies características de zonas tropicales. Esta interacción entre dos regiones faunísticas diferentes le otorga un alto valor biológico, al ser un espacio crucial para la conservación de especies que dependen de este entorno de transición (CONANP, 2013).

En términos de vegetación, aproximadamente el 66% de la superficie del APFFNT está cubierta por bosques de pino (*Pinus spp.)* y abeto (*Abies religiosa*), dos especies arbóreas predominantes que configuran un ecosistema montañoso único. Estos bosques no solo son vitales para el ciclo hidrológico y la protección del suelo, sino que también representan hábitats esenciales para una gran diversidad de flora y fauna. Se estima que en el área habitan cerca de 288 especies de plantas, las cuales incluyen tanto especies endémicas como otras de amplio rango ecológico, contribuyendo significativamente a la riqueza natural del lugar (CONANP, 2013; Franco y Burrola, 2010). Esta diversidad biológica y la función ecosistémica que desempeñan estos bosques hacen

que el APFFNT sea un sitio de alto valor para la conservación y un recurso natural de gran importancia para el estado y el país en general.

2.2. Caracterización biofísica

La ubicación biogeográfica del Nevado de Toluca juega un papel fundamental en la diversidad de especies que alberga, ya que favorece la presencia tanto de grupos faunísticos propios del norte del continente americano como de aquellos característicos de Sudamérica. Esta particularidad geográfica contribuye a la alta diversidad biológica de la región, la cual se ve reflejada en un notable número de especies endémicas, es decir, aquellas que solo se encuentran en este lugar y en ninguna otra parte del mundo. Gracias a estas características únicas, México ha sido reconocido como uno de los cinco países con mayor riqueza biológica a nivel global, lo que resalta la importancia ecológica de sus diversos ecosistemas (SEMARNAT, 2016).

La interacción de las regiones biogeográficas neártica y neotropical en el territorio del Nevado de Toluca crea un entorno propicio para la existencia de una gran variedad de especies, pues las características climáticas y de vegetación resultantes de esta convergencia favorecen la formación de hábitats diversos que sustentan una amplia gama de formas de vida. En particular, la fauna del área es sumamente rica y variada, destacándose grupos clave como los mamíferos, aves, reptiles y anfibios. Esta diversidad faunística, que se manifiesta en la presencia de especies tanto comunes como raras, convierte al Nevado de Toluca en un sitio de gran interés para la investigación científica y la conservación de la biodiversidad (Vaca et al., 2007).

La combinación de la elevada altitud del Nevado de Toluca y su ubicación en la latitud tropical tiene un impacto significativo en la biodiversidad de la zona, ya que crea condiciones únicas para las especies que lo habitan. Estas condiciones geográficas colocan a las especies dentro de lo que se considera refugios interglaciares, es decir, áreas que han servido como refugio para organismos durante los periodos glaciales, cuando las temperaturas eran mucho más frías. En consecuencia, las especies que se encuentran en el Nevado de Toluca están adaptadas a ambientes que pudieron haber formado parte de una distribución más amplia durante épocas pasadas, cuando los glaciares cubrían mayores áreas del continente. Este fenómeno geográfico y ecológico contribuye a la alta diversidad biológica de la zona, permitiendo que una variedad de especies sobreviva y se desarrolle en estos ambientes específicos.

La diversidad biológica del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca es el resultado de una compleja interacción entre su posición geográfica, relieve, altitud y una serie de factores ambientales que incluyen sus características geológicas, edáficas, hidrológicas y climáticas. En el área se desarrollan una variedad de ecosistemas de gran valor ecológico, que albergan bosques de pino (*Pinus*), de oyamel (*Abies religiosa*), de encino (*Quercus*), así como formaciones mixtas como el bosque de pino-encino (*Pinus-Quercus*) y pino-oyamel (*Pinus-Abies*). Además, existen áreas de pastizal o zacatonal alpino, que complementan este mosaico de hábitats. Estos diversos ecosistemas ofrecen refugio y recursos a una rica fauna silvestre, lo que contribuye a la relevancia ecológica de la zona (SEMARNAT, 2016).

Las montañas ubicadas en latitudes tropicales, como el Nevado de Toluca, se caracterizan por tener lo que se conoce como “Baja velocidad de cambio climático”. Este fenómeno significa que, debido a su altitud y particularidades geográficas, los cambios de temperatura en estas zonas pueden ocurrir con movimientos horizontales relativamente cortos. Como resultado, las especies que habitan en estos ecosistemas no necesitan realizar migraciones largas para encontrar condiciones ambientales adecuadas si las temperaturas cambian. A nivel global, las montañas

con estas características han sido identificadas como importantes centros de generación y mantenimiento de la biodiversidad, particularmente durante los últimos periodos glaciales, cuando las especies se refugiaban en estas áreas de mayor altitud para sobrevivir a las condiciones frías (Sandel et al., 2011; Morueta et al., 2013). El rol de estas montañas como refugios para especies de afinidad fría y templada es aún más relevante en el contexto del cambio climático global, ya que se espera que el incremento de la temperatura asociado al calentamiento global haga que estas zonas de altitud jueguen un papel crucial en la conservación de la biodiversidad, proporcionando hábitats adecuados para especies que, de otro modo, podrían verse desplazadas (Loarie et al., 2009).

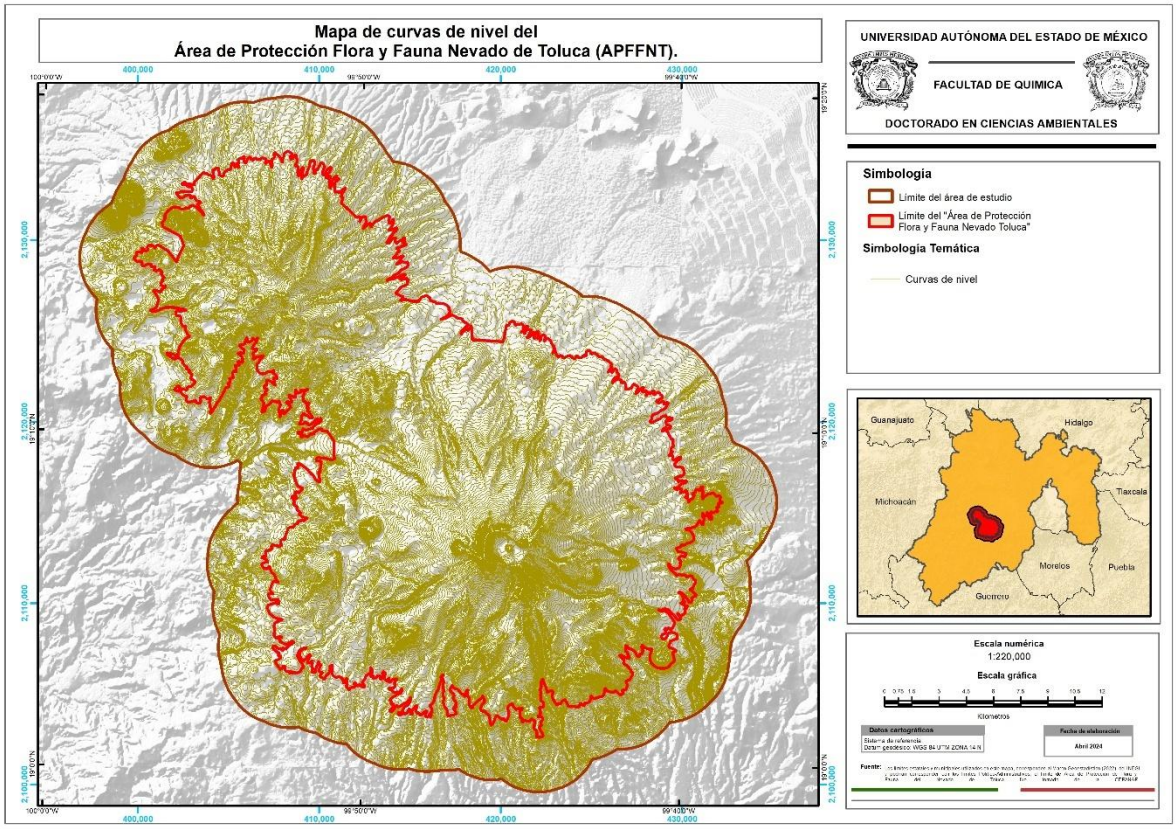
2.2.1 Orografía

El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca abarca una amplia y diversa zona geográfica que se extiende desde la curva de nivel de los 3,000 metros sobre el nivel del mar hasta el imponente Pico del Fraile, el punto más alto de la región, a 4,680 metros sobre el nivel del mar. Este rango de altitudes no solo caracteriza su paisaje, sino que también determina la gran diversidad de ecosistemas y especies que habitan en el área. El límite inferior de esta área de protección, situado a 3,000 metros sobre el nivel del mar, incluye no solo el propio volcán Nevado de Toluca, sino también otras formaciones volcánicas importantes, como los cerros San Antonio y El Calvario, ambos ubicados a 3,600 metros sobre el nivel del mar (SEMARNAT, 2016). Estas estructuras volcánicas son fundamentales para la geografía y ecología de la región, ya que aportan a la complejidad del terreno y a la diversidad de hábitats disponibles para diversas especies, (ver Figura 5).

Hacia el noroeste del estratovolcán, el área también abarca una serie de otras elevaciones significativas que contribuyen al relieve característico de la zona. Entre ellas se incluyen el Cerro de los Órganos, que alcanza los 3,400 metros sobre el nivel del mar, y el Cerro del Amparo, a 3,460 metros sobre el nivel del mar. Asimismo, el Cerro El Jabalí se eleva a 3,440 metros, mientras que el Cerro La Calera alcanza los 3,740 metros sobre el nivel del mar, destacándose como uno de los puntos más altos del área. El Cerro La Ciervita, situado a 3,480 metros, el Volcán Gordo con una altitud de 3,780 metros, y el Cerro Prieto, que llega a los 4,320 metros, también forman parte de este complejo sistema montañoso. Otros cerros importantes que enriquecen la topografía de la región son el Cerro Tepehuixco, a 3,480 metros sobre el nivel del mar, el Cerro Las Palomas, que se eleva a 3,600 metros, el Cerro El Zacatonal, con 3,440 metros, y finalmente, el Cerro Calotepec, que alcanza los 3,800 metros sobre el nivel del mar (SEMARNAT, 2016).

La variedad de altitudes y las múltiples elevaciones que componen el territorio del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca no solo enriquecen la geografía del área, sino que también crean una diversidad de microhábitats que favorecen una amplia gama de especies animales y vegetales. Estos rangos altitudinales permiten que se desarrollen ecosistemas específicos, adaptados a diferentes condiciones climáticas y geológicas, lo que contribuye a la alta biodiversidad que caracteriza a esta región.

Figura 5. Mapa de curvas de nivel del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)



Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Climas

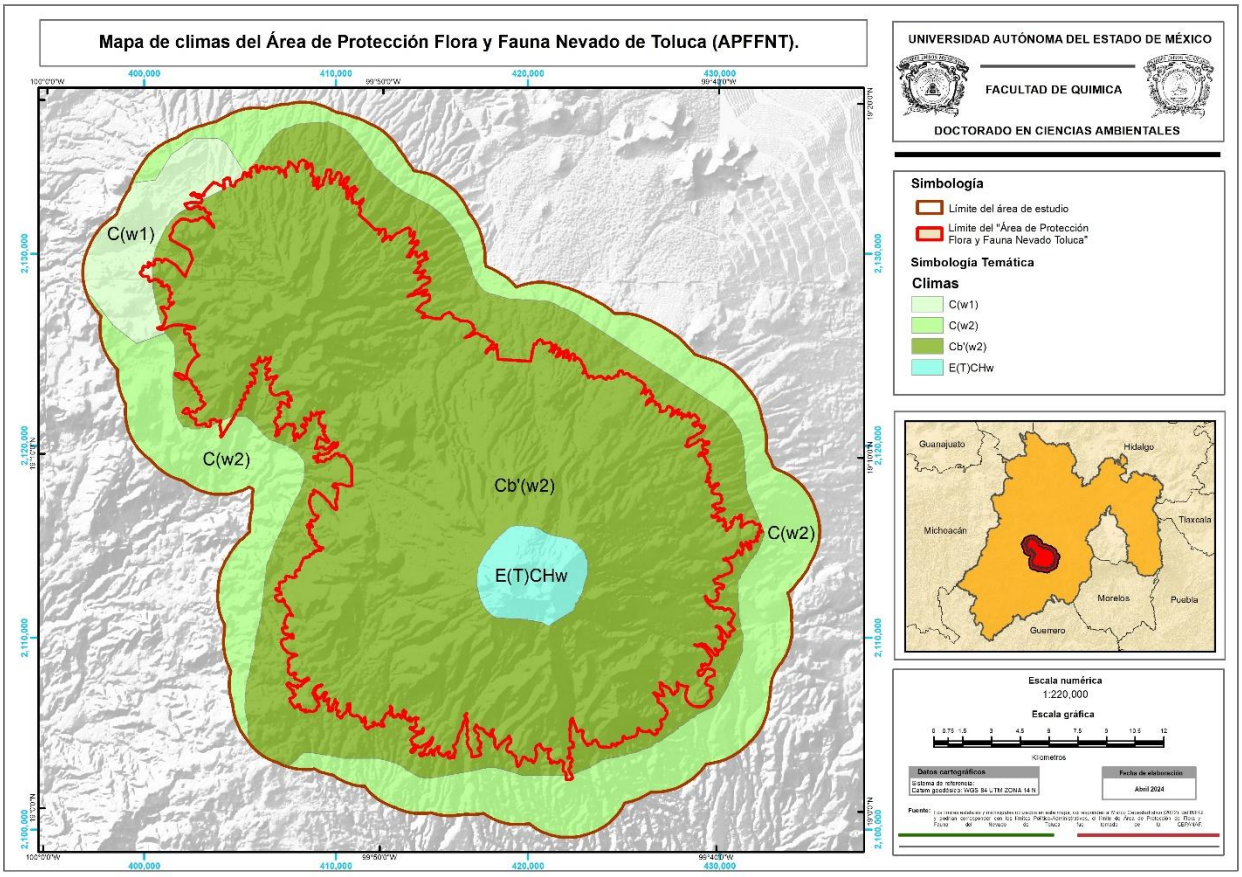
El APFFNT presenta una variedad de climas según la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García en 1973, lo que resalta la diversidad ambiental y ecológica de la región. Se pueden distinguir principalmente dos tipos de clima que dominan en diferentes altitudes del área protegida: el clima frío E(T) y el clima semifrío subhúmedo C(w), que se distribuyen de manera particular en función de la altitud, las precipitaciones y otros factores meteorológicos (SEMARNAT, 2016).

El clima E(T), también conocido como clima frío, se caracteriza por una temperatura media anual que oscila entre los 2°C y los 5°C. Este tipo de clima presenta una temperatura del mes más frío por debajo de 0°C, y una temperatura del mes más cálido que varía entre 0°C y 6.5°C. El régimen de lluvias en esta zona es predominantemente de verano, aunque también pueden presentarse nevadas durante el invierno, lo que acentúa las características extremas de este entorno. En cuanto a su comportamiento isotermal, la temperatura más elevada se presenta antes del solsticio de verano. Este tipo de clima predomina a partir de los 3,700 metros de altitud en el Nevado de Toluca, donde las condiciones climáticas se vuelven cada vez más severas debido a la altitud y la cercanía a la línea de nieve (SEMARNAT, 2016).

Por otro lado, el clima C(w) corresponde a un clima semifrío subhúmedo, con una temperatura media anual que fluctúa entre los 2°C y los 7°C. En esta zona, el régimen de lluvias sigue un patrón estacional, con lluvias concentradas principalmente en los meses de verano. Al igual que

el clima E(T)H, el comportamiento isotermal es característico, y la temperatura más cálida del año se alcanza antes del solsticio de verano, (ver Figura 6). Este tipo de clima se extiende alrededor del volcán Nevado de Toluca, cubriendo una franja de altitud que varía entre los 2,800 y los 3,700 metros sobre el nivel del mar. La diferencia de altitud entre el Nevado de Toluca y las zonas circundantes, como el Valle de Toluca, de aproximadamente 2,020 metros, o la vertiente sur del volcán, con una diferencia de 3,000 metros, influye en la variabilidad de las condiciones meteorológicas. Esto hace que, generalmente, el costado norte del Nevado sea más frío que el sur, dado el gradiente térmico vertical (SEMARNAT, 2016).

Figura 6. Mapa de climas de nivel del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)



Fuente: Elaboración propia

El área protegida presenta características meteorológicas particulares debido a su ubicación geográfica, lo que da lugar a un clima diverso con marcadas variaciones. Aunque las precipitaciones pueden ocurrir en cualquier época del año, la temporada de lluvias se extiende desde mayo hasta octubre, siendo julio el mes más lluvioso. En algunos años, se observa una disminución en las lluvias durante los meses de julio o agosto, pero esta baja se ve compensada en septiembre, cuando la actividad hidrometeorológica tropical retoma su curso habitual. Durante los meses más lluviosos, las precipitaciones intensas pueden alcanzar hasta 90 milímetros en menos de 24 horas, especialmente en los meses de julio, agosto y septiembre. Estas lluvias se consideran valores elevados, lo que resalta la dinámica hidrológica de la región (SEMARNAT, 2016).

Además, el Nevado de Toluca experimenta un promedio anual de 59.5 días de granizo, con los meses de mayo a octubre siendo los de mayor frecuencia. Durante este período, el intervalo de días con granizo varía entre 5.6 y 9.8 días, lo que subraya la variabilidad climática y la presencia de fenómenos meteorológicos extremos en la zona. Los datos proporcionados por la estación meteorológica ubicada en el cráter del Nevado de Toluca, a una altitud de 4,283 metros sobre el nivel del mar, muestran que las temperaturas medias mensuales fluctúan entre los 2°C y los 5°C. En cuanto a las temperaturas extremas, las máximas pueden llegar hasta los 21°C durante el verano, mientras que las mínimas pueden descender hasta los 10°C en invierno, lo que refleja las condiciones extremas de temperatura que enfrenta la zona durante todo el año (SEMARNAT, 2016).

2.2.4 Geología

El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca se encuentra en el corazón de la provincia fisiográfica conocida como la Faja Volcánica Transmexicana, una extensa franja montañosa que se extiende a lo largo de 130 kilómetros y constituye una de las principales cordilleras de México. Esta región alberga algunas de las cumbres más altas del país, entre las cuales se destaca el Nevado de Toluca, con una altitud de 4,680 metros sobre el nivel del mar. Su ubicación dentro de esta estructura volcánica le otorga una gran relevancia tanto geológica como ecológica, ya que es un referente de la actividad volcánica y de la diversidad biológica que caracteriza a la zona (SEMARNAT, 2016).

El Nevado de Toluca es un estratovolcán de gran complejidad geológica, reconocido por sus erupciones violentas de tipo pliniano, un estilo eruptivo asociado a la liberación explosiva de grandes cantidades de magma. Este volcán está formado por flujos de lava andesítica y dacítica, lo que le confiere una estructura sólida y compleja. Se encuentra sobre el cruce de tres sistemas de fallas importantes: el Sistema Taxco-Querétaro, el Sistema San Antonio y el Sistema Tenango. Esta intersección de fallas ha jugado un papel crucial en la evolución geológica del área, contribuyendo a la formación de su actual relieve. El Nevado de Toluca presenta un cráter tipo caldera, cuya formación se remonta a hace aproximadamente 11,500 años, al final de su actividad eruptiva. En su interior se eleva un domo central, conocido como El Ombligo, que es una característica distintiva del volcán. Aunque la actividad eruptiva más reciente se produjo hace unos 3,300 años, las secuelas geológicas de sus erupciones pasadas siguen presentes en la región, con una compleja estratificación de depósitos piroclásticos, incluidos flujos piroclásticos, sobretensiones y depósitos de caída, todos subordinados a depósitos de avalancha y flujos de material volcánico (SEMARNAT, 2016).

La actividad volcánica del Nevado de Toluca comenzó hace aproximadamente 2.6 millones de años, con sucesivas emisiones de lava de composición andesítica y dacítica. Esta fase inicial de actividad volcánica culminó hace unos 1.15 millones de años, y fue seguida por un largo período de inactividad, conocido como un hiatus magmático. No obstante, el volcán volvió a despertar con una serie de erupciones plinianas ocurridas entre 42,000 y 10,500 años atrás, las cuales son consideradas algunas de las más poderosas y destructivas (D'Antonio et al., 2008).

Según los estudios de Macías (2005), el Nevado de Toluca, también conocido como el Volcán Xinantécatl, es un volcán activo que actualmente se encuentra en un estado de quietud o descanso. Sin embargo, su naturaleza como volcán activo sugiere que podría reanudar su actividad eruptiva en el futuro. A pesar de su aparente calma, la última erupción significativa ocurrió hace unos 3,300 años, y en los últimos 40,000 años el volcán ha experimentado varias erupciones explosivas importantes. Entre estas erupciones, al menos cinco estuvieron

relacionadas con el colapso de domos de lava, lo que generó flujos de bloques y ceniza. Además, cuatro erupciones plinianas de gran intensidad marcaron eventos clave en la historia eruptiva del Nevado de Toluca. La erupción de hace aproximadamente 10,500 años es particularmente destacada, ya que se estimó que depositó más de 10 centímetros de ceniza y pómez en áreas tan distantes como el Valle de México.

Por otro lado, las investigaciones realizadas por Norini et al. (2008) documentan al menos tres colapsos de sector ocurridos en el Nevado de Toluca en los últimos 50,000 años. Estos colapsos, que estuvieron relacionados con la actividad de las fallas activas que cruzan el volcán, han tenido consecuencias significativas en la morfología del área. El Nevado de Toluca está constituido por una amplia variedad de rocas ígneas extrusivas, que datan del Terciario al Cuaternario. Entre estas rocas se encuentran andesitas, basaltos, tobas y brechas, que han contribuido a la complejidad de su estructura geológica. Además, el volcán presenta una combinación de domos, flujos de lava cortos y viscosos, así como depósitos de grandes volúmenes de flujos piroclásticos y epiclásticos. Estos materiales descansan sobre un basamento volcánico sedimentario de edad jurásica a mioceno tardío (García et al., 2000).

2.2.5 Hidrología

El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca constituye una región de alta relevancia hidrográfica, no solo por su riqueza ecológica, sino también por el papel fundamental que desempeña en la captación, almacenamiento y distribución del recurso hídrico en el centro del país. Desde sus elevaciones descienden numerosos arroyos y corrientes superficiales que nutren dos importantes regiones hidrológicas: Lerma-Santiago y Balsas. Según datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2010), se estima que en esta área nacen alrededor de 61 arroyos de carácter permanente, los cuales aportan de manera significativa al equilibrio hídrico regional y a la recarga de acuíferos estratégicos.

Dentro del territorio que comprende esta área protegida, se encuentran diversas subcuencas que destacan por su relevancia hidro ecológica. Entre ellas sobresale la subcuenca La Gavia, caracterizada por pendientes pronunciadas que oscilan entre los 12° y 25°. De igual forma, las subcuencas Tejalpa, Verdiguel y Almoloya Otzolotepec se sitúan en zonas de piedemonte intermedio, presentando pendientes que varían entre 12° y 30° (Jiménez, 2002). Estas características topográficas favorecen tanto la infiltración de agua al subsuelo como el escurrimiento superficial, procesos clave para el mantenimiento de los flujos hídricos y la recarga de los mantos acuíferos, (ver Figura 7).

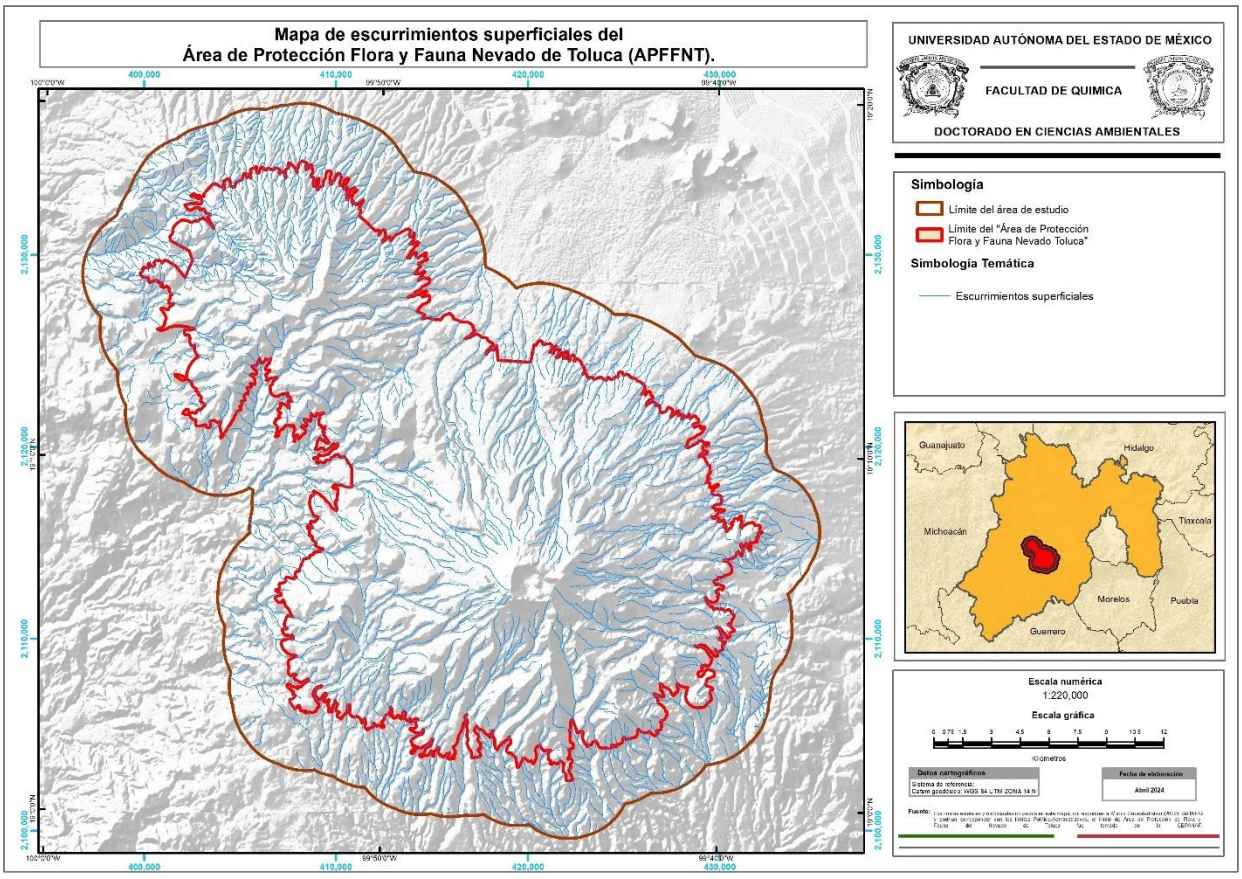
El aporte hídrico del Nevado de Toluca tiene una incidencia directa en el abastecimiento de agua de importantes centros urbanos. A través de la infiltración y el escurrimiento superficial, estas subcuencas contribuyen significativamente a la recarga de acuíferos que proveen agua potable a la ciudad de Toluca y su zona conurbada. De acuerdo con estimaciones de la CONAGUA (2010), el Nevado de Toluca generaba alrededor de 94.608 millones de metros cúbicos de agua subterránea. Asimismo, este macizo volcánico da origen a diversos ríos relevantes como el Temascaltepec y el Tilostoc. Este último alimenta varios arroyos, entre ellos La Garrapata, La Cascada y Los Hoyos, los cuales desembocan en la presa Valle de Bravo (SEMARNAT, 2016).

Por otro lado, las corrientes que fluyen desde las laderas sur y sureste del Nevado, dentro de la subcuenca del Alto Amacuzac, tienen un papel vital en el riego de tierras agrícolas y en el

abastecimiento hídrico de varios municipios como Tenango del Valle, Villa Guerrero y Coatepec Harinas. Estas aguas también benefician a localidades como Ixtapan de la Sal la cual es reconocida por sus balnearios y parque acuático, así como a Tenancingo y Villa Guerrero, destacadas por su producción y exportación de flores, lo cual tiene implicaciones económicas y sociales para la región.

Dentro del cráter del volcán se localizan dos lagos cráter conocidos como las lagunas del Sol y de la Luna, cuerpos de agua formados por la acumulación de agua pluvial y el deshielo. Estos lagos, además de ser emblemáticos desde el punto de vista paisajístico, cumplen funciones ecológicas importantes. Las temperaturas en sus aguas oscilan entre 2 y 7 °C, lo que las convierte en sistemas sensibles a los cambios climáticos. La Laguna del Sol presenta una longitud de 795 metros, una anchura de 482 metros, y una superficie de 237,321 metros cuadrados. Su volumen alcanza los 1,436,100 metros cúbicos, con una profundidad máxima de 15 metros y una media de seis metros. Su perímetro es de 3.68 kilómetros. En contraste, la Laguna de la Luna tiene dimensiones menores: 227 metros de longitud, 209 metros de ancho, una superficie de 31,083 metros cuadrados y un volumen de 159,865 metros cúbicos. Su perímetro alcanza los 0.67 kilómetros, con una profundidad máxima de 10 metros y una media de cinco metros (SEMARNAT, 2016).

Figura 7. Mapa de escurrimientos superficiales del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)



Fuente: Elaboración propia

La Laguna del Sol se distingue por la pureza de sus aguas, las cuales presentan baja mineralización, un pH inferior a 7 y temperaturas generalmente menores a los 14 °C. El cuerpo

de agua muestra una ligera estratificación térmica, la cual desaparece entre el otoño y la primavera siguiente. Se trata de un ecosistema oligotrófico, es decir, con baja concentración de nutrientes, lo que se refleja en su escasa demanda biológica y química de oxígeno, así como en su baja alcalinidad. Las sales disueltas predominantes en sus aguas son los sulfatos, los cuales no alcanzan concentraciones tóxicas. En las inmediaciones de la Laguna de la Luna se localiza además un pequeño lago intermitente conocido como la Estrellita, el cual, pese a su baja profundidad y carácter temporal, también contribuye al sistema hídrico de la zona (SEMARNAT, 2016).

La trascendencia hídrica del Nevado de Toluca radica tanto en su capacidad para alimentar fuentes de agua subterránea como en su papel como generador de sistemas fluviales que sustentan importantes infraestructuras, como la presa Valle de Bravo. Este ecosistema montañoso no solo representa un reservorio natural de agua, sino también una pieza clave en la sustentabilidad hídrica de las zonas urbanas y agrícolas aledañas.

2.2.6 Edafología

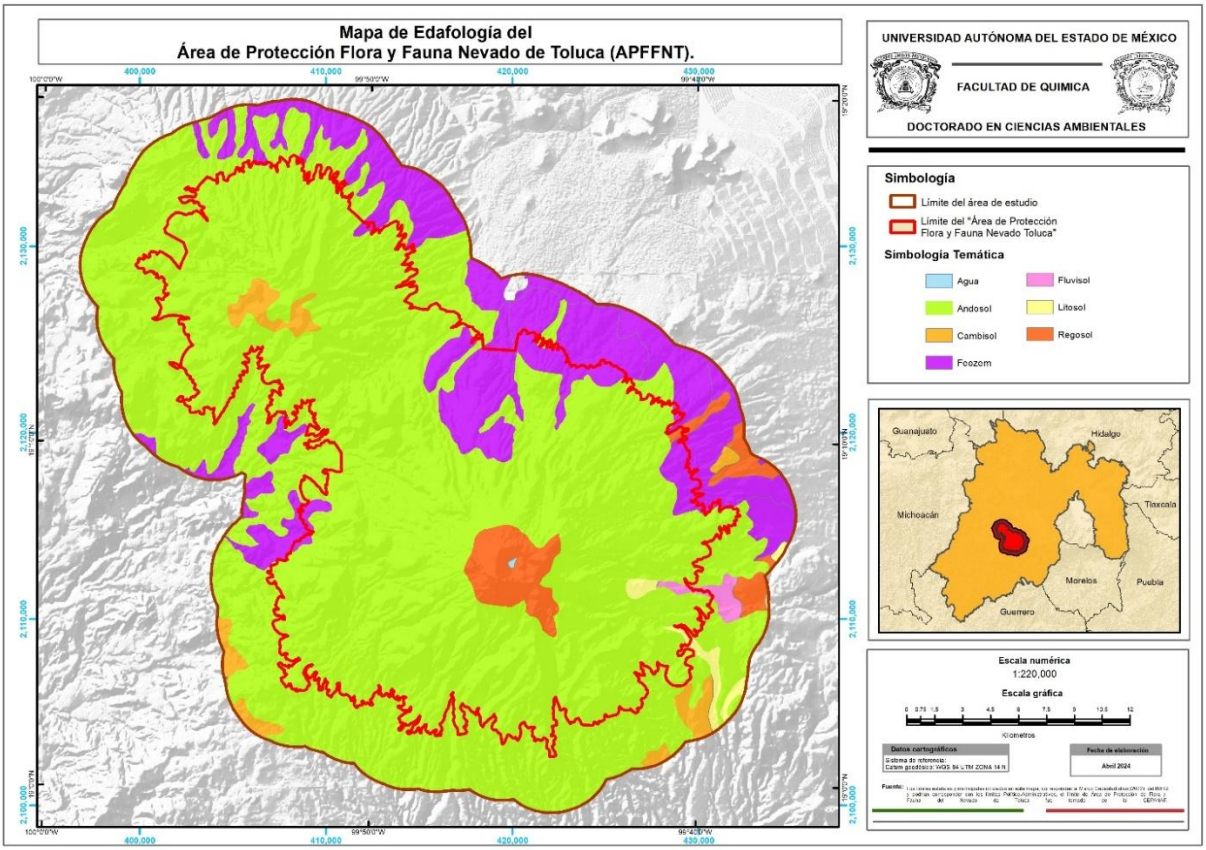
Dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, los suelos juegan un papel fundamental en la regulación ecológica, la infiltración hídrica y el soporte de la vegetación nativa. El tipo de suelo dominante es el andosol, el cual abarca aproximadamente el 88.09% del total del área protegida, equivalente a una superficie de 47,210.63 hectáreas (INEGI, 2023). Este suelo se forma a partir de materiales piroclásticos recientes derivados de la intensa actividad volcánica que caracteriza al macizo del Nevado de Toluca. La composición litológica subyacente está conformada por rocas ígneas extrusivas del periodo Terciario-Cuaternario, tales como andesitas, basaltos, tobas, brechas y pómez, que han dado lugar a una matriz edáfica altamente porosa y con una alta capacidad de retención de agua y nutrientes.

En cuanto a los suelos, se identifican los siguientes tipos, (ver Figura 8).

Andosoles: Se desarrollan predominantemente en climas semifríos subhúmedos, con precipitaciones significativas que, en interacción con los alófanos presentes en el suelo, generan un pH ácido, baja saturación de bases y una alta capacidad de intercambio catiónico. Estas características fisicoquímicas permiten una eficiente retención de nutrientes y agua, factores esenciales para el crecimiento de comunidades vegetales dominadas por especies de pino-encino (Pinus–Quercus), que a su vez contribuyen con una abundante producción de materia orgánica, retroalimentando la fertilidad del suelo (INEGI, 2023).

Feozem háplico: Este tipo de suelo ocupa una superficie aproximada de 3,585.29 hectáreas, principalmente en la porción noroeste del Área Natural Protegida. Se caracteriza por presentar un horizonte superficial oscuro, rico en materia orgánica, con una estructura granular friable y elevada fertilidad natural. Su textura varía entre arenosa y arcillosa, con un pH más ácido en comparación con los andosoles. Históricamente forestal, su uso ha sido transformado hacia la agricultura de temporal, lo que ha incrementado la presión sobre su integridad edáfica (INEGI, 2023).

Figura 8. Mapa de Edafología del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)



Fuente: Elaboración propia

Regosol: Con una distribución de 1,808.27 hectáreas, este suelo es típico de ambientes montañosos jóvenes, como el cráter volcánico del Nevado de Toluca. Se forma a partir de materiales volcánicos sueltos, principalmente cenizas, y se caracteriza por contar con un solo horizonte de diagnóstico A ócrico. Son suelos de desarrollo incipiente, con bajo contenido de materia orgánica y escasa disponibilidad de nutrientes, que a menudo coexisten con leptosoles y andosoles en zonas con sustratos de grano grueso (arenosos, gravosos o pedregosos) (INEGI, 2023).

Cambisol: Este tipo de suelo joven, poco evolucionado, se distribuye sobre una superficie de 736.88 hectáreas en la porción noroeste del área protegida. Su perfil edáfico presenta un horizonte A ócrico sobre un horizonte B cámbico, este último de coloración amarillenta a café rojiza, indicativa de una incipiente formación de estructura edáfica. Su textura es media y posee alta porosidad, aunque con bajos niveles de nutrientes, lo que limita su uso principalmente a funciones forestales y de conservación (INEGI, 2023).

Leptosol: Estos suelos de escaso desarrollo se localizan en el interior del cráter y en la porción oriental del Área Natural Protegida, ocupando una extensión de 139.84 hectáreas. Se caracterizan por tener profundidades menores a 10 centímetros, y por estar directamente sobre material rocoso, tepetate o capas endurecidas de caliche. Su escasa profundidad, baja fertilidad y susceptibilidad a la erosión los hacen inadecuados para el uso agrícola, pero importantes para

funciones ecológicas específicas, como el control de escorrentías superficiales y la conservación de especies endémicas (INEGI, 2023).

Fluvisol: Representan el tipo de suelo menos frecuente en el área, con una cobertura de apenas 86.37 hectáreas. Se localizan en zonas aluviales estrechas como la base del arroyo La Ciénega, al este del ANP, en el municipio de Tenango del Valle. Estos suelos se derivan de depósitos fluviales recientes, presentan una textura gruesa y variable, y su fertilidad depende en gran medida del tipo de sedimentos depositados. Su ubicación en zonas de cauce los hace vulnerables a eventos de erosión intensa y a la acumulación de nuevos materiales durante las avenidas fluviales (INEGI, 2023).

En síntesis, la edafología del Nevado de Toluca refleja un paisaje dinámico condicionado por su origen volcánico, su topografía abrupta y su régimen climático. La predominancia de suelos derivados de materiales piroclásticos confiere a esta región una alta capacidad de retención hídrica y fertilidad natural, pero también una fragilidad estructural frente a perturbaciones antrópicas y fenómenos climáticos extremos.

2.3 Vegetación

El Nevado de Toluca es un vértice ecológico que afecta la configuración y continuidad de diversos ecosistemas que ahí existen. Esto se da gracias a su importante relieve, el cual actúa como un límite natural en el cambio de coberturas principalmente forestales y estos a su vez interactúa con diferentes regiones fisiográficas.

Su compleja orografía y los marcados gradientes ambientales derivados de la altitud, las condiciones ecológicas del Nevado de Toluca trascienden los límites administrativos del Área de Protección de Flora y Fauna. Estas transiciones ecológicas se extienden hacia las zonas más bajas de los valles y depresiones circundantes, propiciando una notable diversidad de comunidades vegetales. Así, es posible observar una sucesión altitudinal que abarca desde las selvas bajas caducifolias o bosques tropicales caducifolios existentes en los climas cálidos y subtropicales, hasta llegar a los pastizales alpinos y los páramos de altura, estos últimos con claras afinidades con ecosistemas de regiones de alta montaña.

A lo largo de este gradiente altitudinal, se intercalan también bosques de encino con afinidades subtropicales, bosques templados de pino-encino, formaciones dominadas por diversas especies de pinos, así como bosques de oyamel y áreas de vegetación secundaria como los bosques de aile (Martínez y Matuda, 1979; González et al., 2003). Esta amplia gama de comunidades vegetales refleja la complejidad ecológica y biogeográfica del macizo montañoso.

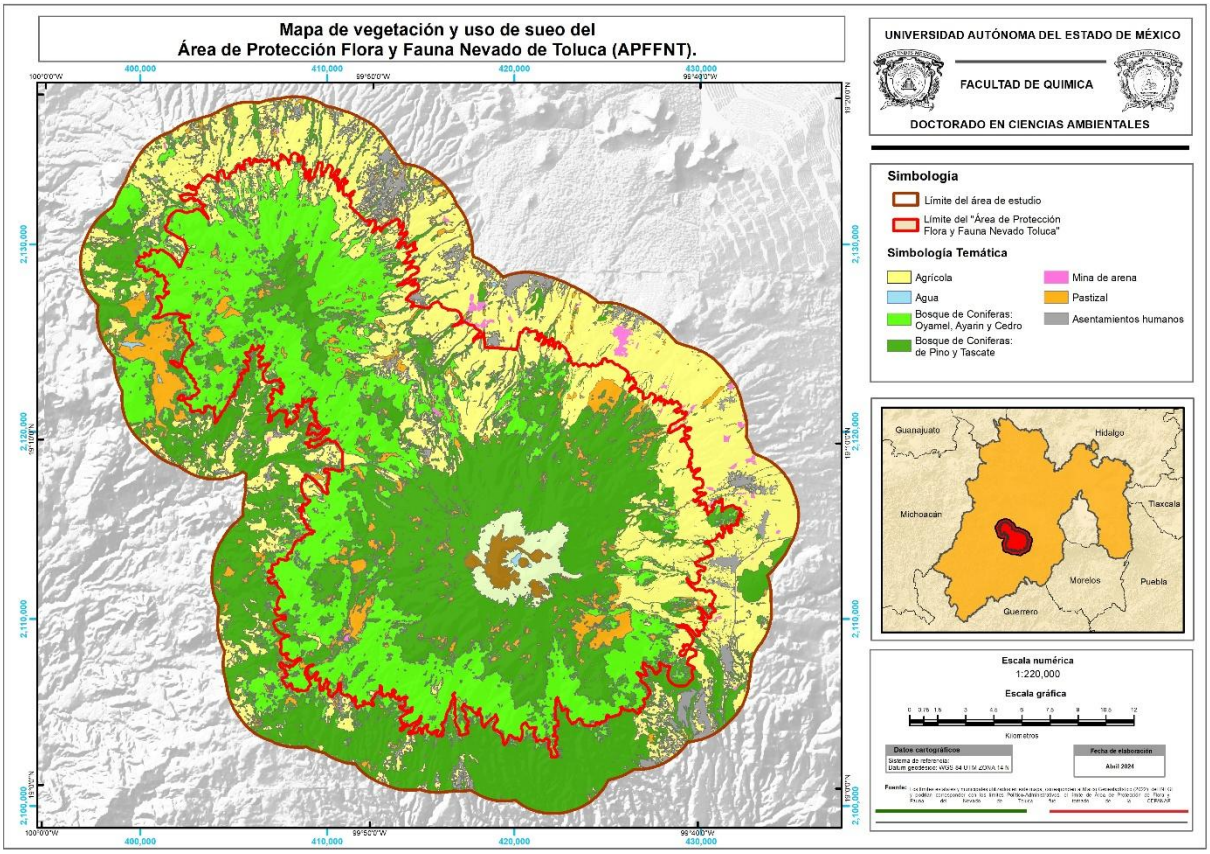
La vegetación que se desarrolla en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca es resultado directo de su posición geográfica y altitudinal, en interacción con factores como el relieve, la geología, la composición edáfica y el clima. No obstante, su configuración actual también es producto de procesos geomorfológicos de larga duración, como los eventos glaciales y periglaciales que han modelado su paisaje a lo largo de distintos periodos geológicos. Estos procesos han contribuido a generar microhábitats y condiciones ambientales particulares, facilitando la evolución de una notable diversidad biológica. Esta influencia resulta especialmente evidente en los ecosistemas de zacatonal alpino y en el páramo de altura, donde se observa una biodiversidad adaptada a condiciones extremas (Madrigal y González, 1996).

Aunque los estudios dedicados específicamente a la vegetación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca son relativamente escasos, es posible establecer una tipología general de las comunidades vegetales presentes en la región con base en sus características estructurales y en su composición florística. De acuerdo con la clasificación propuesta por Rzedowski (1978), los tipos de vegetación representados en el volcán Nevado de Toluca abarcan una amplia diversidad de formaciones vegetales, reflejo de los variados gradientes altitudinales y ambientales que lo caracterizan.

Entre los principales tipos de vegetación se encuentran los bosques de coníferas, cuya clasificación puede refinarse según la especie dominante: bosque de pino (Pinus), bosque de oyamel (Abies religiosa), bosque mixto de oyamel y pino (Abies-Pinus), y bosque de pino-encino (Pinus-Quercus). A estas comunidades se suman los bosques de encino (Quercus), los bosques de aile (Alnus), y los pastizales de alta montaña, comúnmente conocidos como zacatonales o páramos de altura, que predominan en las cotas más elevadas del macizo (SEMARNAT, 2016).

Asimismo, el área alberga vegetación acuática y subacuática, presente en cuerpos de agua como lagunas, humedales y manantiales asociados al sistema hidrológico del volcán. Todos estos tipos de vegetación serán descritos con mayor detalle en los apartados siguientes, con el fin de ofrecer una visión integral de la riqueza florística y estructural del Nevado de Toluca, (ver Figura 9).

Figura 9. Mapa de vegetación y uso de suelo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)



Fuente: Elaboración propia

Bosque de encino (*Quercus*)

Este tipo de bosque se distribuye a lo largo de la ladera sureste del Nevado de Toluca, ocupando una superficie aproximada de 338.21 hectáreas. Aunque el encino generalmente crece en asociación con otras especies forestales, existen pequeñas áreas donde su densidad y predominancia son tan marcadas que permiten clasificar dichos fragmentos como bosques de encino propiamente dichos. Dentro de estas asociaciones, en el estrato arbóreo el encino suele encontrarse acompañado por el aile (*Alnus sp*.), mientras que en el sotobosque predominan especies como el madroño (*Arbutus spp*.) y el tepozán (*Buddleja spp.)* (Regil, 2013), conformando una comunidad vegetal diversa y compleja.

En cuanto a la composición florística, los bosques de encino en esta área están dominados principalmente por encino colorado, encino blanco (Quercus laurina) y encino roble (Quercus rugosa). Estas especies se distribuyen en altitudes que oscilan entre los 3,000 y los 3,220 metros sobre el nivel del mar, en zonas donde las condiciones de humedad, temperatura y tipo de suelo son propicias para su desarrollo.

Una de las características distintivas de este tipo de bosque dentro del Área Natural Protegida es la abundancia de hojarasca que se acumula en el suelo forestal. Esta capa orgánica cumple una función ecológica clave, ya que al descomponerse enriquece el sustrato con nutrientes esenciales que favorecen el crecimiento de la vegetación. Este proceso también ha dado lugar al aprovechamiento tradicional de un recurso no maderable de gran valor: la tierra negra o composta forestal, altamente demandada para usos en jardinería y horticultura (SEMARNAT, 2016).

Uno de los principales factores de presión es la extracción intensiva de leña, actividad llevada a cabo por pobladores locales. La leña de encino es altamente apreciada tanto por su eficiencia calórica como por su durabilidad al quemarse, lo que la convierte en un recurso energético de gran valor en la región (Endara, 2010).

Bosque de aile (*Alnus*)

Estos bosques se encuentran distribuidos en fragmentos dispersos a lo largo de la ladera nororiental del cráter del Nevado de Toluca, ocupando una superficie estimada de aproximadamente 2,353 hectáreas. También se presentan en ciertas porciones de la vertiente sur, formando un mosaico de vegetación que refleja tanto las condiciones ambientales como la historia de uso del territorio. Dentro de estos fragmentos es posible identificar poblaciones bien establecidas de aile (Alnus jorullensis), especie pionera característica de ambientes húmedos y suelos inestables, que suele colonizar zonas perturbadas.

La presencia dominante del aile en estas áreas sugiere que estos bosques podrían tener un origen secundario, es decir, formaciones vegetales que han surgido tras procesos de cambio de uso del suelo, como la conversión de tierras para actividades agrícolas o ganaderas, y su posterior abandono por baja productividad o agotamiento del suelo. Este tipo de vegetación representa un estadio intermedio en la sucesión ecológica y es indicativo de la resiliencia del ecosistema, así como de su capacidad para regenerarse cuando cesa la presión antrópica directa.

En cuanto a sus límites altitudinales, hacia las zonas más elevadas estos bosques muestran una transición ecológica con formaciones de pino (Pinus montezumae), especie que tolera mayores altitudes y temperaturas más bajas. Por otro lado, en los rangos altitudinales inferiores, el bosque de aile se encuentra en asociación con comunidades dominadas por encino (Quercus spp.), lo

que evidencia un gradiente ecológico y florístico que responde a las condiciones climáticas y edáficas del relieve (Franco y Burrola, 2010; Regil, 2013).

Estas transiciones y asociaciones reflejan la complejidad estructural y dinámica de los ecosistemas presentes en el Nevado de Toluca, así como la importancia de considerar los procesos de regeneración natural y las interacciones entre especies para una adecuada gestión y conservación de estos ambientes.

Bosques de coníferas

En el Área de Protección Nevado de Toluca se ha registrado una notable diversidad de especies del género Pinus, adaptadas a diferentes rangos altitudinales y condiciones ecológicas. Entre las especies características de zonas bajas se encuentra el pino lacio (*Pinus pseudostrobus*), mientras que en zonas más aisladas y específicas pueden observarse ejemplares de táscate, también conocido como enebro o cedro liso (*Juniperus flaccida*), especie propia de ambientes secos y suelos pedregosos.

Destacan también las plantaciones de cedro blanco (Cupressus lusitanica), una especie introducida localmente y cultivada principalmente en la década de los ochenta por el entonces programa PROTIMBOS. Esta especie, conocida por su rápido crecimiento y utilidad en reforestación, se encuentra sujeta a protección especial según la NOM-059-SEMARNAT-2010, que regula la protección de especies nativas de flora y fauna silvestres en riesgo en México. Actualmente, estas plantaciones han evolucionado en comunidades forestales densas que coexisten con otras áreas reforestadas con diversas especies de pino (Endara, 2007).

A pesar de la reforestación solo algunas de estas especies logran consolidarse y formar masas forestales continuas y estables. Entre las especies más representativas se encuentran el ocote (*Pinus spp*.), el pino amarillo, el pino chino (*Pinus hartwegii*), y el pino de Moctezuma (*Pinus montezumae*), todas ellas adaptadas a las condiciones extremas de altitud, temperatura y edafología del volcán.

Los bosques de pino en el Nevado de Toluca prosperan principalmente en las laderas montañosas situadas entre los 3,000 y 4,000 metros sobre el nivel del mar, desarrollándose sobre suelos delgados, pedregosos y ricos en materia orgánica. Estos bosques ocupan aproximadamente el 33% de la superficie forestal del Área Natural Protegida, concentrándose en su mayoría alrededor del cráter y en los puntos más altos del relieve (Franco et al., 2009).

Según Villers et al. (1998) y Franco et al. (2006), la densidad del arbolado en estos ecosistemas ha sido evaluada a través del porcentaje de cobertura de copa, permitiendo clasificar los bosques en tres categorías: densos, semidensos y fragmentados. Esta clasificación refleja diferentes niveles de perturbación, asociados principalmente a la presión humana y al aprovechamiento forestal. En este contexto, el ocote se identifica como la especie que actualmente ocupa la mayor superficie forestal; sin embargo, se ha observado una transición progresiva de bosques densos a semidensos, lo cual indica un proceso de degradación estructural.

Desde el punto de vista estructural, se ha registrado una reducción significativa en la densidad de individuos por unidad de superficie, así como un índice de extracción que oscila entre el 11% y el 29% (Endara, 2007). Este nivel de aprovechamiento, sumado a los lentos procesos de regeneración natural característicos de estos ecosistemas de alta montaña, sugiere que, a largo plazo, la pérdida de especies como el ocote podría volverse irreversible, especialmente en ausencia de estrategias efectivas de conservación y manejo.

Las condiciones ambientales extremas del Nevado de Toluca, combinadas con la creciente intervención antrópica, limitan en gran medida el desarrollo de especies en el sotobosque. Como resultado, este estrato está dominado por pastizales alpinos, donde destaca el zacatón (*Festuca spp.*) y una especie de especial interés ecológico: el *Lupinus spp*., una leguminosa considerada indicadora de disturbios, comúnmente establecida en áreas afectadas por incendios forestales. Esta planta desempeña un papel clave en la recuperación del ecosistema al fijar nitrógeno atmosférico, mejorando la fertilidad del suelo (Franco et al., 2009).

El sotobosque de los pinares muestra además una alta variabilidad fenológica a lo largo del año, reflejo de los cambios estacionales del clima. Predominantemente compuesto por herbáceas, este estrato puede desaparecer casi por completo durante la época seca, cuando la escasez de agua limita el desarrollo vegetativo. Las especies que persisten suelen modificar su coloración, predominando las tonalidades amarillas o pajizas al final del periodo seco, lo que constituye un indicador visual de las condiciones ambientales adversas (Rzedowski, 1978).

Bosque de pino (*Pinus*)

Los bosques de pino en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca se desarrollan en las laderas del volcán, a altitudes que oscilan entre los 3,000 y 4,000 metros sobre el nivel del mar. Estas comunidades prosperan en ambientes rocosos y de suelos pedregosos, someros y ricos en materia orgánica, características propias de los ecosistemas de alta montaña. Con base en su fisonomía y composición florística, en esta área se distinguen principalmente dos tipos de bosque de pino: el bosque de ocote, pino amarillo o pino chino (Pinus hartwegii), y el bosque de pino de Moctezuma (Pinus montezumae).

Pinus hartwegii

El bosque de *Pinus hartwegii* se encuentra en altitudes que van de los 3,500 a los 4,000 m.s.n.m., desarrollándose principalmente sobre andosoles, suelos de origen volcánico, oscuros, profundos y cubiertos por una densa capa de hojas de pino (ocochal), en zonas con pendientes pronunciadas, bajas temperaturas y una alta exposición a los elementos climáticos.

Fisonómicamente, se trata de una comunidad abierta, donde el estrato arbóreo alcanza alturas de entre 25 y 35 metros, dominado casi exclusivamente por *Pinus hartwegii*. Esta especie presenta variaciones en su tamaño y forma, reduciendo su altura y diámetro conforme se acerca a su límite altitudinal superior. Estas diferencias responden a factores como la temperatura, la cantidad de precipitación, la pedregosidad del suelo y la orientación de las laderas. La densidad del arbolado tiende a incrementarse en zonas protegidas, como cañadas y barrancas, mientras que disminuye en áreas expuestas al sol o a los vientos predominantes.

El sotobosque está conformado por un estrato arbustivo donde predominan especies como jarilla blanca (Senecio cinerarioides), Senecio mairetianus, Stevia monardifolia, entre otras. El estrato herbáceo, de aproximadamente un metro de altura, está compuesto principalmente por gramíneas amacolladas y, en menor proporción, por especies como la rosa de las nieves (Eryngium proteaeflorum). Durante la temporada seca, la mayoría de las herbáceas desaparecen, y las especies persistentes adquieren tonalidades amarillas.

En zonas con mayor humedad, aparece un estrato rasante compuesto por musgos, líquenes y hongos. También se observan epífitas, particularmente del género Tillandsia. En áreas perturbadas por incendios forestales, prolifera *Lupinus montanus*, una especie semiarbustiva que

forma manchones extensos hacia el zacatonal alpino, junto con otras especies frecuentes como campanita (Penstemon gentianoides) y escoba (Baccharis conferta) (Endara, 2007).

Pinus montezumae

El Bosque de *Pinus montezumae* se distribuye en fragmentos aislados principalmente en las laderas norte y este del Nevado de Toluca, entre los 3,000 y 3,200 metros sobre el nivel del mar. Esta comunidad domina el estrato arbóreo y en las zonas más bajas se asocia con pino lacio (*Pinus pseudostrobus*) (Madrigal y González, 1991).

Estas formaciones vegetales han sufrido una fuerte perturbación debido a actividades humanas, por lo que han sido objeto de campañas de reforestación en distintos momentos, en las cuales se ha introducido también cedro (*Cupressus spp*.), lo que ha modificado parcialmente la composición original del bosque (Endara, 2007).

El sotobosque es más diverso y desarrollado, destacando especies arbustivas como chicalotl (*Eryngium monocephalum*), cardo santo (*Cirsium jorullense*), perlilla (*Symphoricarpos microphyllus*), acocote (*Arracacia atropurpurea*) y escoba (*Baccharis conferta*), estas dos últimas asociadas comúnmente a áreas perturbadas. El estrato herbáceo alcanza alturas promedio de 1.20 metros, predominado por gramíneas perennes, cuyo follaje se vuelve amarillo en la temporada seca (Madrigal y González, 1991).

Oyamel (*Abies religiosa*)

El bosque de oyamel constituye una de las comunidades más representativas de las zonas montañosas del centro de México, aunque su distribución es limitada en el territorio nacional (Rzedowski, 1978). En el Nevado de Toluca, estos bosques se desarrollan de forma fragmentada en las laderas norte, oeste y sur, principalmente entre los 2,800 y 3,400 metros sobre el nivel del mar, aunque su mayor concentración se encuentra entre los 3,200 y 3,400 m.s.n.m.

Estas comunidades forman masas casi puras en sitios con pendientes pronunciadas y se desarrollan sobre suelos rocosos, profundos, bien drenados y ricos en materia orgánica, ubicados en las zonas más húmedas del volcán.

Desde el punto de vista fisonómico, se trata de bosques altos y densos, donde el estrato arbóreo superior puede alcanzar los 35 metros de altura, dominado por oyamel (Abies religiosa). Los árboles presentan copas cónicas de coloración oscura, con ramas que comienzan cerca del suelo.

El estrato arbóreo bajo, de menor densidad, está compuesto por especies como aile (*Alnus jorullensis* y *A. acuminata*), madroño (*Arbutus xalapensis*), encino colorado y encino blanco (*Quercus laurina*), así como borreguito (*Salix paradoxa*). También se encuentra el cedro blanco (*Cupressus lusitanica*), una especie protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Los estratos arbustivo y herbáceo se encuentran bien desarrollados, con una composición que varía según la exposición solar, la humedad del suelo y el grado de perturbación. Entre los arbustos más comunes se encuentran jarilla blanca (*Senecio cinerarioides*), cardo santo (*Cirsium jorullense*) y campanita (*Penstemon gentianoides*). En áreas alteradas, particularmente cercanas a veredas y caminos, es frecuente la aparición de escoba (*Baccharis conferta*).

En las vertientes oeste, sur y sureste, los bosques de oyamel se entremezclan con comunidades de encino y pino, formando manchones mixtos que se desarrollan por encima de los 3,000 metros, sobre cañadas húmedas y laderas con menor exposición directa a la radiación solar.

Oyamel-pino (*Abies–Pinus*)

En el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, los bosques mixtos de oyamel y pino se desarrollan en altitudes superiores a las masas puras de oyamel (*Abies religiosa*), específicamente entre los 3,400 y 3,600 metros sobre el nivel del mar. En estas zonas altas, el oyamel se mezcla con comunidades de ocote, pino amarillo o pino chino (*Pinus hartwegii*).

En altitudes medias alrededor del volcán, desde los 2,600 hasta los 3,200 metros, las comunidades puras de oyamel entran en contacto con otras especies de pino como el pino de Moctezuma (*Pinus montezumae*) y el pino lacio (*Pinus pseudostrobus*), principalmente en las laderas norte, oeste y sur. En estas zonas de transición, los estratos arbustivo y herbáceo conforman ecotonos bien definidos, donde se mezclan características de ambas comunidades vegetales.

Estos bosques mixtos de Abies y Pinus también se entrelazan con comunidades de encino (Quercus spp.), formando manchones que prosperan por encima de los 3,000 metros, especialmente en cañadas húmedas y en laderas poco expuestas al sol, localizadas principalmente en las vertientes oeste, sur y sureste del volcán.

Pino-encino (*Pinus–Quercus*)

Los bosques de pino-encino se distribuyen en las porciones noroeste, oeste y sur del Nevado de Toluca, a altitudes que varían entre los 3,000 y 3,500 metros sobre el nivel del mar. Se desarrollan sobre suelos rocosos, poco profundos, con abundante hojarasca y ricos en materia orgánica.

El estrato arbóreo, que alcanza hasta 25 metros de altura, está dominado por especies de los géneros Pinus y Quercus, entre ellas el pino lacio *(Pinus pseudostrobus*), el pino de Moctezuma (*Pinus montezumae*), así como el encino (*Quercus rugosa*) y el encino blanco o colorado (*Quercus laurina*). También están presentes individuos de enebro (*Juniperus sp*p.).

El estrato arbustivo incluye especies como la frutilla, manzanita (*Arctostaphylos pungens*), escoba (*Baccharis conferta*) y el madroño (*Comarostaphylis discolor*), especie conocida localmente.

Durante la temporada de lluvias, las herbáceas proliferan intensamente. Las epífitas también son abundantes, destacando las bromeliáceas del género Tillandsia, que crecen sobre las ramas de los árboles. Asimismo, es común encontrar muérdago (*Arceuthobium spp*. y *Phoradendron spp*.), parásito que afecta diversas especies del dosel.

Pastizal (zacatonal o páramo de altura)

Los pastizales de alta montaña se clasifican en zacatonal alpino y páramo de altura, estas son comunidades vegetales cuya composición y estructura dependen de diversos factores ambientales como el relieve, la altitud, el clima y las características del suelo. En estos ecosistemas predominan las plantas herbáceas, especialmente pastos amacollados que alcanzan aproximadamente un metro de altura. Este tipo de vegetación se establece sobre laderas de origen ígneo y puede formar parte del sotobosque del bosque de ocote, pino amarillo

o pino chino (Pinus hartwegii). Sin embargo, se convierte en la vegetación dominante en zonas que superan el límite altitudinal de distribución del bosque.

Pastizales o Zacatonales Alpinos: son un tipo de vegetación donde predominan pastos amacollados de aproximadamente un metro de altura. En los pastizales alpinos, existen muchas especies de plantas herbáceas y rastreras que se desarrollan por lo general al pie de los macollos de pasto. En el Nevado de Toluca estos zacatonales se extienden a partir de los 4,000 msnm en todas las laderas, llegando hasta los 4,400 msnm, sus especies dominantes son básicamente pastos amacollados.

Algunas especies dominantes que se han detectado en la zona son gramíneas amacolladas como Calamagrostis tolusensis (paja blanca) y Festuca tolucensis, junto con otras especies de Poaceae: Agrostis tolucensis, Trisetum spicatum, Muhlenbergia montana y Blepharoneuron tricholepis. Aunque en algunos trabajos se han registrado 71 especies, incluyendo 42 fanerógamas y 29 briófitas y líquenes (González, 1986).

Páramo de altura: estos existen en zonas donde predominan los materiales rocosos de las partes más altas e inaccesibles del volcán, existe una amplia variedad de líquenes crustáceos y musgos de diferentes especies, con diversas formas y coloraciones. Ese también es el caso de algunas comunidades a zonales fuera del cráter, que poseen especies características de las crestas y picos, mismas que se pueden observar a altitudes menores sobre los ríos de rocas en las laderas NE y S del Nevado, como parte de los procesos de colonización y estabilización de estas grandes corrientes de rocas. A partir de los 4,400 hasta los 4,500 msnm o más, en los picos y crestas que coronan la cima del volcán, existen comunidades formadas principalmente por líquenes foliosos.

Algunas de las comunidades que se desarrollan en estas alturas son Festuca livida, Festuca hephaestophila, y especies asociadas como Draba nivicola, Luzula racemosa, Erysimum capitatum y Phacelia platycarpa. Mientras que en el interior del cráter, especialmente en el domo de El Ombligo, crecen manchones de Festuca tolucensis, Calamagrostis tolusensis y Eryngium proteaeflorum. En depresiones húmedas se encuentran especies especializadas como Oreomyrrhis tolucana y Lewisia megarhiza (González, 1986).

En los picos y crestas más altas del volcán predominan líquenes foliosos, como Umbilicaria hirsuta (especie dominante), junto con líquenes incrustantes como Rhizocarpon geographicum y Alectoria ochroleuca. En estas zonas hay ausencia de plantas vasculares, aunque algunas, como Draba nivicola, Festuca livida, Trisetum spicatum y Plantago tolucensis, crecen en sitios protegidos del viento (González, 1986).

2.4 Caracterización social

El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca alberga 17 localidades rurales con una población total de 5,237 habitantes. Aparte hay que considerar 2 localidades urbanas que colindan y una parte de la mancha está integrada al área de protección, ver las tablas 1 y 2.

Cabe señalar que los municipios de Almoloya de Juárez y Zinacantepec concentran conjuntamente el 91.92 % de la población total del Área Natural Protegida (ANP), con el 34.94 % y el 56.98 %, respectivamente (INEGI, 2020).

Las localidades dentro del ANP presentan un alto grado de dispersión poblacional. Dilatada Sur (municipio de Almoloya de Juárez) es la comunidad más poblada, con 1,262 habitantes, mientras

que El Capulín (Temascaltepec) y El Baldío Amarillo (Calimaya) registraron la menor población, con apenas seis y dos personas, (ver tabla 8)

Durante el periodo 2000–2020, la población residente del área creció de 4,123 a 5,237 habitantes, lo que representa una tasa de crecimiento del 27.2 %.

Cabe señalar que existen dos localidades que exceden los límites establecidos del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, y que, de manera indirecta, están generando una presión demográfica sobre las zonas colindantes a esta área natural. Estas comunidades, debido a su crecimiento poblacional y proximidad geográfica, influyen en la dinámica territorial de la región, particularmente en la expansión de los asentamientos humanos hacia zonas con vocación de conservación ecológica.

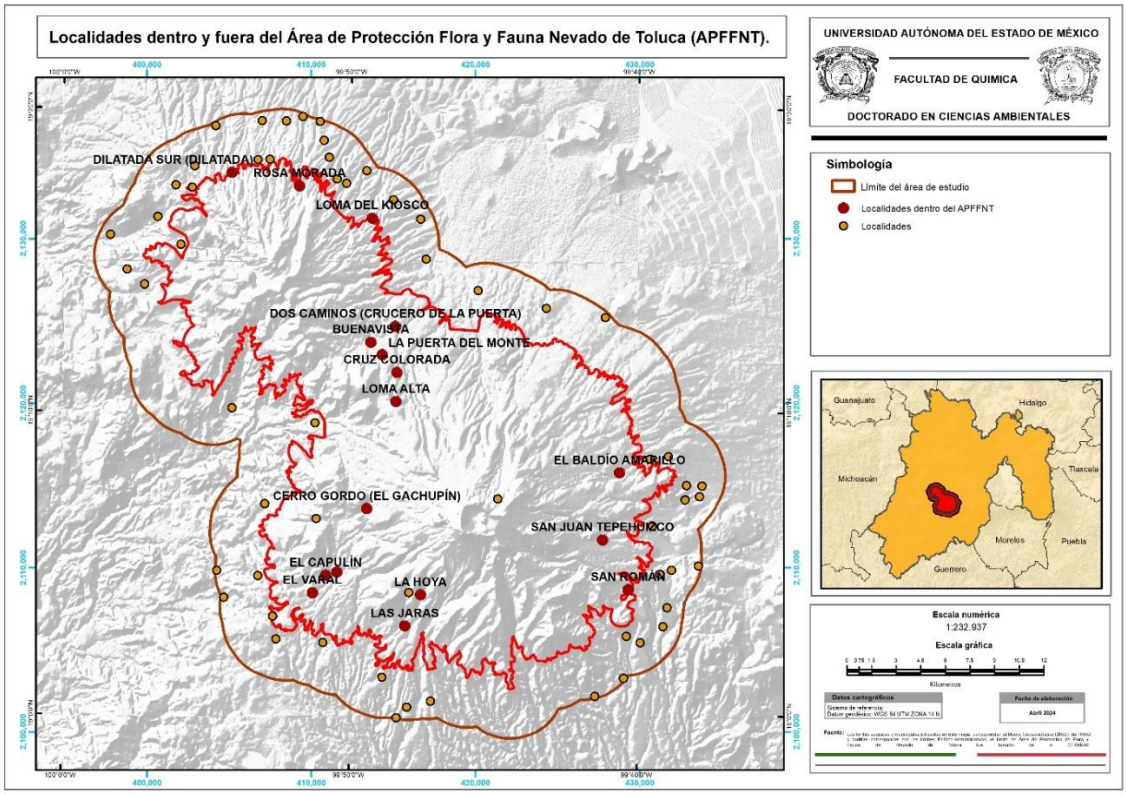
Tabla 8. Localidades dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca y su población de 2000-2020

Municipio	Nombre de la Localidad	Habitantes 2000	Habitantes 2010	Habitantes 2020
Almoloya de Juárez	Dilatada Sur (Dilatada)	1,452	1,512	1,262
Almoloya de Juárez	Rosa Morada	364	446	568
Calimaya	El Baldío Amarillo	14	18	2
Coatepec Harinas	Las Jaras	112	85	60
Coatepec Harinas	La Hoya	0	0	5
Temascaltepec	El Varal	55	51	56
Temascaltepec	El Capulín	0	6	6
Tenango del Valle	San Román	177	138	236
Tenango del Valle	San Juan Tepehuizco	83	43	58
Zinacantepec	Buenavista	461	560	828
Zinacantepec	Loma Alta	512	530	564
Zinacantepec	La Puerta del Monte	212	253	271
Zinacantepec	Cruz Colorada	34	35	53
Zinacantepec	Raíces	544	664	768
Zinacantepec	Dos Caminos (Crucero de la Puerta)	26	27	33
Zinacantepec	Agua Blanca Ejido de Santa María del Monte	77	113	120
Zinacantepec	Loma del Kiosco	0	192	347
	Total	**4,123**	**4,673**	**5,237**

Fuente: censos de población y vivienda del INEGI

En este contexto, se estima que aproximadamente una cuarta parte de las localidades se encuentran total o parcialmente dentro de los límites del área protegida, lo cual representa un reto adicional para la gestión del territorio y la planificación del desarrollo sostenible en la región (ver Figura 10)

Figura 10. Localidades dentro y fuera del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)



Fuente: Elaboración propia

Las localidades de El Cóporo y Barrio de México, ambas pertenecientes al municipio de Zinacantepec, son ejemplos representativos de esta situación, ver tabla 9. Aunque no están formalmente incluidas dentro del polígono del área natural protegida, su cercanía y su patrón de crecimiento urbano acelerado las posicionan como núcleos que ejercen presión directa sobre la zona de protección, particularmente en lo que respecta al uso del suelo, la fragmentación del hábitat y la demanda de servicios y recursos naturales.

Tabla 9. Localidades urbanas parcialmente integradas en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevada de Toluca y su población de 2000-2020

Municipio	Nombre de la Localidad (parcialmente)	Habitantes 2000	Habitantes 2010	Habitantes 2020
Zinacantepec	El Cóporo	4,618	6,068	7,518
Zinacantepec	Barrio de México	3,279	7,414	8,269
	Total	**7,897**	**13,482**	**15,787**

Fuente: censos de población y vivienda del INEGI

Aunque el crecimiento poblacional del Área Natural Protegida no ha alcanzado el promedio de crecimiento anual del Estado de México para el mismo periodo (1.4 %), se identifican dinámicas diferenciadas entre localidades: mientras algunas registran incrementos significativos, otras muestran una marcada tendencia a la disminución poblacional (INEGI, 2020).

RESUMEN DEL CAPITULO

Este capítulo aborda el contexto geográfico del Nevado de Toluca, una de las formaciones volcánicas más representativas del centro de México, ubicada dentro del Estado de México. El análisis se centra en los principales aspectos que definen su relevancia territorial y ecológica: la localización geográfica, la caracterización biofísica, la cobertura vegetal predominante y su dimensión social.

En primer lugar, se describe la localización geográfica del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT). Esta se encuentra en la región suroeste del Estado de México y abarca varios municipios, entre los que destacan Toluca, Zinacantepec, Calimaya, Almoloya de Juárez y Tenango del Valle. Su posición estratégica dentro del Eje Neovolcánico Transversal le otorga una gran importancia ecológica y climática.

Posteriormente, se desarrolla la caracterización biofísica del Nevado de Toluca, iniciando con su orografía. La altitud de la zona varía desde los 3,000 hasta los 4,680 metros sobre el nivel del mar, convirtiéndolo en la cuarta montaña más alta de México. Esta amplitud altitudinal permite la presencia de una gran diversidad de ecosistemas y condiciones climáticas.

En cuanto al clima, se identifican dos tipos predominantes: el clima frío de montaña y el clima semifrío subhúmedo. Las temperaturas pueden descender por debajo de los 0 °C durante gran parte del año, especialmente en las zonas de mayor elevación. Estas condiciones favorecen la existencia de bosques templados y ecosistemas de alta montaña.

Desde el punto de vista geológico, el Nevado de Toluca es un estratovolcán cuya morfología se encuentra dominada por una caldera volcánica colapsada. En su interior se ubican dos cuerpos de agua emblemáticos: la Laguna del Sol y la Laguna de la Luna, elementos de gran valor natural, paisajístico y cultural.

En el apartado hidrológico, se resalta la importancia del Nevado de Toluca como zona de recarga acuífera. Su topografía favorece la generación de escurrimientos superficiales que alimentan cuencas clave, como la del río Lerma, fundamental para el abastecimiento hídrico regional. La presencia de numerosos manantiales y arroyos consolida su papel como reserva hídrica natural.

En relación con la edafología, los suelos predominantes son los andosoles, seguidos por los feozems. Ambos tipos de suelo presentan alta fertilidad, aunque también son susceptibles a procesos de erosión, especialmente en áreas sometidas a actividades humanas intensas, como la agricultura o el turismo sin regulación.

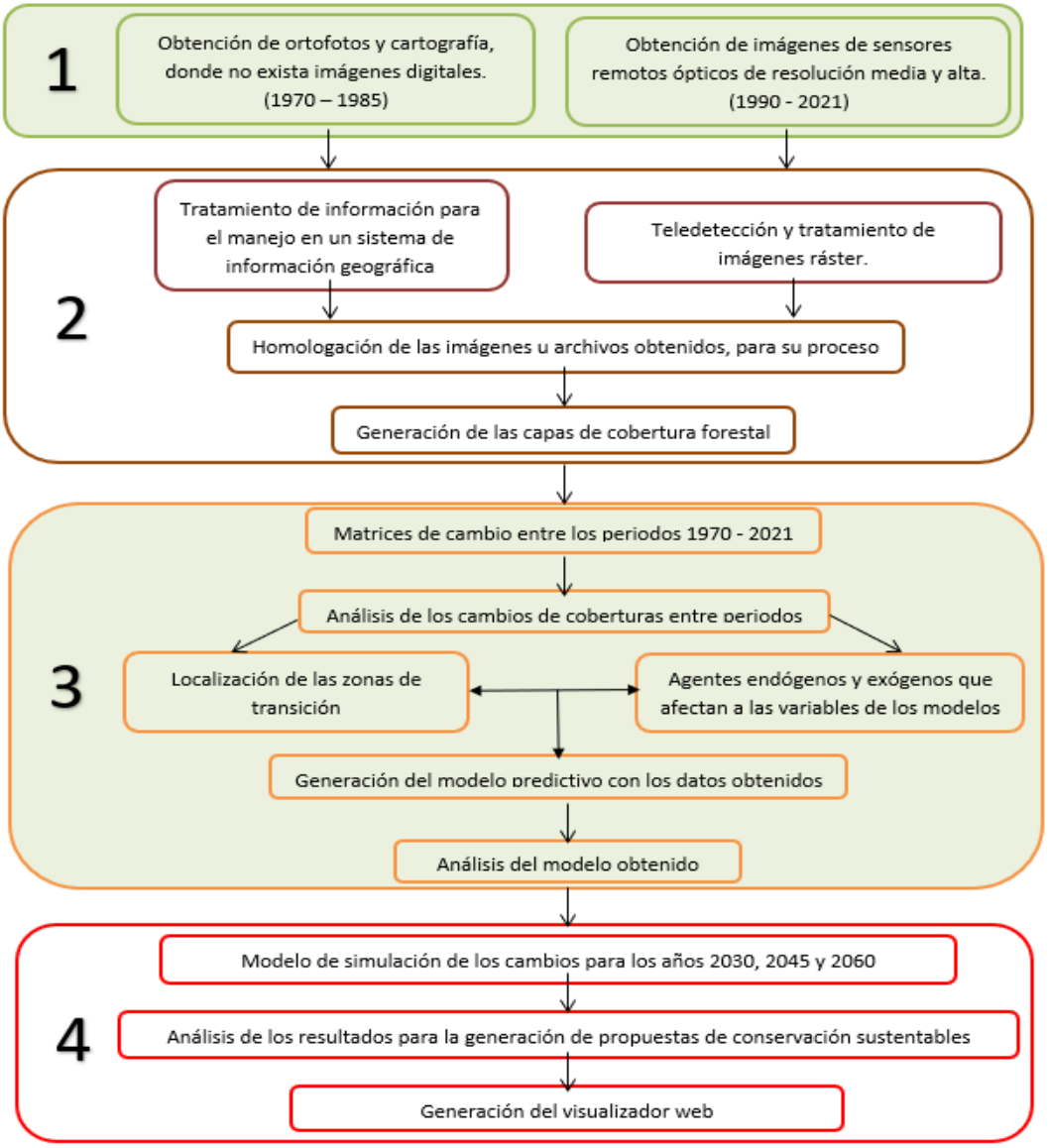
El capítulo también incluye una descripción de la vegetación dominante, en la que sobresalen los bosques de coníferas, conformados principalmente por pinos, oyameles y encinos. Esta cobertura vegetal es crucial para la conservación de la biodiversidad, la regulación climática y la estabilidad de los suelos.

Finalmente, se aborda una caracterización social del área, señalando la presencia de numerosas localidades rurales dentro y en los márgenes del APFFNT. Se mencionan los principales asentamientos humanos, el número de habitantes y la interacción entre las comunidades y el entorno natural. Se destaca la necesidad de promover estrategias de conservación que integren la participación comunitaria, el respaldo de la ciencia y el fortalecimiento del marco de política pública para garantizar la protección efectiva del Nevado de Toluca a largo plazo.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se diseñó una metodología estructurada en cuatro fases, organizadas de forma secuencial a través de un esquema de flujo que representa los procesos clave del análisis. Este enfoque metodológico permite asegurar la coherencia interna del estudio, facilitar la trazabilidad de los resultados y garantizar la solidez del trabajo realizado. Estas etapas comprenden: la recopilación de información, el procesamiento de los datos, el análisis de los cambios y finalmente, la visualización de los resultados obtenidos. Cada una de estas fases cumple un papel fundamental en la construcción del conocimiento derivado de la investigación. La imagen que se presenta a continuación (ver Figura 11) ilustra de manera clara y esquemática los procesos básicos que se deben llevar a cabo en cada una de estas etapas.

Figura 11. Esquema Metodológico



Fuente: Elaboración propia

3.1 Recopilación de información

La primera etapa de este trabajo se centra en la recopilación de ortofotos e imágenes satelitales correspondientes al Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca, abarcando un periodo temporal que va desde 1970 hasta 2021. Esta recopilación tenía como objetivo construir una base de datos visual que permita analizar los cambios espaciales y temporales ocurridos en la zona durante más de cinco décadas.

Para esto, se recurrió principalmente a fuentes de acceso libre como la plataforma EarthExplorer de la USGS, que proporciona imágenes del satélite Landsat, y la herramienta EOS Crop Monitoring, útil para el seguimiento de imágenes satelitales recientes. También se utilizaron plataformas de acceso restringido, como LandViewer, que ofrece imágenes satelitales de alta resolución y funcionalidades adicionales para el análisis geoespacial. Aunque existen numerosas plataformas disponibles para la obtención de este tipo de datos, el presente trabajo se centra en las tres mencionadas por su accesibilidad, confiabilidad y disponibilidad de datos históricos.

Asimismo, se realizó una consulta detallada de los acervos documentales y cartográficos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), organismo que cuenta con una vasta colección de imágenes históricas que cubren la totalidad del territorio nacional. En este repositorio se identificaron diversos insumos valiosos para el desarrollo del presente trabajo, entre los cuales destacan las imágenes aéreas correspondientes al año 1970, que abarcan la zona del Nevado de Toluca.

También se localizaron materiales adicionales correspondientes a otros años, que resultaron de gran utilidad para complementar y refinar los análisis multitemporales. Estos insumos fueron empleados, particularmente, para mejorar la precisión de las clasificaciones de uso de suelo y cobertura vegetal, así como para validar los resultados obtenidos mediante imágenes satelitales.

Paralelamente, se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva de investigaciones previas, artículos científicos, informes técnicos y otros documentos relacionados con el área de estudio. Esta revisión permitió contextualizar la información espacial recolectada, identificar antecedentes relevantes y extraer datos clave que contribuyan al enfoque metodológico del trabajo, fortaleciendo así el análisis desde una perspectiva más estructurada y fundamentada.

3.2 Procesamiento de los datos

Esta fase del trabajo comprende diversas etapas metodológicas orientadas a generar una base sólida para el análisis multitemporal de la cobertura forestal en el área de estudio. En primer lugar, se procedió a definir los límites geográficos, por medio del polígono oficial correspondiente al Área Natural Protegida del Nevado de Toluca, así como un límite extendido que abarcara zonas de influencia potencial. Este límite extendido se considerará en función de factores ecológicos y orográficos, teniendo una delimitación de 3 kilómetros alrededor del área, esto con el fin de identificar dinámicas externas que puedan incidir en la pérdida o ganancia de la cobertura forestal dentro del área. Esta delimitación permitió tener una visión más integral de los procesos que afectan directa o indirectamente a la zona protegida.

Posteriormente, se procedió a la asignación de un sistema de clasificación, el cual fue seleccionado con base en las categorías existentes de uso de suelo y tipos de vegetación propias de la zona de estudio. La elección también consideró la cobertura arbórea identificada,

ajustándose a las características de resolución espacial y a la calidad de los insumos disponibles. Esta decisión metodológica resultó fundamental para asegurar tanto la precisión en la delimitación de clases temáticas como la homogeneidad en la comparación de resultados a lo largo de los distintos periodos analizados.

Después de elegir la clasificación a utilizar se empezó con el procesamiento de los diferentes insumos obtenidos, en donde se incluyen las imágenes satelitales digitales, fotografías aéreas históricas y ortofotos. Por lo que cada tipo de insumo se trabajó según sus características técnicas y resolución espacial que tenía cada una.

Para las imágenes satelitales, se aplicó un método de clasificación supervisada de manera independiente para cada uno de los periodos analizados. Las clasificaciones obtenidas fueron verificadas y corregidas manualmente, a fin de mejorar su precisión y reducir los errores de interpretación.

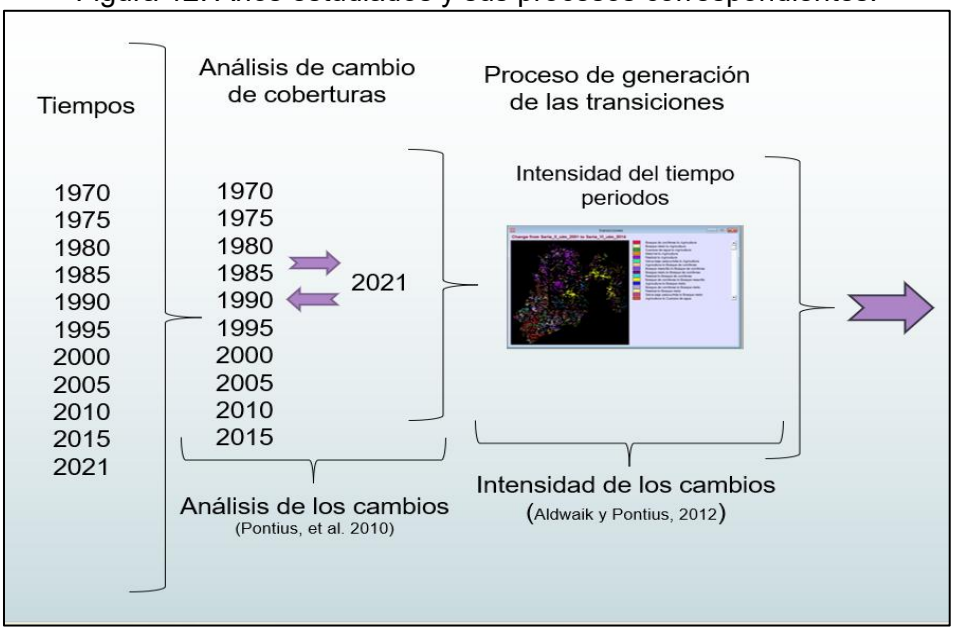
En el caso de las fotografías aéreas y ortofotos, se realizó un proceso de digitalización, con el fin de transformarlas en un formato ráster georreferenciado que sea compatible con los sistemas de análisis geoespacial. Esto permitió integrarlas de manera homogeneizada contra las imágenes satelitales y así facilitar su comparación entre las diferentes series temporales.

Cada conjunto de imágenes se homogeneizó en términos de resolución espacial y espectral, con el objetivo de asegurar la comparabilidad entre periodos. Una vez normalizados, los datos se sometieron a procesos de clasificación, en los que se asignaron sus valores correspondientes a su tipo de cobertura o uso, de acuerdo con el esquema adoptado. Este paso es esencial para lograr un análisis estandarizado y fiable que permita identificar cambios significativos a lo largo del tiempo.

La metodología empleada para la obtención de esta información cartográfica sobre el uso del suelo y la vegetación se basó en un enfoque combinado de fotointerpretación y clasificación supervisada de imágenes aéreas, orientado específicamente a la identificación de cambios en las coberturas a lo largo del tiempo. Este proceso tomó como referencia principal la clasificación temática de las cartas de uso de suelo elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como el sistema propuesto por Miranda y Hernández (1963). La integración de estas referencias permitió homologar la cartografía generada en distintos periodos, facilitando así comparaciones consistentes y metodológicamente sólidas entre las distintas etapas de análisis.

Para el desarrollo de este estudio se establecieron intervalos temporales de cinco años, con el objetivo de llevar a cabo un análisis detallado y sistemático de los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal a lo largo del tiempo. Como resultado, se seleccionaron los siguientes años de referencia para el análisis: 1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2021, (ver Figura 12).

Figura 12. Años estudiados y sus procesos correspondientes.



Fuente: Elaboración propia

Esto permitió generar 11 tiempos de estudio distintos, cada uno representando una ventana temporal con características particulares en términos de dinámica territorial, presión antrópica y transformaciones ecológicas. La elección de intervalos regulares favorece una comparación homogénea y estructurada, lo que a su vez facilita la identificación de patrones, tendencias y rupturas temporales en la evolución del paisaje. Asimismo, esta periodicidad permite detectar tanto cambios graduales como transformaciones abruptas, fortaleciendo la calidad del análisis multitemporal.

Diversos estudios previos han subrayado la importancia de las técnicas de clasificación de imágenes como herramientas clave en la generación de productos cartográficos confiables. Investigaciones como las de He et al. (2021), Li et al. (2021) y Wang et al. (2021), destacan que cuando los procesos de fotointerpretación, segmentación y clasificación supervisada se implementan de forma rigurosa y alineada con los objetivos del estudio, pueden generar resultados altamente precisos. En este contexto, la aplicación de estas técnicas no solo eleva la calidad técnica de los mapas generados, sino que también permite una mayor profundidad en el análisis espacial y temporal de las transformaciones del paisaje.

La adopción de una metodología sistemática, coherente y replicable para la elaboración de cartografía temática es fundamental para asegurar la comparabilidad de los datos entre periodos. Este enfoque permite detectar tendencias significativas, así como evaluar el impacto acumulado de los procesos de cambio en el territorio. Además, contribuye a la conformación de un banco de datos geoespaciales estructurado y accesible, que podrá ser aprovechado por investigadores, instituciones públicas y organismos encargados de la gestión ambiental. Esta información servirá de base para el diseño de estrategias de conservación más efectivas, no solo en el Nevado de Toluca, sino también en otras áreas naturales protegidas con problemáticas similares.

Por último de esta fase se realizaron salidas de campo, así como la consulta de bases de datos de muestreo existentes, con el propósito de obtener puntos de control y verificación. Estos puntos fueron utilizados tanto para validar la información cartográfica como para generar campos de entrenamiento que sirvieron de base para la clasificación de coberturas. Esta verificación no solo

permitió fortalecer el análisis, sino que también contribuyo a agilizar el procesamiento y mejorar la confiabilidad de los resultados.

Para realizar esta verificación, se utilizaron puntos de muestreo provenientes de distintos años y diversas instituciones, lo que permitió contar con una amplia variedad de datos y referencias cruzadas que fortalecieron la confiabilidad del análisis. Asimismo, se llevó a cabo una consulta exhaustiva de bases de datos especializadas en especies vegetales, entre las cuales destacan los aportes proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Estas fuentes fueron fundamentales para validar la clasificación de coberturas y enriquecer el conocimiento sobre la composición florística del área de estudio.

Los muestreos de campo desempeñaron un papel clave en la recopilación de datos directos sobre la vegetación y el uso del suelo, aportando información empírica que permitió mejorar la precisión de la clasificación de coberturas. Esta verificación no solo fortaleció la validez de los resultados cartográficos, sino que también permitió una comprensión más detallada de las dinámicas ecológicas presentes en la zona de estudio.

La integración de datos provenientes de múltiples fuentes y metodologías, tanto remotas como de campo, permitió construir un marco analítico sólido y consistente. Este enfoque mixto garantizó una mayor fiabilidad en los resultados y facilitó la identificación de tendencias significativas en la evolución del uso del suelo y la cobertura vegetal a lo largo del tiempo (Massé & Salas, 2020). De este modo, el estudio no solo aporta datos cuantitativos precisos, sino también insumos cualitativos valiosos para la interpretación de los procesos territoriales y ecológicos que afectan al Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.

3.3 Análisis de los cambios de uso de suelo y vegetación

Los estudios sobre cambios de uso de suelo y vegetación son muy amplios y abarcan diferentes áreas, de aquí la importancia del uso de tecnologías que permitan realizar análisis más rápidos y certeros, para una mejor toma de decisiones.

Entre las técnicas de mayor importancia están los sistemas de información geográfica y la teledetección, los cuales juegan un papel importante en el desarrollo de esta investigación, pues por una parte la teledetección se utilizará para la obtención de cartografía preliminar, la cual estará basada en un estudio del análisis de bandas electromagnéticas para la diferenciación de las unidades de vegetación y uso de suelo, las cuales algunas se tomaran de base para la generación de su clasificación correspondiente.

Los Sistemas de Información Geográfica juegan un papel importante en el análisis de datos espaciales, estos tienen la capacidad de analizar gran cantidad de datos, localizar las dinámicas existentes, la actualización de datos, una interoperabilidad de archivos de diferente índole, así como la interacción de diferentes bases de datos. Esto permite realizar análisis de forma cuantitativa y cualitativa, lo que ayuda a identificar patrones espaciales, tendencias evolutivas y zonas críticas de transformación. Esta doble perspectiva fortalece la comprensión de las dinámicas ecológicas en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, y proporciona una base técnica robusta para la toma de decisiones orientadas a la gestión ambiental, la planificación territorial y la conservación de los recursos naturales.

El análisis de esta información lleva varios pasos uno de los primeros pasos y ya se han mostrado anteriormente es la homogenización de los insumos espaciales correspondientes a cada fecha de análisis. Para asegurar la comparabilidad entre los distintos periodos temporales, aquí se estableció un único sistema de clasificación temática, así como un sistema de coordenadas geográficas uniforme. Asimismo, se verificó que las imágenes utilizadas fuesen coherentes en cuanto a la cobertura espacial, la estación del año, y las características técnicas del sensor (particularmente su resolución espacial y espectral). Esta estandarización inicial es fundamental para evitar sesgos en la interpretación y garantizar que los cambios detectados reflejen variaciones reales en el paisaje, y no diferencias en los insumos.

Como parte de la clasificación se generaron las siguientes categorías: cobertura agrícola, cuerpos de agua, bosque de coníferas (incluyendo oyamel, ayarín y cedro), bosque de coníferas (comprendiendo pino y táscate), áreas desprovistas de vegetación, minas de arena, pastizales, pastizales alpinos y asentamientos humanos. Generando así 9 tipos de cobertura las cuales fueron las más representativas de zona de estudio.

Posteriormente, se procedió a la sobreposición de los mapas de los diferentes años con sus respectivos usos de suelo, todo esto dentro de un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG) y posteriormente en un software especializado en análisis de imágenes. Por lo que se verificó que el área de trabajo fuera exactamente la misma en todos los tiempos, asegurando una coincidencia espacial precisa. En los casos donde se detectaron incongruencias en el empalme o desalineación entre capas, se realizaron las correcciones correspondientes. Este procedimiento se aplicó de forma rigurosa para cada uno de los 11 tiempos de análisis, permitiendo generar una serie homogénea de mapas comparables a lo largo del tiempo. Este análisis se llevó a cabo utilizando el software QGIS (QGIS Development Team, 2023), una herramienta poderosa para el procesamiento y análisis de datos geoespaciales.

En este entorno, la información recopilada fue convertida al formato TIF (Tagged Image File Format), ampliamente utilizado en los Sistemas de Información Geográfica por su capacidad para almacenar imágenes geoespaciales de alta resolución junto con metadatos incorporados. La conversión se efectuó a una escala de trabajo de 1:10,000, lo que garantiza un nivel de detalle adecuado para el análisis cartográfico, permitiendo una representación precisa y confiable de las coberturas del suelo en el área de estudio.

Toda la información fue sometida a un exhaustivo proceso de limpieza topológica, orientado a corregir errores derivados de la digitalización manual y resolver inconsistencias espaciales, como superposiciones, duplicidades o vacíos entre coberturas vectoriales (Cooper et al., 2021; He et al., 2021; Li et al., 2021). Esta etapa resultó fundamental para asegurar la integridad, coherencia y precisión de los datos geoespaciales, ya que cualquier anomalía topológica podría comprometer la fiabilidad de los análisis espaciales posteriores, así como la exactitud de los productos cartográficos generados.

Una vez integradas las capas temporales, se procedió a la estructuración de la base de datos temática, simplificando la tabla de atributos asociada a cada área o polígono, según el tipo de información, ya sea vectorial o ráster utilizado. Cada unidad espacial individual fue codificada con la categoría de cobertura forestal o uso del suelo correspondiente a cada fecha de análisis. A partir de esta información, se identificaron todas las combinaciones únicas de transición de cobertura a lo largo del tiempo.

Esta homologación de archivos se llevó a cabo en el software TERRSET, específicamente el módulo Land Change Modeler (LCM), diseñado para analizar cambios en el uso del suelo de

manera multitemporal. Mediante esta herramienta, se efectuó una comparación sistemática entre las distintas fechas, lo que facilitó la detección visual y estadística de transiciones espaciales en la cobertura terrestre.

Esta metodología consiste en comparar los cambios observados con aquellos que se esperarían bajo un escenario aleatorio (es decir, debidos al azar), para un grado determinado de persistencia. La comparación permite identificar si un proceso de cambio se debe realmente a un patrón no aleatorio. A partir de ello, se calcula una diferencia porcentual (en relación con el área total) y un cociente (que indica la magnitud del cambio más allá del azar). Si la diferencia es positiva, significa que las categorías del tiempo 1 (t1) pierden más de lo que cabría esperar por azar, lo que sugiere un proceso no aleatorio de ganancia. Si la diferencia es negativa, indica que esas mismas categorías pierden menos de lo esperado, lo que puede interpretarse como una ganancia aleatoria o menor vulnerabilidad al cambio.

Así bien, de los índices de cambio propuestos por Pontius et al. (2004) se tiene: la ganancia (Gij), la cual indica la proporción del paisaje que experimenta un aumento entre la fecha inicial (t1) y la fecha final (t2), y que se calcula obteniendo la diferencia entre la columna del total del tiempo 2 ($P+j$) y la persistencia (Pjj) que es la parte del paisaje que ha permanecido constante en la misma categoría entre t1 y t2.

$$Gij = P+j - Pjj \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

La pérdida (Lij), que representa la proporción del paisaje que decrece entre ambas fechas, se obtienen calculando la diferencia entre la fila del total del tiempo 1 ($Pj+$) y la persistencia (Pjj);

$$Lij = Pj+ - Pjj \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

El intercambio (Sj) entre categorías, este concepto involucra simultáneamente ganancia y pérdida de una categoría de ocupación sobre el paisaje, se da cuando la localización de una categoría de ocupación cambia entre dos fechas, mientras su superficie permanece constante, es decir que por cada unidad de ganancia de una categoría hay la misma cantidad de pérdida para otra, se calcula como dos veces el valor mínimo de las ganancias y las pérdidas.

$$Sj = 2\ x\ MIN\ (Pj+ - Pjj, P+j, - Pjj) \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

La persistencia es la cantidad de superficie de las diferentes clases que se mantuvieron estables durante los diferentes tiempos estudiados (esta es importante en el análisis de cambios de usos, en el sentido de que diversos estudios demuestran que lo estable es lo que predomina en la naturaleza, aun en zonas muy dinámicas), y que puede ser obtenida a partir de la diagonal principal de la matriz. El cambio total (DTj), el cual es la suma de todas las proporciones del paisaje que cambiaron, mientras que el cambio neto indica un cambio definitivo sobre el paisaje, por cuanto representa la diferencia entre el cambio total y el intercambio, dada en valores absolutos.

$$DTj = (Gij + Lij) \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

$$Dj = |DTj - Sj| \qquad \text{(Ecuación 5)}$$

Para reconocer si los cambios producidos entre las categorías, es necesario determinar si estas ganancias y pérdidas son significativas. Para ello se construyeron dos matrices denominadas de Transición sistemática: una en función de las ganancias (ecuación 6) y otra en relación con las pérdidas (ecuación 7). Lo que se obtiene con estas matrices es la distribución de la ganancia o pérdida de cada categoría entre las demás de acuerdo con la proporción relativa que cada categoría debió presentar en el t2 fuera producto de un proceso aleatorio.

Para identificar si los valores de la matriz de transiciones sistemáticas son significativos, se considera la diferencia entre los valores observados (matriz de cambios) y los valores esperados (matriz de transiciones sistemáticas).

En el caso de las ganancias, (ecuación 6) se asume que la ganancia de cada categoría y la proporción de cada categoría en el t2 son fijas, para después distribuir la ganancia a través de las otras categorías, según la proporción relativa de las otras categorías en el t1, donde Gij es la transición esperada de la categoría i para la categoría j debido a un proceso aleatorio de ganancia, $P{+}j - Pjj$ es la ganancia total observada de la categoría j, $Pi{+}$ es el tamaño de la categoría i en el t1 y $Pi{+}$ es la suma de los tamaños de todas las categorías excluyendo a la categoría j en el t1.

$$Gij = \frac{(P{+}j - Pjj)\ x\ Pi{+}}{1 - P{+}i} \qquad \text{(Ecuación 6)}$$

Para el cálculo de las pérdidas (ecuación 7) el procedimiento es similar al anterior, donde se asume que la pérdida de cada categoría es fija, y luego se distribuye la pérdida a través de las demás categorías según la proporción relativa de las otras categorías con el t2, donde Lijes la transición esperada de la categoría i para la categoría j debido a un proceso aleatorio de pérdida, $Pi{+} - Pii$ es la pérdida total observada de la categoría i entre los dos tiempos $P{+}j$ es el tamaño de la categoría j en el t2, y $1 - P{+}i$ es la suma de los tamaños de todas las categorías excepto la categoría i en el t2.

$$Lij = \frac{(Pi{+} - Pii)\ x\ P{+}j}{1 - P{+}j} \qquad \text{(Ecuación 7)}$$

Este procedimiento permitió agrupar y reducir la base de datos a un conjunto de transiciones significativas, facilitando así el análisis de los cambios, permitiendo una visión más clara y detallada de la dinámica territorial en la región.

Con base en la información organizada en las tablas de atributos, se procedió a la elaboraron matrices de cambio en el uso y cobertura del suelo. Estas matrices sintetizan la superficie asociada a cada combinación de cambio entre fechas, proporcionando un panorama cuantitativo de las ganancias, pérdidas y persistencias en cada tipo de cobertura. Las matrices constituyen la base del análisis multitemporal, ya que permiten identificar patrones de transición, cuantificar la magnitud de los cambios y visualizar su distribución espacial.

Esta matriz de cruce de datos se elaboró por medio de un (cross-tab), lo que hace esta función es generar los datos de forma cruda, esto para poder analizar los datos con más precisión integrando esta información a los 55 periodos obtenidos de los diferentes tiempos de estudios, esto con el fin de detectar cambios entre tiempos, todo esto con base en la metodología desarrollada por Pontius et al. (2004). Esta matriz permite una tabulación cruzada de las distintas clases de cobertura, facilitando la identificación precisa de pérdidas, ganancias, persistencias y

transiciones. A través de fórmulas específicas, se pudo calcular el cambio total, cambio neto y tasas de transformación para cada clase temática, permitiendo una caracterización estructurada de las dinámicas territoriales observadas.

Este análisis se aplicó a intervalos de cinco años, desde 1970 hasta 2020, exceptuando el periodo final, en el que el año 2021 el cual se toma como estado de referencia o “estado del arte”, a partir del cual se identificaron las zonas de transición activa.

Este enfoque proporciona no solo una medición cuantitativa de los cambios en la cobertura del suelo, sino también una herramienta útil para evaluar la velocidad y la intensidad con la que ocurren las transformaciones en el paisaje. Con estos datos, es posible identificar tendencias significativas y establecer proyecciones basadas en patrones históricos, lo cual resulta crucial para la planificación ambiental, el diseño de políticas públicas y la gestión sostenible del territorio (Pontius & Petrova, 2010; Wang et al., 2021).

El análisis del cambio en el uso y la cobertura del suelo es una metodología reconocida en estudios de cambio ambiental, utilizada para evaluar fenómenos como la deforestación, degradación de ecosistemas, pérdida de biodiversidad y alteraciones en el ciclo hidrológico (Sánchez-Reyes et al., 2017). Su utilidad radica en la capacidad de cuantificar y modelar estos procesos a través del tiempo, ofreciendo un respaldo técnico para la gestión adaptativa y prospectiva de los recursos naturales.

Una vez obtenida la caracterización de los cambios por periodo, se procedió a localizar espacialmente las zonas de transición, evaluando la intensidad y frecuencia de las transformaciones ocurridas. Estas zonas fueron clasificadas según su relevancia e impacto potencial en la dinámica ecológica del área, lo cual permitirá identificar regiones críticas o estratégicas para su gestión o restauración.

Con base en estas transiciones, se desarrollaron los modelos predictivos o de simulación de escenarios, enfocados en proyectar la evolución de la cobertura forestal hacia los años 2030, 2045 y 2060. Estos modelos se construyeron tomando en cuenta las tendencias detectadas en los periodos anteriores, integrando factores espaciales y temporales que influyen en los procesos de cambio. La finalidad de este enfoque es anticipar posibles escenarios futuros y proponer estrategias más efectivas de conservación y manejo en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. De esta manera, los resultados obtenidos no solo representan un insumo para futuras investigaciones, sino que también apoyan procesos institucionales de monitoreo y manejo adaptativo en la región.

3.4 Visualización de resultados

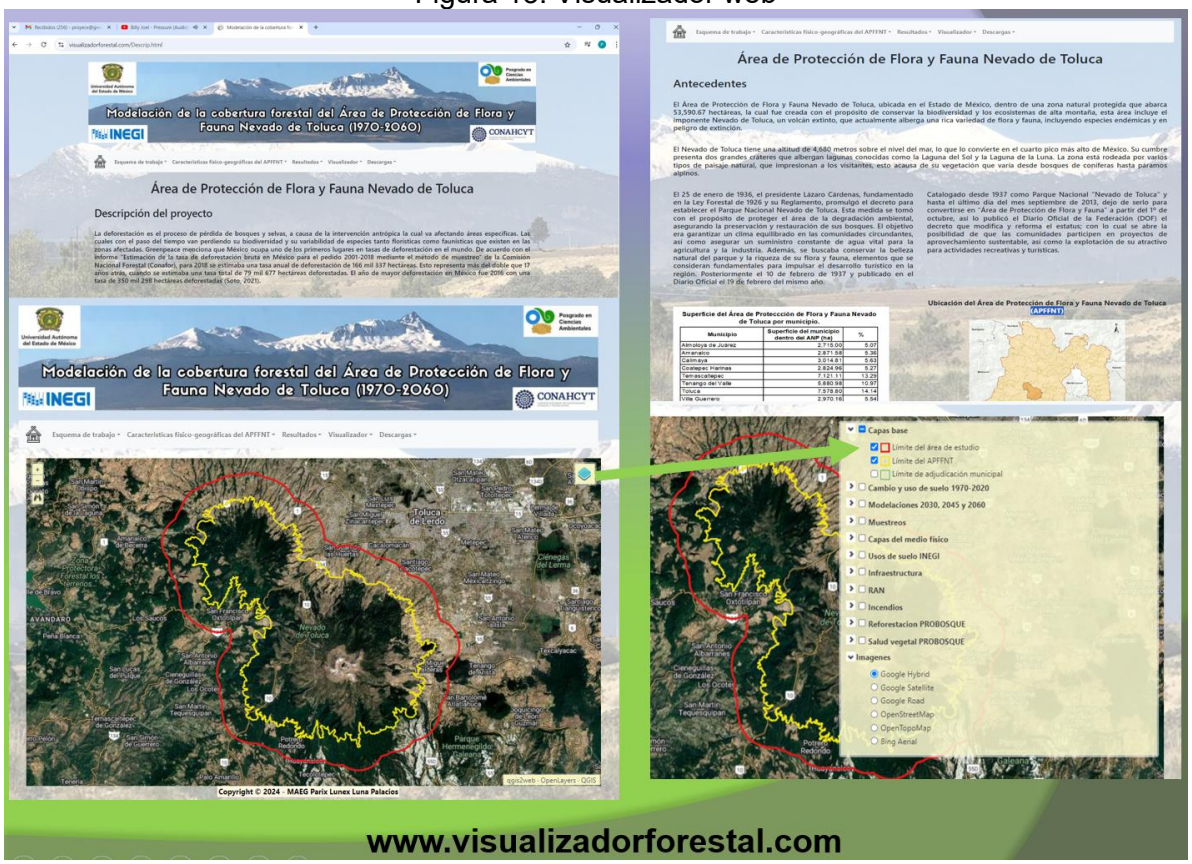
La divulgación de los resultados en la parte final del trabajo se generan los modelajes definitivos de cada tiempo proyectado, así como un análisis de las políticas de conservación del área de estudio. Esto como resultado del análisis de la información obtenida de las modelaciones, con el fin de contribuir en las propuestas de conservación, dirigidas a las zonas que puedan ser afectadas a través del tiempo.

Por último, se generó un visualizador web, donde se subieron todos los resultados obtenidos, así como algunos archivos complementarios, para poder realizar mejores análisis, esto se logró por medio de la plataforma de Open Layers, donde se subieron las capas correspondientes al proyecto. Esto con el fin de una mayor difusión de la información y sea de conocimiento a más

personas o instituciones interesadas sobre el tema y pueda influir en la toma de decisiones de uso y conservación del área.

El visualizador web tiene la opción de bajar la información en formato kmz y pdf, cabe mencionar que se adjuntó la información más importante del proyecto, (ver Figura 13).

Figura 13. Visualizador web



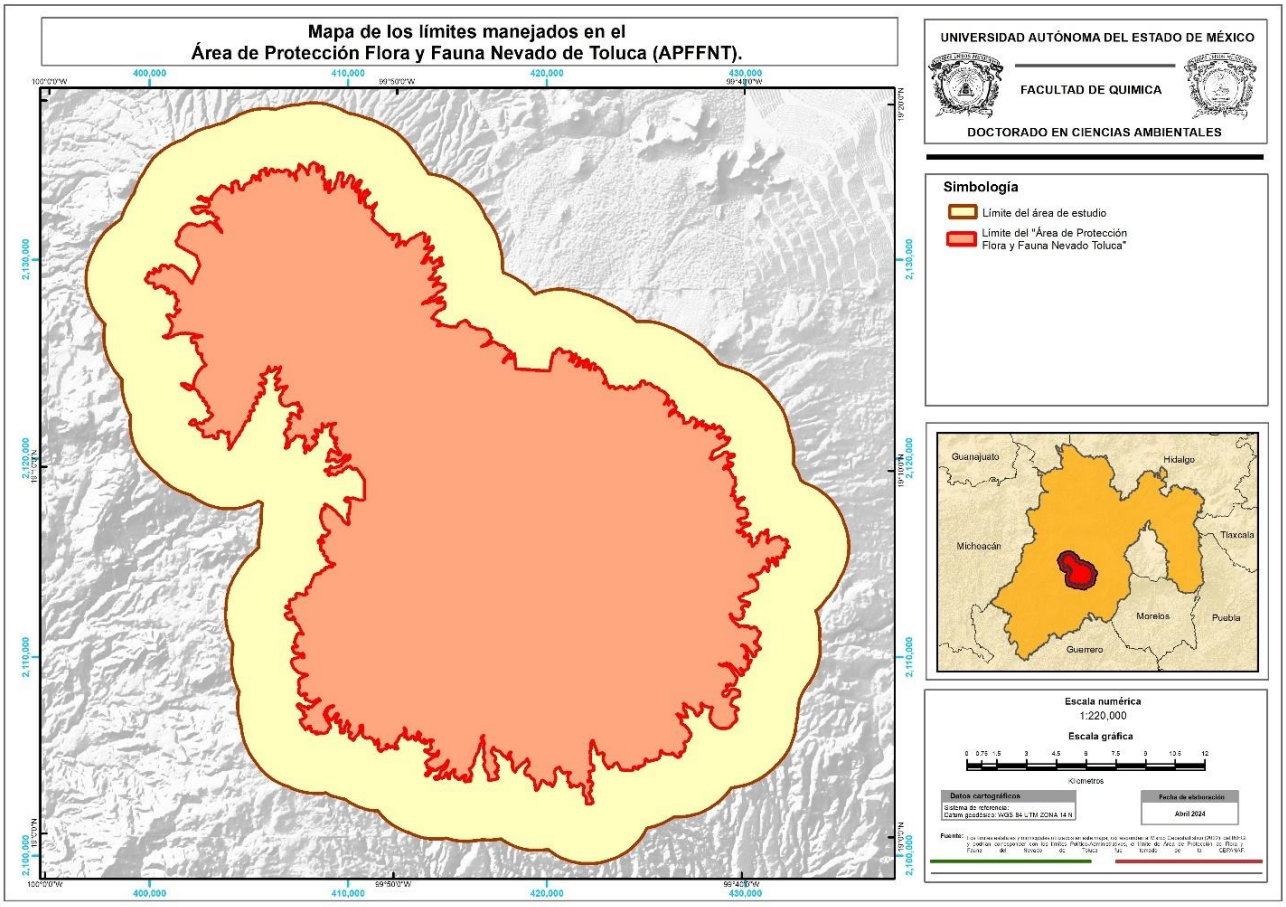
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo se llevaron a cabo diversas etapas, cada una de las cuales generó productos específicos orientados al análisis del territorio. Uno de los principales resultados obtenidos fue la elaboración de una cartografía homogeneizada correspondiente a once momentos temporales distintos, clasificados en nueve categorías temáticas. Este análisis cartográfico se enfocó en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, proporcionando una base sólida para el estudio de los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal a lo largo del tiempo.

Cabe destacar que para el desarrollo de este análisis se delimitaron dos áreas espaciales: por un lado, el límite oficial del área natural protegida y, por otro, una zona de influencia definida mediante un búfer de tres kilómetros alrededor de dicho límite. Esta doble delimitación permitió ampliar la perspectiva territorial del estudio, considerando tanto el espacio directamente protegido como su entorno inmediato, el cual también desempeña un papel crucial en la dinámica ecológica y territorial del área en cuestión, (Figura 14).

Figura 14. Mapa de los límites manejados en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)



Fuente: Elaboración propia

4.1 Estandarización de datos analógicos y digitales.

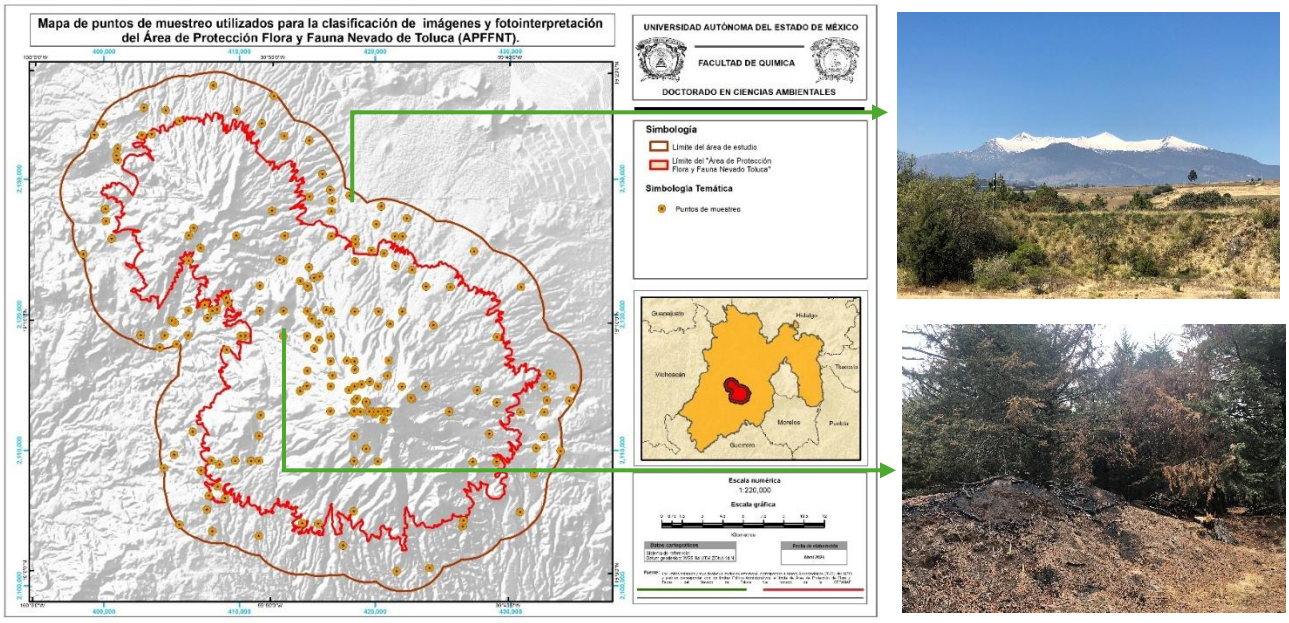
Uno de los principales productos generados durante el desarrollo de este trabajo fue la elaboración de 11 series temporales homologadas, que abarcan el periodo comprendido entre 1970 y 2021. Para lograr una representación sistemática de los cambios territoriales, se definieron intervalos regulares de cinco años entre cada corte temporal, lo cual permitió mantener la coherencia en el análisis multitemporal.

Los años seleccionados para esta serie de estudios fueron: 1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2021. Esta periodicidad permitió observar de manera continua la evolución del uso del suelo y la cobertura vegetal a lo largo de más de cinco décadas, facilitando la identificación de tendencias, patrones y transformaciones relevantes en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca y su zona de influencia

El proceso de homologación de las series temporales se realizó a través de distintos métodos de clasificación de imágenes, seleccionados en función de la disponibilidad y calidad de los insumos geoespaciales correspondientes a cada periodo. Para los años comprendidos entre 1970 y 1995, se recurrió a la fotointerpretación de imágenes aéreas proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Este enfoque permitió identificar manualmente las distintas coberturas y usos del suelo, basándose en criterios visuales como textura, forma, tamaño, tono y patrón espacial.

En contraste, para los años que abarcan de 2000 a 2021, se emplearon técnicas de procesamiento digital de imágenes provenientes de sensores satelitales, específicamente de las misiones Landsat (Landsat 5, 7 y 8) y Sentinel-2. Estas imágenes fueron procesadas utilizando el software Erdas Imagine 2015, aplicando el método de clasificación supervisada. Este procedimiento implicó la generación de firmas espectrales representativas para cada categoría de uso del suelo, las cuales fueron definidas a partir de zonas de entrenamiento previamente seleccionadas, validadas con puntos de muestreo en campo y fotografías (ver Figura 15).

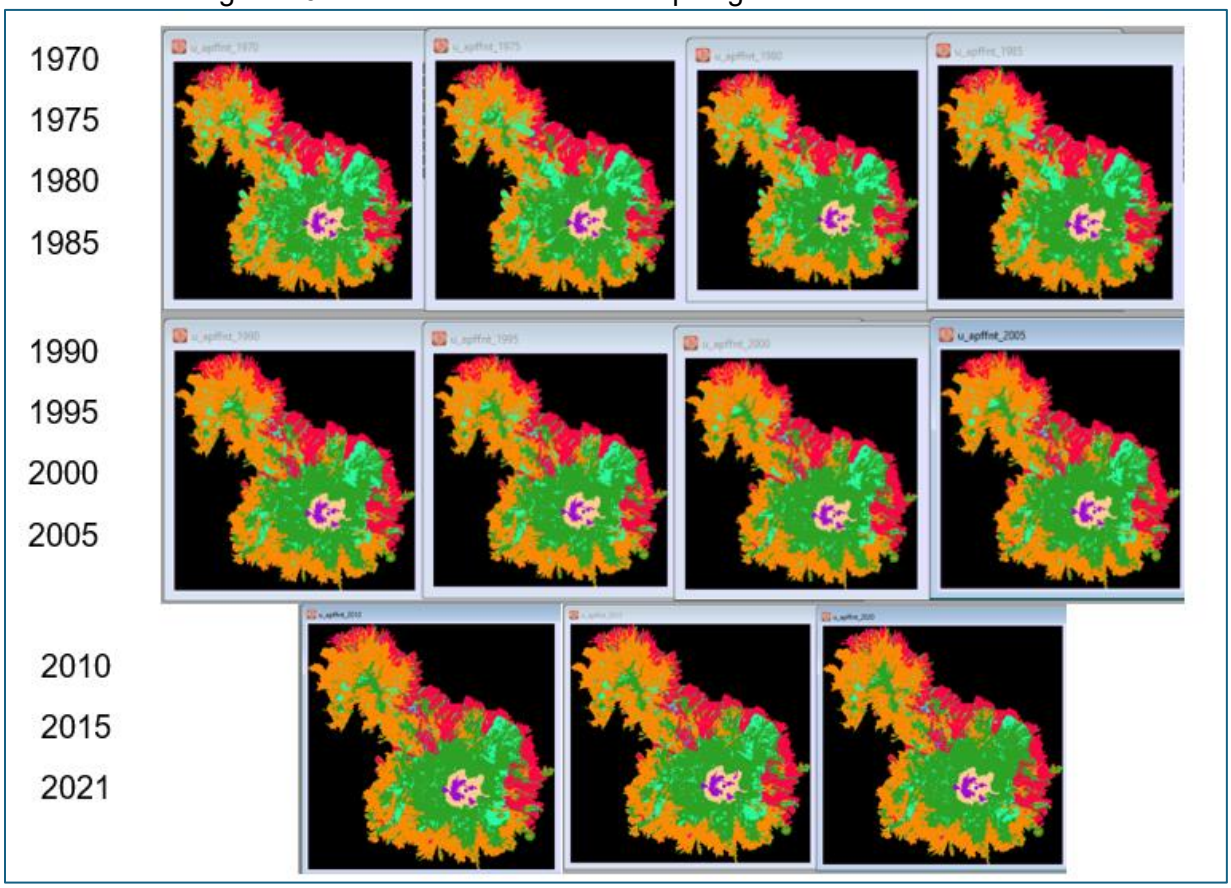
Figura 15. Puntos de muestreo utilizados para la clasificación de imágenes y fotointerpretación.



Fuente: Elaboración propia

La combinación de estos enfoques metodológicos permitió garantizar la coherencia y comparabilidad entre los diferentes periodos temporales, a pesar de las variaciones en la resolución espacial y espectral de los insumos. De este modo, se logró construir una base cartográfica homogénea y robusta, capaz de reflejar con precisión los cambios territoriales ocurridos en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca a lo largo de más de cinco décadas (ver Figura 16).

Figura 16. Resultados de los 11 tiempos generados del APFFNT

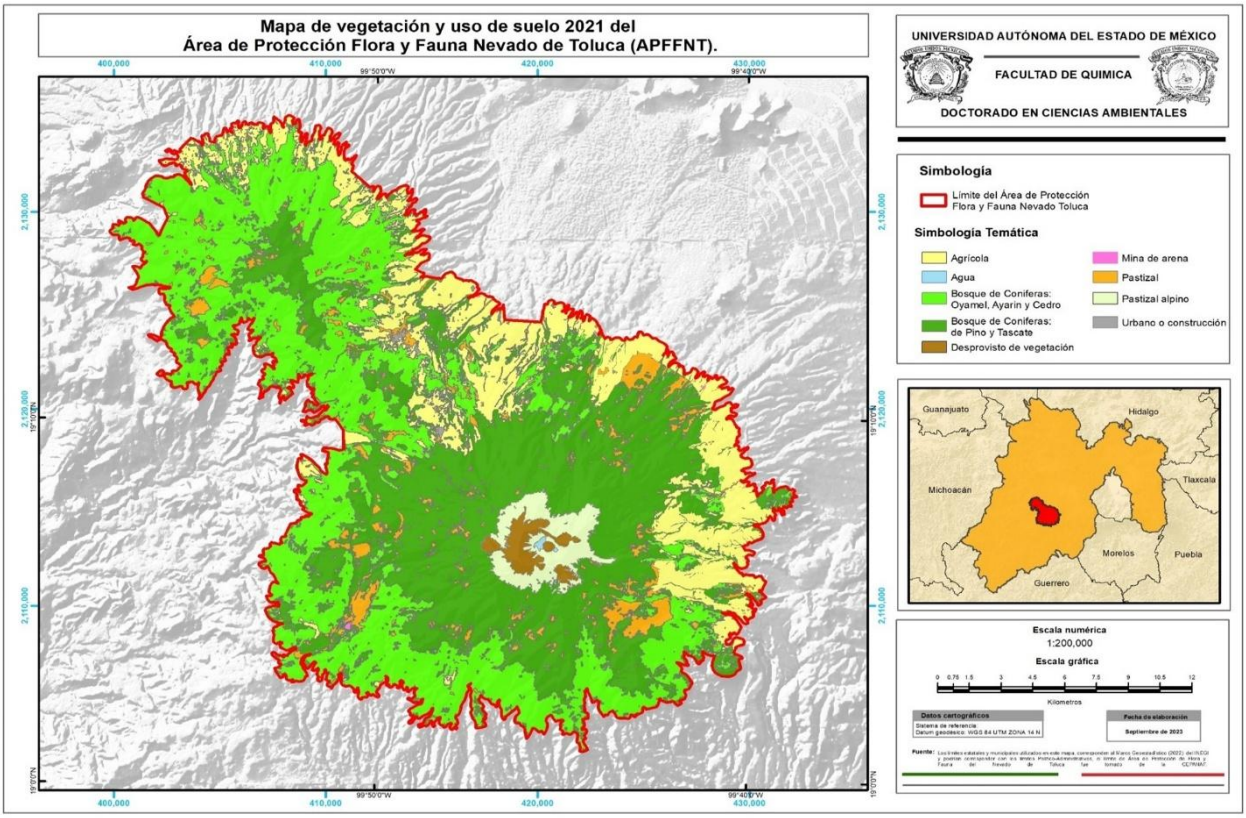


Fuente: Elaboración propia.

La clasificación de las coberturas del suelo empleada en este estudio se fundamentó en el esquema propuesto por Miranda y Hernández (1963), complementado con la información contenida en la Carta de Uso del Suelo y Vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023). Esta combinación de referentes permitió establecer una tipología coherente y detallada de las principales coberturas presentes en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca y su zona de influencia.

A partir de este marco metodológico, se definieron nueve clases de cobertura y uso del suelo: uso agrícola, cuerpos de agua, bosques de coníferas (oyamel, ayarín, cedro), bosques de coníferas (pino y táscate), minas de arena, áreas desprovistas de vegetación, pastizales, pastizales alpinos y asentamientos humanos. Esta clasificación no solo responde a criterios ecológicos y funcionales del paisaje, sino que también refleja las dinámicas que han dado el territorio a lo largo del tiempo (ver Figura 17).

Figura 17. Ejemplo de uno de los mapas finales de los 11 tiempos generados.



Fuente: Elaboración propia.

La adopción de este sistema de categorías proporciona un marco conceptual para interpretar la distribución espacial y temporal de las coberturas, así como sus transformaciones. Además, facilita la comparación entre distintos periodos y estudios, y sienta las bases para futuros análisis orientados a la evaluación del cambio de uso del suelo.

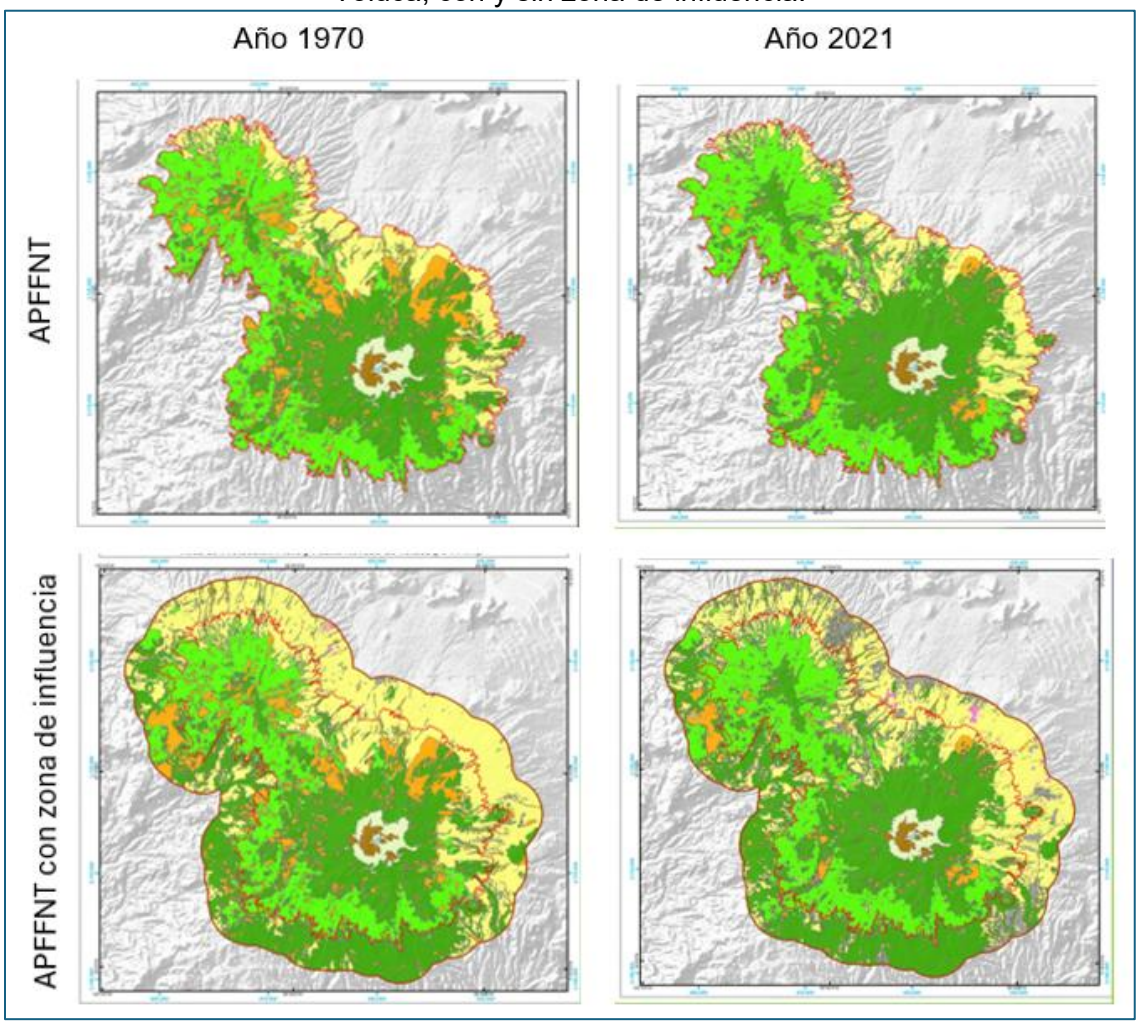
4.2 Análisis de los cambios de las coberturas de vegetación y uso de suelo

Con el fin de analizar los cambios espaciales y temporales en la cobertura del suelo en torno al Nevado de Toluca, se realizó un ejercicio comparativo basado en información cartográfica multitemporal. A partir de esta cartografía, se generaron dos series distintas de análisis. La primera contempla once periodos de tiempo, centrando su atención exclusivamente en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT). La segunda amplía el enfoque territorial al incorporar también su zona de influencia inmediata (ver Figura 18). Esta comparación permite identificar de qué manera las áreas circundantes pueden ejercer presión o influir en las transformaciones de la cobertura del suelo, tanto dentro como fuera de los límites del área protegida, aportando elementos clave para la gestión y planificación ambiental con enfoque regional.

En total, se generaron 22 mapas distribuidos en dos series: una que abarca únicamente el Área Natural Protegida (ANP) y otra que incluye una zona de influencia de 3 kilómetros alrededor de la misma. Estas series cubren el periodo comprendido entre 1970 y 2021. El objetivo principal de esto fue realizar un análisis comparativo de los cambios ocurridos a lo largo del tiempo, con el fin de identificar años con transformaciones drásticas o significativas en la cobertura del territorio.

En este punto, se establece una convergencia entre los métodos tradicionales y los enfoques modernos, lo cual enriquece tanto la interpretación de los resultados como su aplicabilidad.

Figura 18. Series de cartografía generadas del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, con y sin zona de influencia.



Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo el análisis de los cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo, se optó por elaborar diversas matrices de transición. Estas matrices permiten una representación numérica detallada de las transformaciones observadas durante los periodos de estudio, facilitando la comparación entre diferentes momentos temporales. Cada matriz compara dos fechas específicas, expresando los cambios en valores relativos que indican el porcentaje de cada categoría de cobertura y su relación de transición hacia otras categorías.

4.2.1 Comparación de coberturas y usos.

Este análisis se basa en comparar la superficie correspondiente a cada categoría en la fecha inicial con la superficie ocupada por esa misma categoría en la fecha posterior, permitiendo identificar no solo las pérdidas o ganancias netas, sino también los intercambios entre clases de cobertura. Este enfoque metodológico, respaldado por lo propuesto por Bocco et al. (2001),

permite comprender con mayor precisión las dinámicas espaciales y temporales del territorio estudiado.

Con todos los mapas anteriores se obtuvieron los datos de coberturas uso de suelo del periodo y las series utilizadas en este estudio, ver tabla 10, 11, 12 y 14.

Tabla 10. Cantidad de cobertura de uso de suelo del periodo 1970-1995 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

	APFFNT (ha)					
Cobertura	**1970**	**1975**	**1980**	**1985**	**1990**	**1995**
Agrícola	9,094.50	9,082.14	9,072.22	9,112.02	9,279.10	9,329.62
Cuerpo de agua	25.84	25.84	25.84	25.84	25.72	25.72
Bosque de coníferas: pino y táscate	16,946.22	17,476.74	17,707.97	18,030.89	18,387.57	18,569.81
Bosque de coníferas: oyamel, ayarín y cedro	18,007.81	18,170.89	18,425.65	18,477.29	19,483.08	19,505.36
Desprovisto de vegetación	590.59	590.59	589.07	590.59	589.07	589.07
Pastizal	7,463.64	6,798.29	6,343.05	5,930.74	4,477.63	4,222.60
Pastizal alpino	1,451.98	1,436.10	1,416.79	1,413.23	1,309.43	1,309.43
Asentamientos humanos	9.28	9.28	9.28	9.28	38.28	38.28
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 11. Cantidad de cobertura de uso de suelo del periodo 2000-2021 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

	APFFNT (ha)				
Cobertura	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2021**
Agrícola	9,277.78	9,262.58	8,931.87	8,945.35	8,840.39
Cuerpo de agua	25.96	25.96	26.24	26.64	25.28
Bosque de coníferas: pino y táscate	18,828.92	18,788.88	19,307.24	18,940.60	20,522.46
Bosque de coníferas: oyamel, ayarín y cedro	19,582.19	19,613.23	19,559.79	19,594.91	19,388.40
Desprovisto de vegetación	589.07	589.07	589.07	589.07	587.91
Pastizal	3,894.48	3,907.44	3,709.92	4,020.76	2,762.01
Pastizal alpino	1,301.23	1,301.23	1,294.43	1,299.87	1,280.43
Asentamientos humanos	72.84	84.08	149.36	147.60	158.20
Mina de arena	17.40	17.40	21.96	25.08	24.80

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 12. Cantidad de cobertura de uso de suelo del periodo 1970-1995 en la zona de influencia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

	Zona de influencia del APFFNT (ha)					
Cobertura	**1970**	**1975**	**1980**	**1985**	**1990**	**1995**
Agrícola	20,104.19	20,093.07	20,113.31	20,141.23	19,347.20	19,281.60
Cuerpo de agua	9.64	9.64	9.64	9.64	12.88	14.64
Bosque de coníferas: pino y táscate	13,906.61	14,079.45	14,247.25	14,437.41	14,953.56	14,943.36
Bosque de coníferas: oyamel, ayarín y cedro	3,033.81	3,047.41	3,088.85	3,112.45	3,309.01	3,308.41
Pastizal	3,159.85	2,984.53	2,764.89	2,465.97	1,943.54	1,992.42
Asentamientos humanos	221.28	221.28	226.04	282.40	864.11	875.39
Mina de arena	67.24	67.24	52.64	53.52	72.32	86.80

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 13. Cantidad de cobertura de uso de suelo del periodo 2000-2021 en la zona de influencia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

	Zona de influencia del APFFNT (ha)				
Cobertura	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2021**
Agrícola	19,112.08	18,971.64	17,891.13	17,855.77	17,262.26
Cuerpo de agua	40.16	45.96	47.84	47.84	48.64
Bosque de coníferas: pino y táscate	14,821.36	14,813.77	15,256.12	15,376.00	15,231.16
Bosque de coníferas: oyamel, ayarín y cedro	3,306.93	3,315.81	3,235.85	3,220.61	3,243.17
Pastizal	1,934.82	1,934.86	1,896.34	1,813.82	1,898.14
Asentamientos humanos	1,129.39	1,213.99	1,937.94	1,979.86	2,514.21
Mina de arena	157.88	206.60	237.40	208.72	305.04

Fuente: Elaboración propia, 2024

Una vez obtenidas las coberturas del área de estudio, se procedió a la elaboración de matrices de transición con el objetivo de analizar las tendencias de cambio e intercambio entre las distintas clases de uso del suelo. Cada periodo temporal analizado presenta una dinámica particular, lo cual resulta especialmente relevante para comprender los procesos de transformación territorial (FAO y PNUMA, 2020). Estos patrones de cambio no son exclusivos de la región estudiada, sino que también han sido reportados en otros contextos, como en los trabajos de Mangaza (2022) en la República del Congo y de Coskuner (2022) en la Región Mediterránea, lo que refuerza la validez de los resultados obtenidos.

4.2.2 Tasas de cambio

Adicionalmente a lo anterior, se calculó la tasa de cambio para cada tipo de cobertura, lo que permitió identificar comportamientos contrastantes. Mientras algunas clases de uso del suelo se mantienen relativamente estables en el tiempo, otras muestran tendencias claras. Tal es el caso de los pastizales, que presentan una disminución sostenida, en contraste con el aumento progresivo de las áreas ocupadas por bosques de coníferas, una dinámica que también ha sido reportada por Hernández (2021). Estos resultados contribuyen a una mejor comprensión de los procesos de transformación ecológica y territorial que afectan al área protegida y su zona de influencia.

La Tabla 14 se muestra un aumento significativo en la superficie ocupada por bosques de coníferas, con una tasa de cambio del 0.56%, lo que equivale a un incremento de aproximadamente 4,957.71 hectáreas. Este crecimiento sugiere que las estrategias de conservación implementadas dentro del Área Natural Protegida han tenido un efecto positivo en la recuperación o mantenimiento de esta cobertura forestal. No obstante, el pastizal presenta una disminución del 1.26% respecto a su cobertura inicial, lo que indica una pérdida considerable de esta clase de cobertura del suelo.

Tabla 14. Tasa de cambio de las coberturas del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

Categorías	Total 1970 (ha)	Total 2021 (ha)	Tasa cambio del periodo
Agrícola	9,094.50	8,840.39	0.05 %
Cuerpo de agua	25.84	25.28	0.04 %
Bosque de coníferas: pino y táscate	16,946.22	20,522.46	-0.41 %
Bosque de coníferas: oyamel, ayarín y cedro	18,009.33	19,388.40	-0.15 %
Desprovisto de vegetación	589.07	587.91	0.01 %
Pastizal	7,463.64	2,762.01	1.24 %
Pastizal alpino	1,451.98	1,280.43	0.23 %
Asentamientos humanos	9.28	158.20	-31.47 %
Mina de arena	0.00	24.80	-46.67 %

Fuente: Elaboración propia, 2024

Este comportamiento ya había sido documentado por Pineda (2017) en su estudio sobre dinámicas del uso del suelo en el estado de Hidalgo, donde identifica al pastizal como una cobertura altamente vulnerable, frecuentemente transformada en otros usos, debido a su papel como zona de transición.

Por otro lado, los usos del suelo asociados a actividades urbanas y a la extracción de materiales como arena han experimentado un crecimiento alarmante, superior al 30%, alcanzando cerca de 160 hectáreas. Este incremento es especialmente preocupante dada la ubicación dentro de una zona destinada a la conservación ecológica, lo cual pone en evidencia las presiones antrópicas que persisten incluso en contextos legalmente protegidos.

En la zona de influencia también se detectaron cambios en la tabla 15 revela un crecimiento significativo en la cobertura de bosques de coníferas, con una tasa de cambio del 0.33%, equivalente a un incremento de 1,533.91 hectáreas. Este aumento puede interpretarse como una señal alentadora en términos de conservación, ya que sugiere una posible recuperación o estabilización de estos ecosistemas, posiblemente como resultado de medidas de manejo forestal o protección ambiental implementadas en el área.

Sin embargo, este avance positivo contrasta con la disminución del 0.78% en la cobertura de pastizales, lo que representa una pérdida relevante que podría estar asociada a procesos de degradación, conversión del uso del suelo o presiones externas como el avance de la frontera agrícola o el desarrollo urbano.

Asimismo, se observa un aumento considerable en los usos de suelo urbano y en actividades de extracción de arena, con una tasa de crecimiento superior al 27.25%, equivalente a aproximadamente 2,292.93 hectáreas. Esta expansión evidencia una creciente presión antrópica sobre el territorio, manifestada a través del proceso de urbanización y explotación de recursos naturales. La magnitud de este incremento resulta preocupante, especialmente al tratarse de una zona con vocación de conservación, ya que compromete la integridad ecológica de los ecosistemas y plantea desafíos importantes para la gestión sustentable del territorio.

Tabla 15. Tasa de cambio de las coberturas en la zona de influencia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

Categorías	Total 1970 (ha)	Total 2021 (ha)	Tasa cambio del periodo
Agrícola	20,104.19	17,262.26	0.28%
Cuerpo de agua	9.64	48.64	-7.93%
Bosque de coníferas: pino y táscate	13,906.61	15,231.16	-0.19%
Bosque de coníferas: oyamel, ayarín y cedro	3,033.81	3,243.17	-0.14%
Pastizal	3,159.85	1,898.14	0.78%
Asentamientos humanos	221.28	2,514.21	-20.32%
Mina de arena	67.24	305.04	-6.93%

Fuente: Elaboración propia, 2024

4.2.3 Análisis por medio de matrices de cambio

Con el propósito de analizar de forma detallada la dinámica espacial de los cambios en la cobertura del suelo, se empleó una metodología basada en la construcción de matrices de cambio para cada uno de los periodos temporales definidos en el estudio. Estas matrices permiten identificar y cuantificar las transiciones entre distintas clases de cobertura, proporcionando una visión estructurada de los procesos de transformación del paisaje a lo largo del tiempo.

Para su elaboración, se aplicaron los índices de cambio propuestos por Pontius et al. (2004), los cuales ofrecen una herramienta robusta para evaluar no solo los cambios netos, sino también la ganancia, pérdida, persistencia e intercambio entre categorías de uso del suelo. Este enfoque permite distinguir entre cambios sistemáticos y aleatorios, facilitando la identificación de patrones significativos en la dinámica territorial.

El uso de estos indicadores proporciona una base cuantitativa sólida para interpretar las trayectorias del cambio ambiental, permitiendo establecer comparaciones entre diferentes periodos y zonas de estudio, así como generar insumos valiosos para la planeación del manejo territorial y la formulación de estrategias de conservación.

En total, se generaron 55 matrices de transición, correspondientes a los siguientes periodos: 1970–1975, 1970–1980, 1970–1985, 1970–1990, 1970–1995, 1970–2000, 1970–2005, 1970–2010, 1970–2015, 1970–2021, 1975–1980, 1975–1985, 1975–1990, 1975–1995, 1975–2000, 1975–2005, 1975–2010, 1975–2015, 1975–2021, 1980–1985, 1980–1990, 1980–1995, 1980–2000, 1980–2005, 1980–2010, 1980–2015, 1980–2021, 1985–1990, 1985–1995, 1985–2000, 1985–2005, 1985–2010, 1985–2015, 1985–2021, 1990–1995, 1990–2000, 1990–2005, 1990–2010, 1990–2015, 1990–2021, 1995–2000, 1995–2005, 1995–2010, 1995–2015, 1995–2021, 2000–2005, 2000–2010, 2000–2015, 2000–2021, 2005–2010, 2005–2015, 2005–2021, 2010–2015, 2010–2021 y finalmente 2015–2021.

Una vez generadas y comparadas todas las matrices de transición mediante el método propuesto por Pontius et al. (2004), se obtuvo una gran cantidad de información valiosa, aunque compleja de interpretar debido a la diversidad de transiciones registradas en los distintos periodos. No obstante, este análisis detallado resulta esencial para identificar patrones y dinámicas significativas en fechas específicas. Con el fin de facilitar su interpretación, se desarrolló una matriz de comportamiento, la cual permite comparar de manera integrada la evolución de una clase de cobertura a lo largo de todos los años analizados.

A diferencia de otros estudios como el de Pineda et al. (2009), Duarte et al. (2016), Gordillo y Castillo (2016), Sandoval et al. (2021) y Hernández et al. (2023), ellos solo analizan únicamente dos o tres periodos temporales, en este trabajo se decidió ampliar el número de intervalos con el propósito de capturar con mayor detalle las variaciones graduales y los posibles eventos de cambio abrupto en la cobertura del suelo. Si bien el uso de pocos periodos facilita el procesamiento y la interpretación de los resultados, el enfoque adoptado en este estudio permite una visión más exhaustiva de la evolución territorial, favoreciendo la identificación de tendencias específicas o momentos críticos de transformación en el paisaje.

En la matriz de transición (ver tablas 16 y 17) se analizan los cambios en las coberturas del suelo durante el periodo comprendido entre 1970 y 2021. Uno de los hallazgos más relevantes es la predominancia del bosque de coníferas, conformado por especies como pino, táscate, oyamel, ayarín y cedro, que ocupa el 74.48% de la superficie total del área de estudio. En contraste, las coberturas relacionadas con actividades antrópicas, tales como la agricultura, la extracción de minerales y los asentamientos humanos, estos representan el 16.85% del territorio. Esta distribución se detalla con mayor precisión en la tabla 16.

A continuación se muestra un ejemplo de las matrices generadas, donde se muestra el periodo más largo que es de 1970 al 2021, es cual se representa en la tabla 16 y 17.

Tabla 16. Ejemplo de una de las matrices de pérdidas y ganancias de cobertura del periodo 1970 – 2021 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca

	Total 1970	%	Total 2021	%	Pérdidas	%	Ganancias	%
Agrícola	9,094.50	16.97	8,840.39	16.50	1,535.94	16.95	1,281.83	14.15
Cuerpo de agua	25.84	0.05	25.28	0.05	1.56	0.02	1.00	0.01
Bosque de coníferas: pino y táscate	16,946.22	31.62	20,522.46	38.30	1,179.63	13.02	4,755.87	52.50
Bosque de coníferas: oyamel, ayarín y cedro	18,009.33	33.61	19,388.40	36.18	549.71	6.07	1,928.78	21.29
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	587.91	1.10	2.52	0.03	1.36	0.02
Pastizal	7,463.64	13.93	2,762.01	5.15	5,613.26	61.96	911.63	10.06
Pastizal alpino	1,451.98	2.71	1,280.43	2.39	175.68	1.94	4.12	0.05
Asentamientos humanos	9.28	0.02	158.20	0.30	0.84	0.01	149.76	1.65
Mina de arena	0.00	0.00	24.80	0.05	0.00	0.00	24.80	0.27
Total, ha.	**53,589.88**	**100.00**	**53,589.88**	**100.00**	**9,059.14**	**100.00**	**9,059.14**	**100.00**

Fuente: Elaboración propia, 2024

Las variaciones registradas en cuanto a pérdidas y ganancias de cobertura revelan tendencias ecológicas significativas. Si bien es posible identificar estos cambios a través del análisis del cambio total y del cambio neto, se destaca que los bosques de coníferas han sufrido una transformación del 7.85% del área total, lo que indica una dinámica de cambio notable. Este comportamiento ya había sido documentado por Cruz Huerta (2015), quien subraya que estas fluctuaciones pueden atribuirse a procesos tanto naturales como inducidos por actividades humanas.

En el caso del pastizal, se observa una dinámica de cambio igualmente significativa, con una variación del 6.09%. Considerando conjuntamente todas las coberturas, las transformaciones alcanzan un 16.90% de la superficie total. Sin embargo, al analizar el cambio neto, este se reduce a un 9.57%, lo que evidencia una relación de equilibrio parcial: mientras ciertas áreas se pierden, otras se regeneran o se transforman hacia las mismas coberturas, reflejando la complejidad de la dinámica territorial.

Tabla 17. Ejemplo de una de las matrices de intercambio, cambio total y cambio neto de coberturas del periodo 1970–2021 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca

	Total 1970	%	Total 2021	%	Intercambio	%	Cambio Total	%	Cambio Neto	%
Agrícola	9,094.50	16.97	8,840.39	16.50	2,563.65	4.78	1,408.89	2.63	127.06	0.24
Cuerpo de agua	25.84	0.05	25.28	0.05	2.00	0.00	1.28	0.00	0.28	0.00
Bosque de coníferas: pino y táscate	16,946.22	31.62	20,522.46	38.30	2,359.26	4.40	2,967.75	5.54	1,788.12	3.34
Bosque de coníferas: oyamel, ayarín y cedro	18,009.33	33.61	19,388.40	36.18	1,099.43	2.05	1,239.25	2.31	689.53	1.29
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	587.91	1.10	2.72	0.01	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	7,463.64	13.93	2,762.01	5.15	1,823.26	3.40	3,262.45	6.09	2,350.82	4.39
Pastizal alpino	1,451.98	2.71	1,280.43	2.39	8.24	0.02	89.90	0.17	85.78	0.16
Asentamientos humanos	9.28	0.02	158.20	0.30	1.68	0.00	75.30	0.14	74.46	0.14
Mina de arena	0.00	0.00	24.80	0.05	0.00	0.00	12.40	0.02	12.40	0.02
Total, ha.	**53,589.88**	**100.00**	**53,589.88**	**100.00**	**3,930.12**	**14.67**	**9,059.14**	**16.90**	**5,129.03**	**9.57**

Fuente: Elaboración propia, 2024

Durante el periodo de estudio, la tendencia más destacada fue el crecimiento sostenido del bosque de coníferas, el cual experimentó un aumento del 6.67%, equivalente a aproximadamente 3,577 hectáreas. Este incremento ha sido atribuido, en parte, a la conversión de áreas de pastizal, como lo señalan Pineda et al. (2009), quienes destacan que el aumento de la cobertura forestal se debe a procesos de sustitución de coberturas, impulsados por prácticas de manejo ambiental y políticas de restauración. En efecto, diversos programas de reforestación implementados entre 1970 y 2021 han contribuido a este crecimiento, evidenciando un esfuerzo institucional por restaurar y conservar los ecosistemas forestales.

Para el caso de las áreas de influencia alrededor del área protegida se realizó un análisis similar para ver si el comportamiento es igual o tiene una tendencia diferente, aquí también se realizaron los 55 periodos, aunque para el análisis solo se usara el período de 1970-2021, ver tabla 18 y 19.

En términos generales, el bosque de coníferas representa actualmente el 45.62% de la extensión total en el área de influencia, consolidándose como la cobertura natural más dominante. No obstante, las actividades antrópicas, que incluyen la agricultura, la extracción de minerales y el crecimiento de asentamientos humanos, ocupan el 49.58% del territorio. Esta cifra refleja la fuerte presión que las actividades humanas ejercen sobre los ecosistemas naturales, particularmente en zonas donde el crecimiento urbano o productivo ha avanzado de manera sostenida. La distribución porcentual y espacial de estas coberturas se presenta de manera visual en la Tabla 19, facilitando una comprensión más intuitiva de los cambios observados.

Tabla 18. Ejemplo de una de las matrices de pérdidas y ganancias de cobertura del periodo 1970–2021 en la zona de influencia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca

	Total 1970	%	Total 2021	%	Pérdidas	%	Ganancias	%
Agrícola	20,104.19	49.64	17,262.26	42.62	4,114.52	56.48	1,272.59	17.47
Cuerpo de agua	9.64	0.02	48.64	0.12	2.36	0.03	41.36	0.57
Bosque de coníferas: pino y táscate	13,906.61	34.34	15,231.16	37.61	922.95	12.67	2,247.50	30.85
Bosque de coníferas: oyamel, ayarín y cedro	3,033.81	7.49	3,243.17	8.01	88.04	1.21	297.40	4.08
Pastizal	3,159.85	7.80	1,898.14	4.69	2,093.78	28.74	832.07	11.42
Asentamientos humanos	221.28	0.55	2,514.21	6.21	5.40	0.07	2,298.34	31.55
Mina de arena	67.24	0.17	305.04	0.75	57.52	0.79	295.32	4.05
Total, ha.	**40,502.62**	**100.00**	**40,502.62**	**100.00**	**7,284.56**	**100.00**	**7,284.56**	**100.00**

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 19. Ejemplo de una de las matrices de intercambio, cambio total y cambio neto de coberturas del periodo 1970–2021 en la zona de influencia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca

	Total 1970	%	Total 2021	%	Intercambio	%	Cambio Total	%	Cambio Neto	%
Agrícola	20,104.19	49.64	17,262.26	42.62	2,545.17	6.28	5,387.10	13.30	2,841.93	7.02
Cuerpo de agua	9.64	0.02	48.64	0.12	4.72	0.01	43.72	0.11	39.00	0.10
Bosque de coníferas: pino y táscate	13,906.61	34.34	15,231.16	37.61	1,845.90	4.56	3,170.45	7.83	1,324.55	3.37
Bosque de coníferas: oyamel, ayarín y cedro	3,033.81	7.49	3,243.17	8.01	176.08	0.43	385.44	0.95	209.36	0.52
Pastizal	3,159.85	7.80	1,898.14	4.69	1,664.14	4.11	2,925.85	7.22	1,261.71	3.12
Asentamientos humanos	221.28	0.55	2,514.21	6.21	10.80	0.03	2,303.74	5.69	2,290.94	5.66
Mina de arena	67.24	0.17	305.04	0.75	115.04	0.28	352.84	0.87	237.80	0.59
Total, ha.	**40,502.62**	**100.00**	**40,502.62**	**100.00**	**3,180.93**	**7.85**	**7,284.56**	**17.99**	**4,103.64**	**10.13**

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Las variaciones en las coberturas de suelo, expresadas en términos de pérdidas y ganancias, reflejan tendencias particularmente notables. Aunque los valores de cambio total y cambio neto proporcionan una visión general de la magnitud de estas transformaciones, destaca especialmente la expansión de los bosques de coníferas, que han aumentado en un 8.78% respecto al área total. Este crecimiento constituye una señal positiva, ya que puede estar relacionado con iniciativas de conservación y restauración ambiental implementadas en el área, como programas de reforestación o recuperación de zonas degradadas, que han contribuido a la regeneración forestal.

Por otro lado, los pastizales muestran una dinámica de cambio relevante, con una variación del 7.22% en su cobertura. En conjunto, las modificaciones asociadas al bosque de coníferas y al pastizal representan aproximadamente un 16% de variación en la superficie total. Sin embargo, el cambio neto calculado para estas coberturas se reduce a un 6.9%, lo que indica que, si bien se han perdido ciertas áreas, otras han sido recuperadas o transformadas positivamente, lo cual evidencia la complejidad del proceso de cambio en el paisaje. Esta dinámica también sugiere la existencia de intercambios entre coberturas, como la conversión de pastizales a zonas forestadas, y viceversa, influenciados por factores tanto ecológicos como socioeconómicos.

Un aspecto particularmente relevante en la evolución del uso del suelo durante este periodo analizado es la reducción de la superficie destinada a la agricultura, la cual ha disminuido en un 3.51%, equivalente a aproximadamente 2,841.93 hectáreas. Esta disminución podría estar relacionada con varios factores, entre ellos el abandono de tierras agrícolas, el cambio en el uso del suelo hacia asentamientos humanos, o bien su transformación en áreas forestadas como parte de estrategias de conservación ambiental. Además, este descenso puede interpretarse como un indicio de la creciente presión urbanizadora y de los cambios en la dinámica productiva de la región.

4.2.4 Análisis gráfico de los cambios

La evolución de los cambios en la cobertura del suelo resulta aún más clara al emplear herramientas gráficas de análisis, estas permiten visualizar la evolución temporal del paisaje. Estas representaciones ayudan a identificar patrones de crecimiento o pérdida, así como a inferir las causas que subyacen a estos procesos, ya sean de origen natural o antrópico. Como en el caso de la agricultura, aunque se identifican variaciones en el uso del suelo, las pérdidas y ganancias se equilibran en términos generales, lo que deriva en un cambio total reducido, como lo indica Camacho (2015).

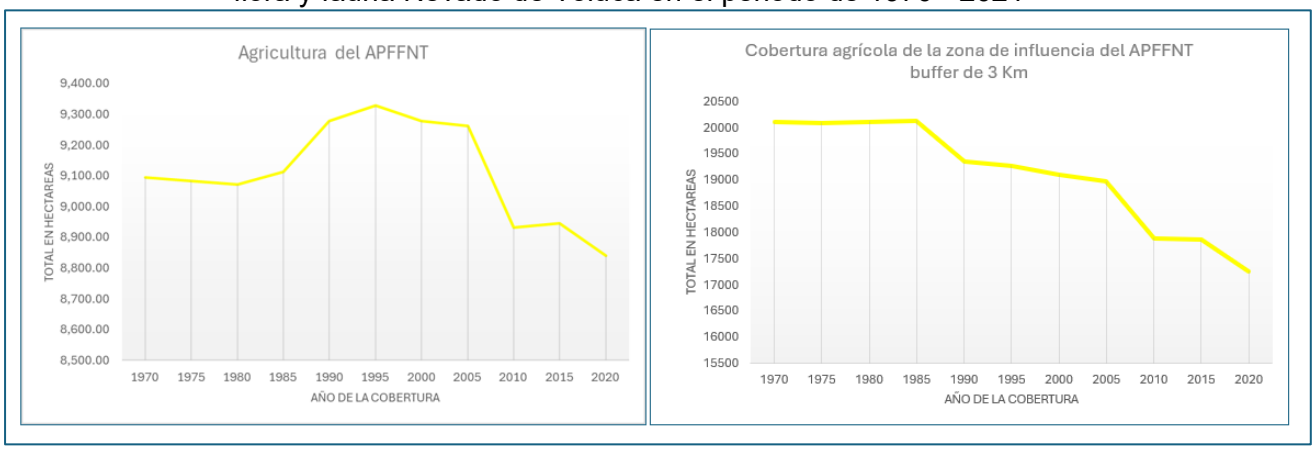
Al comparar los datos correspondientes a los distintos periodos analizados, se evidencia que el comportamiento de las coberturas del suelo no es homogéneo a lo largo del tiempo, a pesar de tratarse de una misma región geográfica. Las tendencias de cambio varían significativamente entre un periodo y otro, tanto al interior como en el exterior del Área Natural Protegida, lo que sugiere que las dinámicas territoriales responden a factores específicos que influyen de manera diferenciada según el contexto temporal y espacial.

Estas variaciones reflejan la complejidad del proceso de transformación del paisaje, en el que influyen tanto factores naturales como antrópicos, tales como políticas de manejo ambiental, cambios en el uso del suelo, actividades productivas, expansión urbana o condiciones climáticas. La diferencia en las trayectorias de cambio entre zonas protegidas y no protegidas también permite evaluar la efectividad de las estrategias de conservación implementadas durante el periodo de estudio.

En las figuras 19 a la 27 presentadas a continuación, se representa de manera visual la evolución de las principales coberturas, lo que permite una mejor comprensión de su dinámica a lo largo del tiempo. Estas visualizaciones hacen posible identificar patrones de crecimiento, pérdida o estabilidad de las coberturas tanto dentro como fuera del área de protección, y constituyen una herramienta clave para el análisis espacial y la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial y conservación ambiental.

En la Figura 19 se muestra la evolución de la cobertura agrícola tanto al interior como en la zona de influencia del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) en el periodo comprendido entre 1970 y 2021. En el período de 1970 y 1985, se observa una tendencia estable en la superficie dedicada a actividades agrícolas dentro del área protegida, lo que sugiere un periodo de relativa constancia en el uso del suelo. Sin embargo, a partir de 1985 y hasta 1995, se registra un incremento aproximado de 200 hectáreas en las áreas agrícolas dentro del APFFNT, tendencia que se mantiene hasta el año 2005.

Figura 19. Gráficas de comportamiento de la agricultura dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 - 2021



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Este crecimiento puede estar asociado a diversos factores, entre ellos, el impulso de iniciativas de conservación que incluyeron programas de uso sostenible del suelo, así como al aumento de actividades de reforestación y restauración ecológica en zonas previamente degradadas, las cuales podrían haber convivido temporalmente con usos agroforestales. En contraste, en la zona de influencia externa al APFFNT se detecta una disminución progresiva en las superficies agrícolas, con una pérdida estimada de alrededor de 1,000 hectáreas en el mismo periodo, lo que sugiere el inicio de un proceso de transformación en los patrones de ocupación del territorio. Este cambio puede deberse a factores como la intensificación de la urbanización, la expansión de la infraestructura vial y habitacional, y posibles modificaciones en las políticas públicas agrícolas, que incentivaron otros usos del suelo.

A partir de 2005 y hasta 2021, se observa un cambio sustancial en la tendencia dentro del APFFNT, con una reducción significativa en las áreas dedicadas a la agricultura. Esta disminución puede explicarse por la implementación de políticas más estrictas de conservación ambiental, la promoción de prácticas agroecológicas sostenibles y la expansión de programas de reforestación en tierras previamente cultivadas. Adicionalmente, la reducción en la presión antrópica dentro del área ha contribuido a consolidar esta tendencia descendente.

En cuanto a la zona periférica del APFFNT, se mantiene y acentúa la disminución de las superficies agrícolas, en algunos casos incluso superando la reducción observada en periodos anteriores. Este fenómeno puede vincularse a políticas públicas orientadas a la conservación y recuperación de ecosistemas, así como a la transformación del uso del suelo impulsada por el crecimiento urbano y la demanda de espacio para infraestructura y vivienda.

Por otra parte, la expansión de asentamientos humanos, junto con el desarrollo de infraestructura vial y otras obras de carácter urbano, ha tenido un impacto directo en la reducción de áreas

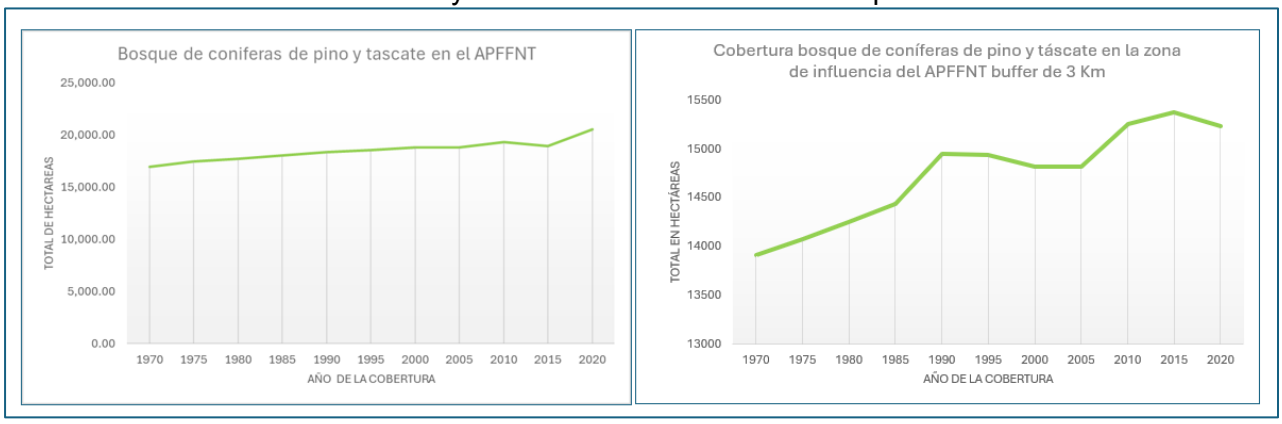
agrícolas, tanto por la pérdida física de superficie cultivable como por la fragmentación del paisaje agrícola. El aumento poblacional, así como la presión del mercado inmobiliario, han intensificado la competencia por el uso del suelo, promoviendo la conversión de tierras agrícolas en áreas urbanizadas o en proceso de urbanización.

En conjunto, este análisis temporal evidencia la compleja interacción entre las actividades humanas, las políticas de conservación y los procesos ecológicos, reflejada en los cambios de cobertura del suelo en la región. La reducción sostenida de la agricultura tanto dentro como fuera del APFFNT responde a una combinación de esfuerzos de conservación y presiones socioeconómicas, lo que está configurando una nueva dinámica territorial con implicaciones relevantes para la gestión ambiental y el ordenamiento del territorio.

En lo que respecta a la cobertura de bosques de coníferas, particularmente aquellos conformados por pino y táscate, se ha observado un crecimiento sostenido dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) a lo largo del periodo comprendido entre 1970 y 2021. Este incremento equivale a aproximadamente 1,000 hectáreas, lo cual refleja una tendencia positiva en la recuperación y expansión de estos ecosistemas forestales. Tal comportamiento puede atribuirse, en gran medida, a la inclusión de estas zonas dentro del polígono de protección oficial del APFFNT, lo que ha permitido aplicar medidas de manejo específicas orientadas a la conservación, protección y restauración ecológica de su cobertura vegetal, como se aprecia en la Figura 20.

La designación de esta región como Área Natural Protegida ha sido un factor clave para frenar procesos de degradación y promover la recuperación de la vegetación. Entre las acciones implementadas destacan la restricción de actividades extractivas y agrícolas no reguladas, así como la promoción activa de programas de reforestación y restauración de suelos, llevados a cabo tanto por instituciones gubernamentales como por comunidades locales, en colaboración con organizaciones ambientales. Estas estrategias han facilitado la regeneración de bosques de coníferas, al proporcionar condiciones favorables para su crecimiento natural o inducido.

Figura 20. Gráficas de comportamiento del Bosque de coníferas de pino y táscate dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 - 2021



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Por otro lado, fuera del polígono del APFFNT, también se documenta una expansión progresiva en la cobertura de bosques de coníferas, aunque en menor proporción. Esta expansión, observada de forma clara en las áreas colindantes, puede considerarse un indicador de la efectividad de ciertas políticas regionales de conservación, así como del impacto positivo de

programas voluntarios o incentivados de reforestación comunitaria y manejo forestal sustentable. La presencia de proyectos productivos sustentables, así como el acceso a recursos destinados a la restauración ambiental, han favorecido la recuperación de áreas anteriormente perturbadas o degradadas.

Estos resultados evidencian no solo el éxito relativo de los esfuerzos institucionales de conservación, sino también la importancia de las políticas públicas y la participación social en el manejo y recuperación del capital natural. La expansión de estos bosques representa beneficios tangibles tanto en términos ecológicos como socioeconómicos, mediante el fortalecimiento de actividades forestales sustentables.

El comportamiento fuera del APFFNT se ilustra de forma detallada como la cobertura de los bosques de coníferas han logrado expandirse de manera constante. Esta expansión no solo es un indicio de los esfuerzos de conservación y restauración ambiental, sino también de los beneficios tangibles que los programas de conservación.

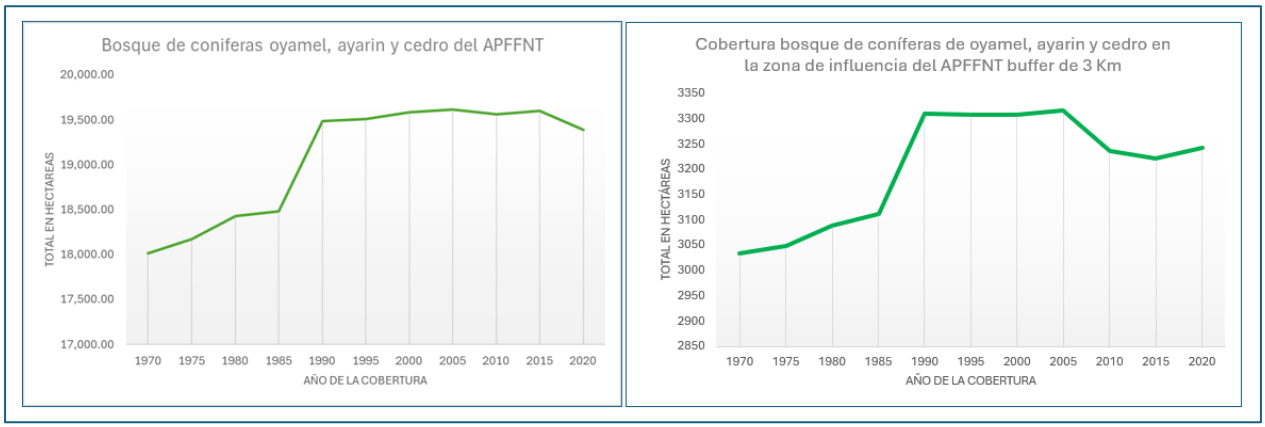
La cobertura de bosques de coníferas de oyamel (*Abies religiosa*), ayarín y cedro ha experimentado una dinámica de crecimiento notable tanto dentro como fuera del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) a lo largo de las últimas décadas. Este comportamiento evidencia la importancia ecológica y estratégica de estos ecosistemas en la región. El periodo comprendido entre 1970 y 1990 marcó un auge en la expansión de la superficie forestal, con un incremento estimado de aproximadamente 1,500 hectáreas. Este crecimiento fue particularmente pronunciado entre 1985 y 1990, con un aumento cercano a 1,000 hectáreas, lo que sugiere la influencia directa de políticas públicas orientadas a la reforestación, restauración y conservación de especies nativas y sus hábitats.

Este periodo de crecimiento podría atribuirse a múltiples factores convergentes, entre ellos la implementación de programas gubernamentales de conservación, incentivos a prácticas de manejo forestal sostenible y una mayor concienciación ambiental en torno al valor de estos ecosistemas. También es posible que condiciones climáticas favorables durante esos años hayan facilitado la regeneración natural de los bosques, aunque este aspecto requiere un análisis más detallado para confirmar su influencia específica.

Entre 1990 y 2015, la cobertura de estos bosques dentro del APFFNT se mantuvo relativamente estable, lo que sugiere un equilibrio ecológico sostenido. Este periodo fue clave para consolidar los logros de conservación anteriores, ya que permitió la preservación de la biodiversidad, la protección de especies endémicas y la continuidad de servicios ecosistémicos fundamentales, como la regulación del ciclo hidrológico, la retención de carbono y el control de la erosión. Esta estabilidad también refleja una etapa de relativa eficacia en la gestión del territorio y aplicación de normas de uso del suelo dentro del área protegida.

No obstante, a partir de 2015 se ha comenzado a evidenciar un decremento en la cobertura de estos bosques, fenómeno que se ilustra en la Figura 21. Esta reducción puede estar relacionada con una serie de presiones ambientales y antrópicas. Entre los factores más relevantes se encuentran el incremento de actividades agrícolas y de expansión urbana, que han provocado la fragmentación del hábitat y la conversión del suelo forestal a usos no compatibles con la conservación. A ello se suman cambios climáticos recientes, como sequías prolongadas, incendios forestales y la aparición de plagas o enfermedades, que afectan de forma directa la salud y regeneración de las especies arbóreas en estas zonas.

Figura 21. Gráficas de comportamiento del Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 - 2021.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

En las áreas fuera del polígono del APFFNT, también se registró un crecimiento forestal entre 1985 y 1990, con una expansión aproximada de 200 hectáreas. Este incremento puede estar asociado, igualmente, a políticas de reforestación comunitaria, incentivos al manejo forestal sustentable y un contexto favorable para la restauración de ecosistemas en zonas previamente degradadas. Este tipo de recuperación forestal en el entorno del APFFNT representa un avance significativo, ya que contribuye a crear corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento que fortalecen la resiliencia del sistema natural en su conjunto.

Entre 1990 y 2005, la cobertura forestal en estas áreas externas se mantuvo relativamente constante, sin variaciones significativas, lo cual sugiere un equilibrio alcanzado gracias a la combinación de acciones de manejo y estabilidad ambiental. Sin embargo, al igual que en el interior del APFFNT, a partir de 2015 se ha observado una tendencia descendente, con la pérdida progresiva de superficie boscosa.

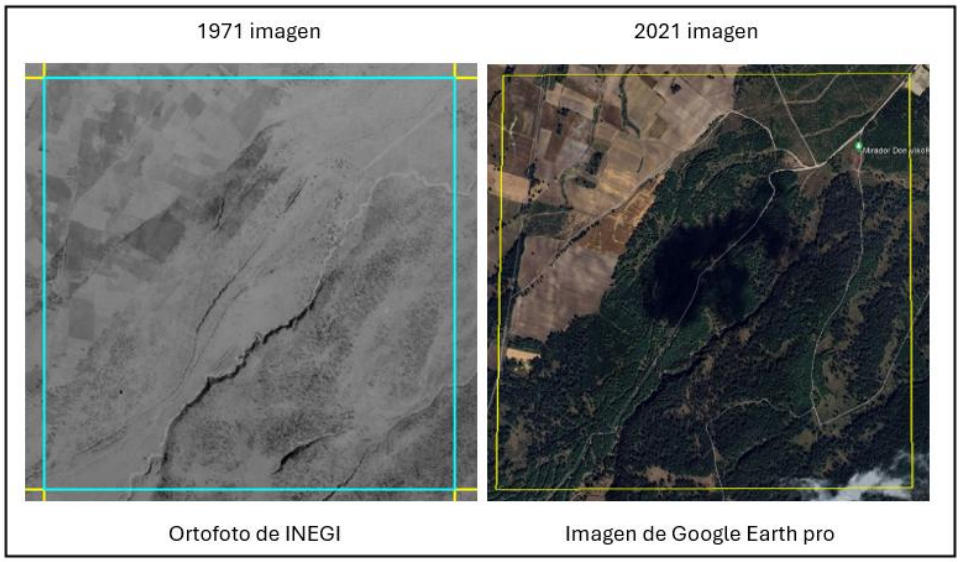
Esta tendencia negativa puede explicarse por el avance de la frontera agrícola, la construcción de infraestructura vial y habitacional, así como por fenómenos asociados al cambio climático, como la disminución en la disponibilidad de agua, temperaturas extremas y condiciones adversas que favorecen la degradación de los ecosistemas forestales. Además, las dinámicas demográficas han contribuido a aumentar la presión sobre los recursos naturales, intensificando la transformación del uso del suelo.

En conjunto, estos cambios reflejan una transición ecológica compleja, donde los logros en conservación alcanzados durante las décadas anteriores comienzan a verse amenazados por nuevas presiones socioambientales. Esta situación pone en evidencia la necesidad de reforzar los mecanismos de monitoreo ambiental, actualizar las políticas de manejo forestal y fortalecer la participación comunitaria para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los bosques de oyamel, ayarín y cedro en esta región clave del país.

Al analizar la dinámica principal del crecimiento de bosques de coníferas, la cual tuvo un crecimiento considerable con 6.67 %, que aproximadamente corresponden a 3577 ha, en el cual varios de sus crecimientos se deben a las pérdidas de pastizal, tal y como lo menciona Pineda et al., (2009), donde menciona la ganancia de bosque es por la pérdida de pastizal en su trabajo de análisis de cambio de uso de suelo del Estado de México. Este crecimiento se debe a diversos

programas de reforestación que han existido a través del periodo estudiado, la cual se puede observar en la Figura 22.

Figura 22. Comparativo de imágenes del crecimiento de coníferas por reforestación en el Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.



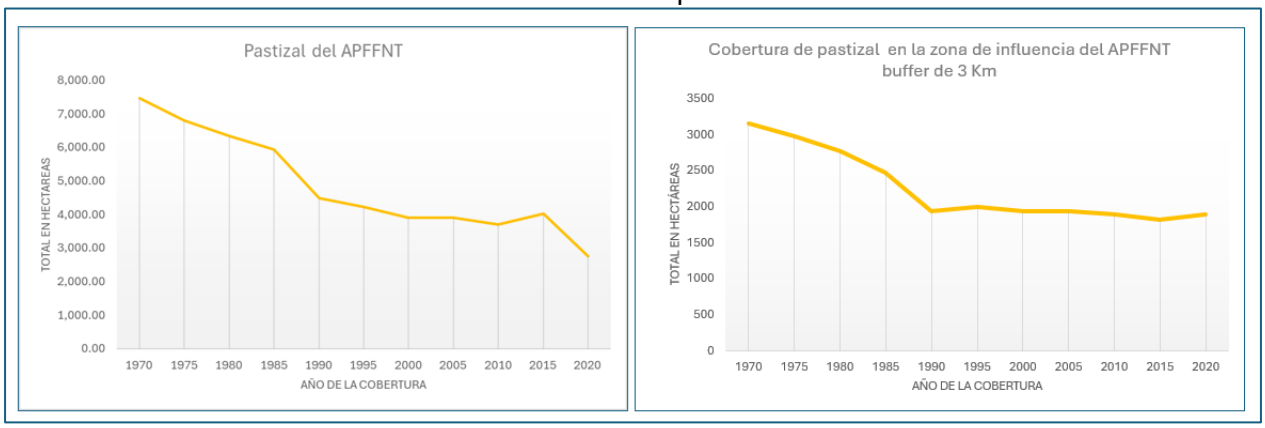
Fuente: Elaboración propia, 2024.

En lo que respecta al pastizal dentro del APFFNT, esta cobertura ha mostrado una tendencia a la disminución, un fenómeno que se puede atribuir en gran medida al crecimiento de la cobertura forestal de bosques de coníferas. Este aumento en la extensión de los bosques se ha visto favorecido tanto por programas de reforestación como por el crecimiento natural que ocurre en los gaps o huecos que se presentan dentro del mismo bosque, esto se puede observar mejor en la Figura 23.

En cuanto al pastizal fuera del área de protección, también ha experimentado una tendencia a la disminución, un fenómeno que puede atribuirse principalmente al crecimiento de los bosques de coníferas y a la expansión urbana. Entre 1970 y 1990, el área destinada a pastizales se redujo en aproximadamente 1,000 hectáreas, lo que favoreció la expansión de otras coberturas, especialmente los bosques de coníferas y los asentamientos humanos, que ganaron terreno a expensas de los pastizales.

A partir de 1990, la cobertura de pastizales se ha mantenido relativamente estable, sin presentar cambios drásticos en su extensión. Esta tendencia a la estabilización en las últimas dos décadas sugiere que los factores que impulsaron su disminución en el pasado continúan presentes, el uso del suelo ha llegado a un punto de equilibrio en el que la cobertura de pastizales ya no está en declive continuo. Este comportamiento puede observarse con mayor claridad en la Figura 23, que ilustra las variaciones de esta cobertura a lo largo del tiempo.

Figura 23. Gráficas de comportamiento del pastizal dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 - 2021



Fuente: Elaboración propia, 2024.

En relación con la cobertura de asentamientos humanos, tanto dentro como fuera del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT), se ha identificado una evolución significativa en las últimas décadas. Entre 1970 y 1985, los registros indican que no se produjeron aumentos importantes en la extensión de estas zonas urbanizadas, lo que sugiere una etapa de relativa estabilidad demográfica y una presión territorial limitada sobre el entorno natural. No obstante, a partir de 1985, y con mayor énfasis hasta 2010, se registró un crecimiento sostenido y notorio de los asentamientos dentro del área protegida, como se muestra claramente en la Figura 24.

Desde el año 2010 hasta la actualidad, el crecimiento de los asentamientos humanos dentro del área protegida ha continuado, aunque a un ritmo más moderado. A pesar de esta aparente desaceleración, el patrón de expansión urbana muestra una tendencia constante e irreversible, lo cual plantea una serie de preocupaciones críticas sobre el impacto ambiental acumulativo que este fenómeno puede tener. Entre los efectos negativos más relevantes se encuentran la fragmentación del paisaje, la pérdida de conectividad ecológica, la disminución de biodiversidad y la alteración de los ciclos hidrológicos, todos los cuales afectan directamente la funcionalidad del ecosistema.

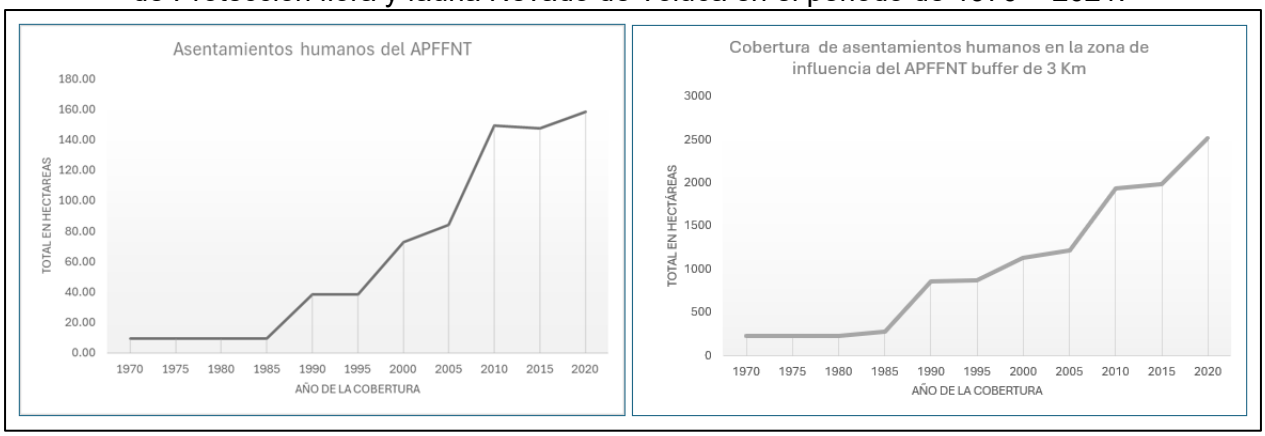
Fuera del polígono del APFFNT, el fenómeno de expansión urbana también fue evidente a partir de 1985, momento en el cual se produjo un aumento significativo en la superficie ocupada por asentamientos, los cuales se representan en la Figura 24. Este proceso puede explicarse por factores similares: el rápido crecimiento poblacional, la demanda creciente de infraestructura básica y vivienda, así como la ausencia de una planeación territorial efectiva, lo que permitió la ocupación de suelos en zonas ecológicamente sensibles. La transición del uso del suelo rural hacia áreas urbanas ha sido acelerada por el establecimiento de redes de transporte, el desarrollo de polos económicos, y en muchos casos, por la falta de regulación en la expansión de fraccionamientos y colonias periurbanas.

De 1985 hasta la fecha, esta dinámica ha continuado a un ritmo sostenido, con una estimación aproximada de 2,000 hectáreas adicionales de cobertura urbana fuera del área protegida. Esta expansión representa una transformación radical del paisaje, al modificar drásticamente las funciones ecológicas de áreas antes destinadas a la conservación o producción agrícola.

Este patrón de urbanización acelerada y, en muchos casos, no planificada, genera serios desafíos para la sostenibilidad ambiental y social de la región. La conversión de tierras naturales en zonas urbanas, sin una adecuada regulación y sin considerar criterios ecológicos, puede generar una pérdida irreversible de servicios ecosistémicos y contribuir al deterioro del entorno natural que sustenta a las comunidades locales.

Ante este escenario, se hace urgente la implementación de estrategias de ordenamiento territorial y planeación urbana sostenibles, que integren enfoques de conservación ambiental, uso racional del suelo y participación comunitaria. Por lo que es fundamental establecer zonas de amortiguamiento y límites expansión urbana bien definidos, además de fortalecer las políticas públicas que promuevan un desarrollo urbano controlado y compatible con la conservación, garantizando así la coexistencia entre crecimiento humano y preservación ecológica.

Figura 24. Gráficas de comportamiento de los asentamientos humanos dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 – 2021.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Una de las coberturas con mayor impacto ambiental en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) es la correspondiente a la actividad minera, particularmente la extracción de arena, un fenómeno que comenzó a manifestarse de manera evidente alrededor del año 2000. En ese periodo, se identificó una zona de explotación que abarcaba aproximadamente 24 hectáreas dentro del bosque, un área que no existía al momento de la declaratoria oficial del sitio como Área Natural Protegida. La aparición de esta mina puede estar estrechamente relacionada con las condiciones socioeconómicas adversas de las comunidades circundantes, donde la falta de oportunidades laborales ha llevado a la población a recurrir a la extracción de recursos naturales como medio de subsistencia.

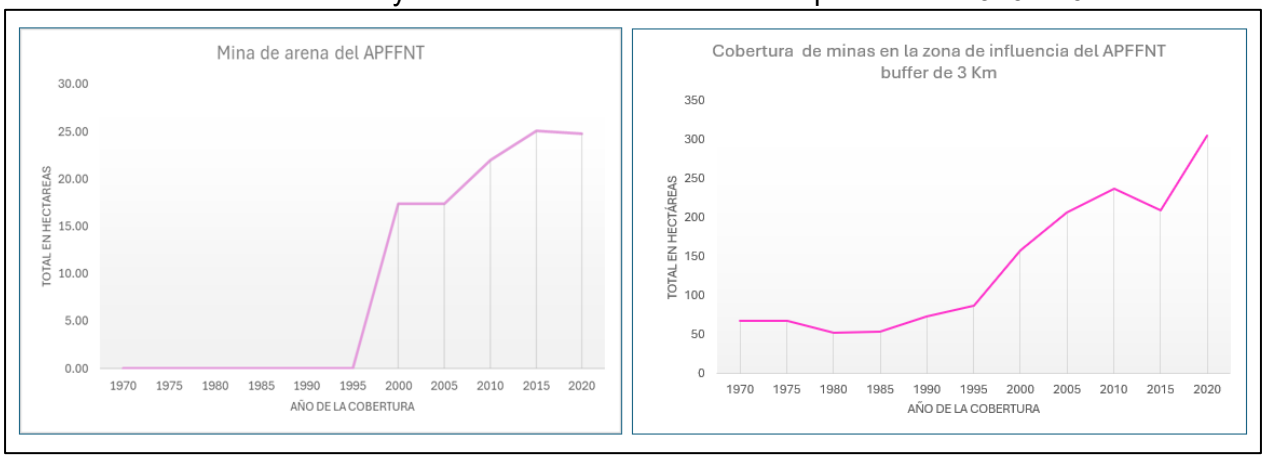
Aunque en años recientes se ha observado una leve disminución en la extensión de la zona minera activa, los efectos ecológicos de esta actividad persisten y continúan generando preocupación. La minería de arena modifica drásticamente la estructura del suelo, degrada la vegetación circundante y altera procesos ecológicos esenciales, como la retención hídrica, la filtración del agua, y la integridad del hábitat, afectando directamente la biodiversidad local.

La Figura 25 evidencia claramente el daño causado por esta actividad, destacando la incompatibilidad entre las prácticas extractivas no reguladas y los objetivos de conservación ambiental. La presencia de minería dentro de una ANP representa un reto crítico para la gestión ambiental, pues pone en tensión la necesidad de proteger el patrimonio natural con las exigencias económicas de las poblaciones locales. Por ello, resulta indispensable establecer e implementar

políticas públicas sólidas que regulen adecuadamente este tipo de actividades, promoviendo un modelo de desarrollo que sea a la vez económicamente viable y ambientalmente responsable.

En cuanto al ámbito externo al APFFNT, se observó que en 1970 las minas de arena ocupaban alrededor de 50 hectáreas. Sin embargo, durante las décadas siguientes esta cobertura se expandió aceleradamente hasta alcanzar unas 300 hectáreas, como también se muestra en la Figura 25. Este crecimiento representa una expansión significativa de la frontera extractiva, y aunque esta actividad puede aportar ingresos importantes a nivel local o regional, sus consecuencias ecológicas son de gran alcance si no se controla adecuadamente.

Figura 25. Gráficas de comportamiento de cobertura de mina de arena dentro y fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 - 2021



Fuente: Elaboración propia, 2024.

La extracción masiva de materiales no solo implica la pérdida de cobertura vegetal, sino también la modificación del relieve natural, el colapso de taludes, y la perturbación de cuerpos y flujos de agua, lo que incide directamente en la degradación de los ecosistemas y en la pérdida de servicios ambientales clave, como la fertilidad del suelo, la recarga de acuíferos y el control de la erosión. Asimismo, esta actividad puede dejar terrenos degradados e improductivos, con efectos adversos para la agricultura local y para el bienestar de las comunidades.

Adicionalmente, la minería puede generar impactos colaterales tales como la disminución de la capacidad del suelo para regenerar vegetación natural, la fragmentación de hábitats, y un aumento en la vulnerabilidad de las especies ante cambios en su entorno. En muchos casos, estas alteraciones son irreversibles o requieren décadas de restauración ecológica, lo que refuerza la necesidad de un manejo más riguroso y planificado.

Por tanto, se vuelve imprescindible que las actividades mineras, y en particular la extracción de arena, estén sujetas a un marco normativo estricto que garantice la compatibilidad con los objetivos de sostenibilidad ambiental. Esto incluye la evaluación de impacto ambiental previa a cualquier intervención, el monitoreo constante de los sitios en operación, y la aplicación de programas de restauración una vez concluida la actividad extractiva. Igualmente, se deben promover tecnologías limpias y prácticas menos invasivas, que minimicen el daño al entorno y faciliten la recuperación del ecosistema afectado.

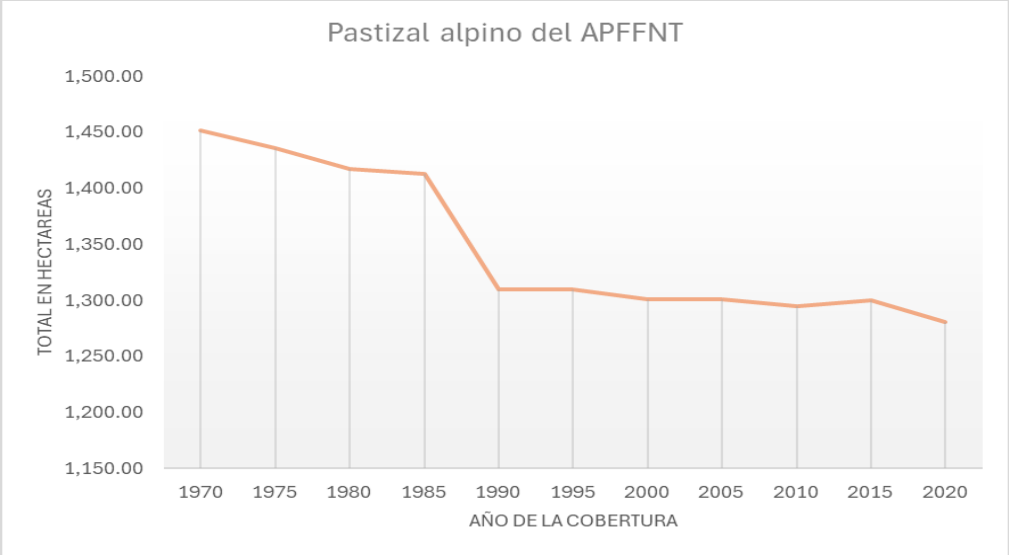
Sin una intervención oportuna y eficaz, la minería de arena podría continuar contribuyendo significativamente a la degradación ambiental, amenazando no solo la integridad ecológica del APFFNT, sino también el bienestar a largo plazo de las comunidades humanas que dependen de

estos recursos. Por ello, es prioritario avanzar hacia un modelo de gestión integral de recursos naturales que contemple los aspectos ecológicos, sociales y económicos de forma equitativa y sustentable.

El pastizal alpino representa una de las coberturas de suelo que ha mostrado un impacto relativamente moderado en comparación con otras formaciones vegetales dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT). Esta situación se debe principalmente a la altitud elevada en la que se desarrolla este ecosistema, lo cual impone condiciones climáticas rigurosas que limitan tanto la expansión de actividades humanas como la presión antrópica directa. Gracias a estas restricciones naturales, el pastizal ha logrado conservar buena parte de su integridad ecológica, como se puede apreciar en la Figura 26.

No obstante, los cambios en esta cobertura no han estado ausentes. Las zonas de transición entre el pastizal alpino y los bosques de coníferas han sido especialmente dinámicas, debido al avance natural del bosque en estas áreas limítrofes. Esta expansión forestal, aunque natural, genera interacciones ecológicas significativas, como la competencia por luz, agua y nutrientes, que modifican gradualmente la estructura y composición del pastizal. Adicionalmente, el cambio climático global ha comenzado a ejercer un impacto creciente sobre los ecosistemas de alta montaña, incluido el pastizal alpino. El aumento gradual de las temperaturas, junto con la variabilidad en los patrones de precipitación y la posible disminución de las heladas, están alterando las condiciones microclimáticas que anteriormente limitaban el desarrollo de otras especies en estas zonas. Como resultado, se ha detectado un cambio en la composición florística y en la estructura del pastizal, con la posible migración altitudinal de especies que tradicionalmente se encontraban en niveles más bajos.

Figura 26. Gráfica de comportamiento del pastizal alpino en el Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 - 2021



Fuente: Elaboración propia, 2024.

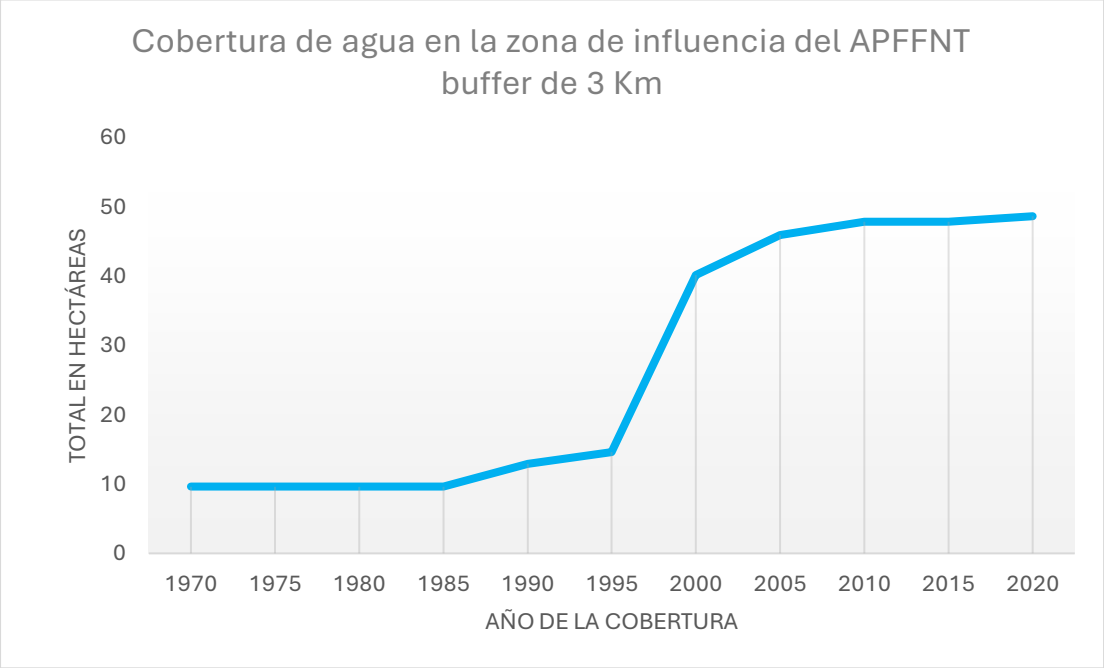
Estos procesos de transformación plantean nuevos desafíos para la conservación del pastizal alpino, un ecosistema que no solo alberga especies endémicas y adaptadas a condiciones extremas, sino que también cumple funciones clave como la regulación hídrica, la protección contra la erosión y el almacenamiento de carbono en suelos de alta montaña.

En lo que respecta a la cobertura de cuerpos de agua, los cambios registrados se concentran exclusivamente fuera del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT). En este contexto, se observa un crecimiento significativo entre los años 1995 y 2005, periodo durante el cual la superficie ocupada por cuerpos de agua se incrementó en aproximadamente 40 hectáreas, como se muestra claramente en la Figura 27. Aunque este aumento puede parecer modesto en términos absolutos, resulta notable al considerar las condiciones naturales y socioambientales de la región. El cambio sugiere un posible ajuste en las dinámicas del uso del suelo y una mayor valorización de los recursos hídricos, lo cual representa un avance en la cultura ambiental y en las políticas orientadas a la sostenibilidad hídrica.

Este incremento en la superficie de cuerpos de agua podría estar vinculado a diversos factores, entre ellos la construcción de pequeños embalses o bordos para el almacenamiento de agua pluvial, la rehabilitación de cuerpos de agua naturales, o la adopción de prácticas de manejo integrado de cuencas hidrográficas. Dichas acciones, aunque de bajo perfil en términos de visibilidad, pueden tener efectos acumulativos positivos en la disponibilidad y calidad del agua, beneficiando tanto a los ecosistemas como a las comunidades locales.

Este comportamiento positivo puede ser interpretado también como un primer indicio de una transición hacia una gestión más proactiva y sostenible de los recursos hídricos. En una región donde el crecimiento poblacional y las actividades económicas ejercen presiones constantes sobre los ecosistemas, este tipo de cambios en el paisaje hidrológico puede marcar una tendencia alentadora hacia un modelo de desarrollo más equilibrado. La expansión de cuerpos de agua contribuye no solo al suministro hídrico, sino también a la regulación microclimática y la recarga de acuíferos.

Figura 27. Gráfica de comportamiento de los cuerpos de agua fuera del Área de Protección flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo de 1970 – 2021



Fuente: Elaboración propia, 2024.

4.2.4 Análisis por medio de la matriz de comportamiento

Con el propósito de analizar con mayor precisión las tendencias detectadas en cada una de las coberturas a lo largo del tiempo, se optó por elaborar una tabla comparativa denominada “matriz de comportamiento”. Esta herramienta permitió integrar los resultados obtenidos en los 55 periodos de estudio en un único formato condensado: una sola tabla general por cobertura y esta se replicó para cada cobertura estudiada.

La matriz fue construida a partir de los datos obtenidos para cada fecha y tipo de cobertura, mediante el cálculo de la diferencia entre la cobertura final y la cobertura inicial en cada uno de los periodos analizados. Esta diferencia representa la variación de la cobertura durante el periodo, y su sistematización en una sola matriz facilita el análisis simultáneo y comparativo de cada cobertura en los periodos trabajados con anterioridad.

El principal objetivo de este procedimiento fue identificar patrones de comportamiento recurrentes o significativos, permitiendo determinar si cada cobertura evidenció una tendencia positiva (ganancia) o negativa (pérdida) a lo largo del tiempo. Así como detectar los valores más altos y bajos dentro de los periodos analizados. Aunque este análisis se llevó a cabo de manera individual para cada tipo de cobertura, en el presente apartado se exponen únicamente los resultados más representativos y relevantes para el estudio.

El primer análisis se centró en la cobertura destinada al uso agrícola. A lo largo del periodo comprendido entre 1970-2020, se observó una tendencia de pérdida en esta cobertura, como se muestra en la Figura 28. Esta Figura permite visualizar con claridad que el periodo con mayor disminución en superficie agrícola corresponde al intervalo entre 1995-2020, durante el cual se registró una pérdida acumulada de 489.23 hectáreas.

Figura 28. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de agricultura entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Agricultura										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Agricultura	2015	-104.96										
	2010	-91.48	13.48									
	2005	-422.20	-317.24	-330.72								
	2000	-437.40	-332.44	-345.92	-15.20							
	1995	-489.23	-384.28	-397.76	-67.04	-51.84						
	1990	-438.72	-333.76	-347.24	-16.52	-1.32	50.52					
	1985	-271.64	-166.68	-180.16	150.56	165.76	217.60	167.08				
	1980	-231.84	-126.88	-140.36	190.36	205.56	257.40	206.88	39.80			
	1975	-241.76	-136.80	-150.28	180.44	195.64	247.48	196.96	29.88	-9.92		
	1970	-254.12	-149.16	-162.64	168.08	183.28	235.12	184.60	17.52	-22.28	-12.36	
	Total (ha)	-2,983.33	-1,933.74	-2,055.06	590.67	697.07	1,008.11	755.51	87.20	-32.20	-12.36	Σ -3,878.12
	Cambio promedio por período (ha)	-298.33	-214.86	-256.88	84.38	116.18	201.62	188.88	29.07	-16.10	-12.36	
	Mediana por período (ha)	-262.88	-166.68	-255.44	150.56	174.52	235.12	190.78	29.88	-16.10	-12.36	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					-3,878.12
	Valor Max (ha)	-91.48	13.48	-140.36	190.36	205.56	257.40	206.88	39.80	-9.92	-12.36	Σ 659.35
	Valor Min (ha)	-489.23	-384.28	-397.76	-67.04	-51.84	50.52	167.08	17.52	-22.28	-12.36	Σ -1,189.67
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					65.94
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					-118.97

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Asimismo, esta tendencia negativa se replica en los periodos 1995–2015 y 1995–2010, donde también se identificaron reducciones significativas en la cobertura agrícola, lo que refuerza la evidencia de un proceso de pérdida sostenida a partir de mediados de los años noventa.

Por otro lado, se identificaron periodos con ganancias en la cobertura agrícola, particularmente cuando se comparan los datos de 1980 con los años posteriores de 1985, 1990, 1995, 2000 y 2005. En especial, el periodo 1980–1995 destaca como el intervalo con mayor incremento en superficie agrícola, con una ganancia de 257.40 hectáreas.

Continuando con los análisis, se aplicó la matriz de comportamiento al bosque de coníferas, específicamente a las especies de pino y táscate. Los resultados revelan una tendencia general de ganancia en la cobertura de este tipo de vegetación a lo largo de todo el periodo analizado, que abarca de 1970 al 2020 (ver Figura 29).

Figura 29. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de pino y táscate entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Bosque de coníferas de pino y táscate										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Bosque de coníferas de pino y táscate	2015	1,581.86										
	2010	1,215.23	-366.64									
	2005	1,733.58	151.72	518.35								
	2000	1,693.54	111.68	478.31	-40.04							
	1995	1,952.66	370.80	737.43	219.08	259.12						
	1990	2,134.90	553.03	919.67	401.32	441.36	182.24					
	1985	2,491.57	909.71	1,276.35	757.99	798.03	538.91	356.68				
	1980	2,814.49	1,232.63	1,599.26	1,080.91	1,120.95	861.83	679.59	322.92			
	1975	3,045.73	1,463.86	1,830.50	1,312.15	1,352.19	1,093.07	910.83	554.15	231.24		
	1970	3,576.24	1,994.38	2,361.02	1,842.66	1,882.70	1,623.58	1,441.34	1,084.67	761.75	530.51	
	Total (ha)	22,239.81	6,421.17	9,720.90	5,574.06	5,854.34	4,299.63	3,388.44	1,961.74	992.99	530.51	Σ 60,983.60
	Cambio promedio por período (ha)	2,223.98	713.46	1,215.11	796.29	975.72	859.93	847.11	653.91	496.49	530.51	
	Mediana por período (ha)	2,043.78	553.03	1,098.01	757.99	959.49	861.83	795.21	554.15	496.49	530.51	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					60,983.60
	Valor Max (ha)	3,576.24	1,994.38	2,361.02	1,842.66	1,882.70	1,623.58	1,441.34	1,084.67	761.75	530.51	Σ 17,098.86
	Valor Min (ha)	1,215.23	-366.64	478.31	-40.04	259.12	182.24	356.68	322.92	231.24	530.51	Σ 3,169.57
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					1,709.89
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					316.96

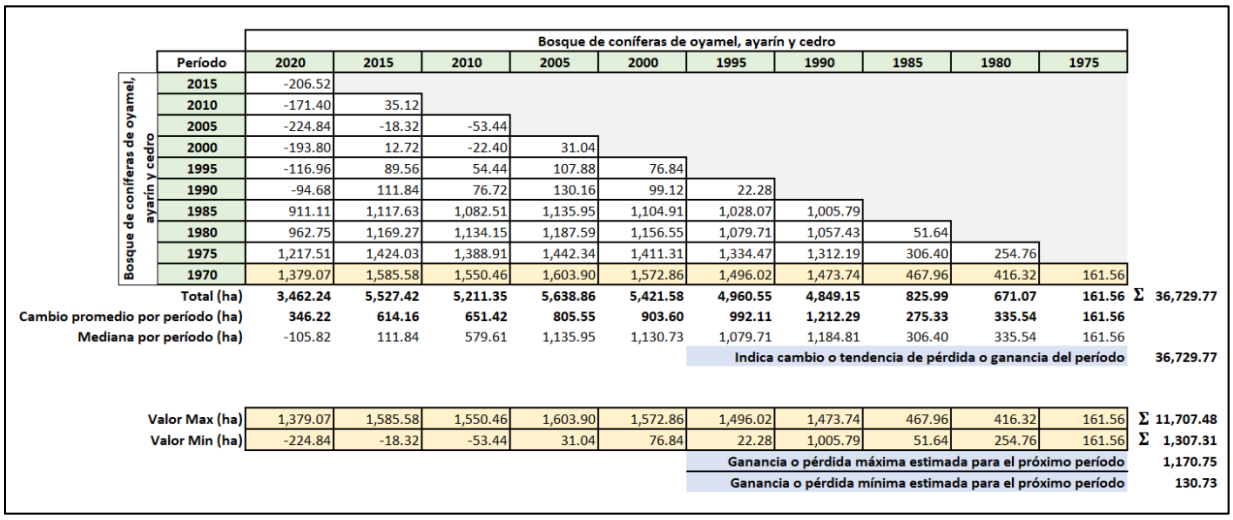
Fuente: Elaboración propia, 2024.

El incremento más significativo se registró precisamente durante este intervalo completo, con una ganancia de 3,576.24 hectáreas. Esta notable expansión consolida al periodo 1970–2020 como el más representativo y relevante para el análisis de la cobertura del bosque de coníferas de pino y táscate. La Figura 28 ilustra claramente esta tendencia positiva, lo que refuerza la importancia de este tipo de cobertura en el contexto del estudio.

El bosque de coníferas compuesto por especies como oyamel, ayarín y cedro presenta un comportamiento similar al observado en el bosque de pino. A lo largo del periodo comprendido entre 1970 al 2020, se identificó una tendencia general de ganancia en esta cobertura vegetal, con un aumento acumulado de 1,379.07 hectáreas.

Cabe destacar que esta tendencia positiva no solo se refleja en el periodo total, sino que también se mantiene de forma consistente en todos los ante períodos analizados dentro de ese intervalo. En cada uno de ellos se registraron incrementos en la superficie cubierta por estas especies de coníferas, lo cual refuerza la solidez del patrón de expansión. Esta dinámica de crecimiento sostenido queda ilustrada de manera detallada en la Figura 30.

Figura 30. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

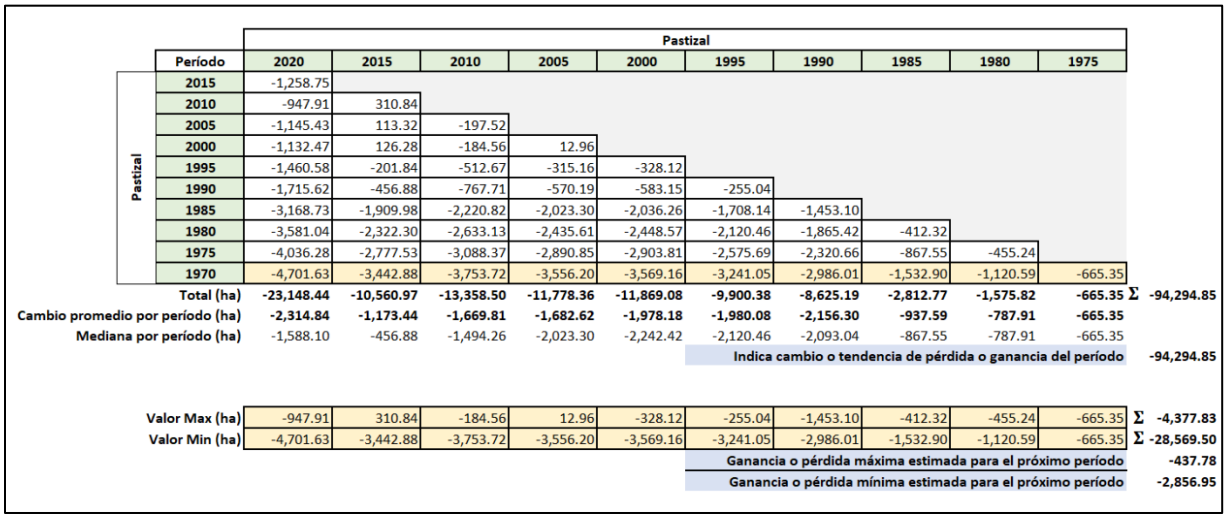


		Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	2015	-206.52										
	2010	-171.40	35.12									
	2005	-224.84	-18.32	-53.44								
	2000	-193.80	12.72	-22.40	31.04							
	1995	-116.96	89.56	54.44	107.88	76.84						
	1990	-94.68	111.84	76.72	130.16	99.12	22.28					
	1985	911.11	1,117.63	1,082.51	1,135.95	1,104.91	1,028.07	1,005.79				
	1980	962.75	1,169.27	1,134.15	1,187.59	1,156.55	1,079.71	1,057.43	51.64			
	1975	1,217.51	1,424.03	1,388.91	1,442.34	1,411.31	1,334.47	1,312.19	306.40	254.76		
	1970	1,379.07	1,585.58	1,550.46	1,603.90	1,572.86	1,496.02	1,473.74	467.96	416.32	161.56	
	Total (ha)	3,462.24	5,527.42	5,211.35	5,638.86	5,421.58	4,960.55	4,849.15	825.99	671.07	161.56	Σ 36,729.77
	Cambio promedio por período (ha)	346.22	614.16	651.42	805.55	903.60	992.11	1,212.29	275.33	335.54	161.56	
	Mediana por período (ha)	-105.82	111.84	579.61	1,135.95	1,130.73	1,079.71	1,184.81	306.40	335.54	161.56	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					36,729.77
	Valor Max (ha)	1,379.07	1,585.58	1,550.46	1,603.90	1,572.86	1,496.02	1,473.74	467.96	416.32	161.56	Σ 11,707.48
	Valor Min (ha)	-224.84	-18.32	-53.44	31.04	76.84	22.28	1,005.79	51.64	254.76	161.56	Σ 1,307.31
									Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período			1,170.75
									Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período			130.73

Fuente: Elaboración propia, 2024.

La cobertura de pastizal presenta una tendencia generalizada de pérdida a lo largo de los periodos analizados, lo cual se refleja claramente en la Figura 31. En todos los intervalos evaluados se observa una disminución progresiva en la superficie ocupada por esta cobertura, evidenciando un proceso de reducción constante. La pérdida más significativa se registró en el periodo comprendido entre 1970-2020, con una disminución de 4,701.63 hectáreas. Este resultado indica una transformación importante del paisaje, posiblemente vinculada a cambios en el uso del suelo, presión antrópica o a los procesos de sucesión ecológica.

Figura 31. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de pastizal entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.



		Pastizal										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Pastizal	2015	-1,258.75										
	2010	-947.91	310.84									
	2005	-1,145.43	113.32	-197.52								
	2000	-1,132.47	126.28	-184.56	12.96							
	1995	-1,460.58	-201.84	-512.67	-315.16	-328.12						
	1990	-1,715.62	-456.88	-767.71	-570.19	-583.15	-255.04					
	1985	-3,168.73	-1,909.98	-2,220.82	-2,023.30	-2,036.26	-1,708.14	-1,453.10				
	1980	-3,581.04	-2,322.30	-2,633.13	-2,435.61	-2,448.57	-2,120.46	-1,865.42	-412.32			
	1975	-4,036.28	-2,777.53	-3,088.37	-2,890.85	-2,903.81	-2,575.69	-2,320.66	-867.55	-455.24		
	1970	-4,701.63	-3,442.88	-3,753.72	-3,556.20	-3,569.16	-3,241.05	-2,986.01	-1,532.90	-1,120.59	-665.35	
	Total (ha)	-23,148.44	-10,560.97	-13,358.50	-11,778.36	-11,869.08	-9,900.38	-8,625.19	-2,812.77	-1,575.82	-665.35	Σ -94,294.85
	Cambio promedio por período (ha)	-2,314.84	-1,173.44	-1,669.81	-1,682.62	-1,978.18	-1,980.08	-2,156.30	-937.59	-787.91	-665.35	
	Mediana por período (ha)	-1,588.10	-456.88	-1,494.26	-2,023.30	-2,242.42	-2,120.46	-2,093.04	-867.55	-787.91	-665.35	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					-94,294.85
	Valor Max (ha)	-947.91	310.84	-184.56	12.96	-328.12	-255.04	-1,453.10	-412.32	-455.24	-665.35	Σ -4,377.83
	Valor Min (ha)	-4,701.63	-3,442.88	-3,753.72	-3,556.20	-3,569.16	-3,241.05	-2,986.01	-1,532.90	-1,120.59	-665.35	Σ -28,569.50
									Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período			-437.78
									Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período			-2,856.95

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En lo que respecta a la cobertura de asentamientos humanos, se observa una tendencia creciente a lo largo del periodo comprendido entre 1970-2020. Durante este intervalo, se registró un incremento acumulado de 148.92 hectáreas, consolidando así un periodo de expansión para este tipo de uso del suelo.

Este fenómeno de crecimiento urbano comienza a manifestarse de manera clara a partir del año 1990, momento a partir del cual se detectan cambios significativos en la superficie de asentamientos humanos. La Figura 32 ilustra esta tendencia de forma detallada, mostrando un aumento gradual y sostenido en la ocupación del territorio por estos asentamientos, lo que sugiere un proceso continuo de urbanización en el área de estudio.

Figura 32. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de asentamientos humanos entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Asentamientos humanos										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Asentamientos humanos	2015	10.60										
	2010	8.84	-1.76									
	2005	74.12	63.52	65.28								
	2000	85.36	74.76	76.52	11.24							
	1995	119.92	109.32	111.08	45.80	34.56						
	1990	119.92	109.32	111.08	45.80	34.56	0.00					
	1985	148.92	138.32	140.08	74.80	63.56	29.00	29.00				
	1980	148.92	138.32	140.08	74.80	63.56	29.00	29.00	0.00			
	1975	148.92	138.32	140.08	74.80	63.56	29.00	29.00	0.00	0.00		
	1970	148.92	138.32	140.08	74.80	63.56	29.00	29.00	0.00	0.00	0.00	
	Total (ha)	1,014.43	908.43	924.27	402.04	323.36	116.00	116.00	0.00	0.00	0.00	Σ 3,804.52
	Cambio promedio por período (ha)	101.44	100.94	115.53	57.43	53.89	23.20	29.00	0.00	0.00	0.00	
	Mediana por período (ha)	119.92	109.32	125.58	74.80	63.56	29.00	29.00	0.00	0.00	0.00	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					3,804.52
	Valor Max (ha)	148.92	138.32	140.08	74.80	63.56	29.00	29.00	0.00	0.00	0.00	Σ 623.67
	Valor Min (ha)	8.84	-1.76	65.28	11.24	34.56	0.00	29.00	0.00	0.00	0.00	Σ 147.16
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					62.37
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					14.72

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En lo que respecta a las minas de arena, se identifica una tendencia general hacia el aumento en su cobertura, aunque de forma moderada. Entre 1970 y 2020, esta actividad experimentó una ganancia acumulada de 24.8 hectáreas. Si bien el crecimiento no ha sido abrupto, sí muestra una evolución sostenida a lo largo del tiempo, ver Figura 33.

Figura 33. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de minas de arena entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Minas de arena										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Minas de arena	2015	-0.28										
	2010	2.84	3.12									
	2005	7.40	7.68	4.56								
	2000	7.40	7.68	4.56	0.00							
	1995	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40						
	1990	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00					
	1985	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00				
	1980	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00	0.00			
	1975	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00		
	1970	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Total (ha)	166.16	168.96	140.88	104.40	104.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Σ 684.79
	Cambio promedio por período (ha)	16.62	18.77	17.61	14.91	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Mediana por período (ha)	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					684.79
	Valor Max (ha)	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Σ 106.64
	Valor Min (ha)	-0.28	3.12	4.56	0.00	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Σ 24.80
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					10.66
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					2.48

Fuente: Elaboración propia, 2024.

El incremento más relevante en la cobertura destinada a minas de arena se detecta en el periodo comprendido entre 1995 y 2000, el cual puede considerarse como un punto crítico en el desarrollo de esta actividad. A partir de ese intervalo, se observa el inicio de una expansión más marcada, probablemente vinculada al crecimiento poblacional y a una mayor demanda de materiales para la construcción.

Sin embargo, a partir del año 2000 y en los años subsiguientes (2005, 2010, 2015 y 2020), el ritmo de crecimiento tiende a estabilizarse o disminuir ligeramente, lo que sugiere una etapa de consolidación en lugar de expansión acelerada. Esta evolución se relaciona con dinámicas socioeconómicas más amplias, como la urbanización, el desarrollo de infraestructura y el uso intensivo del suelo en áreas específicas.

Este análisis también fue aplicado a la zona de influencia del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, donde se identificó un comportamiento distinto al observado en las coberturas previamente analizadas.

La cobertura agrícola muestra una tendencia marcada a la disminución a lo largo del tiempo estudiado. La pérdida de superficie agrícola es especialmente notoria en el periodo comprendido entre 1985-2020, durante el cual se registró una reducción de 2,878.97 hectáreas. Aunque esta disminución no ha sido abrupta, sí ha sido constante, reflejando una transformación gradual del uso del suelo que rodea la zona protegida. De hecho, desde la década de 1970 hasta 2020, la tendencia general ha sido a la baja en cuanto a la presencia de agricultura, lo que podría estar relacionado con políticas de conservación, cambios en la vocación del suelo o migración de actividades productivas hacia otras áreas.

Esta dinámica puede apreciarse con mayor claridad en la Figura 34, donde se observa cómo la superficie agrícola ha disminuido de forma sostenida durante las últimas décadas, diferenciándose del comportamiento registrado en otras regiones fuera de esta área natural protegida.

Figura 34. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de agricultura entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Agricultura										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Agricultura	2015	-593.51										
	2010	-628.87	-35.36									
	2005	-1,709.38	-1,115.87	-1,080.51								
	2000	-1,849.82	-1,256.31	-1,220.95	-140.44							
	1995	-2,019.34	-1,425.83	-1,390.47	-309.96	-169.52						
	1990	-2,084.94	-1,491.42	-1,456.06	-375.56	-235.12	-65.60					
	1985	-2,878.97	-2,285.46	-2,250.10	-1,169.59	-1,029.15	-859.63	-794.03				
	1980	-2,851.05	-2,257.54	-2,222.18	-1,141.67	-1,001.23	-831.71	-766.11	27.92			
	1975	-2,830.81	-2,237.30	-2,201.94	-1,121.43	-980.99	-811.47	-745.87	48.16	20.24		
	1970	-2,841.93	-2,248.42	-2,213.06	-1,132.55	-992.11	-822.59	-756.99	37.04	9.12	-11.12	
	Total (ha)	**-20,288.63**	**-14,353.49**	**-14,035.25**	**-5,391.18**	**-4,408.11**	**-3,391.00**	**-3,063.01**	**113.12**	**29.36**	**-11.12**	Σ -64,799.32
	Cambio promedio por período (ha)	**-2,028.86**	**-1,594.83**	**-1,754.41**	**-770.17**	**-734.69**	**-678.20**	**-765.75**	**37.71**	**14.68**	**-11.12**	
	Mediana por período (ha)	-2,052.14	-1,491.42	-1,829.00	-1,121.43	-986.55	-822.59	-761.55	37.04	14.68	-11.12	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					-64,799.32
	Valor Max (ha)	-593.51	-35.36	-1,080.51	-140.44	-169.52	-65.60	-745.87	48.16	20.24	-11.12	Σ -2,773.53
	Valor Min (ha)	-2,878.97	-2,285.46	-2,250.10	-1,169.59	-1,029.15	-859.63	-794.03	27.92	9.12	-11.12	Σ-11,241.00
								Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período				-277.35
								Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período				-1,124.10

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En lo que respecta a la cobertura de bosque de coníferas, específicamente de pino y táscate, se observa una tendencia general positiva durante el periodo comprendido entre 1970 y 2020. No obstante, durante la última década (2010-2020), se han registrado pérdidas en la cobertura forestal, lo que marca un cambio en la dinámica previamente observada.

Antes de este periodo de declive, el crecimiento promedio anual de la cobertura era de aproximadamente 400 hectáreas. Si el objetivo del estudio es resaltar los periodos de mayor expansión forestal, conviene enfocarse en los intervalos que muestran aumentos significativos en la superficie cubierta por este tipo de vegetación. En particular, los periodos de 1970-2015, 1970-2010 y 1970-2020 muestran los mayores incrementos netos, con aumentos de 1,469.38 ha, 1,349.51 ha y 1,324.55 ha respectivamente, ver figura 35.

Estos datos permiten identificar los lapsos temporales más relevantes en términos de expansión forestal, los cuales podrían ser clave para entender las condiciones ambientales, políticas de manejo forestal o factores socioeconómicos que favorecieron dicho crecimiento.

La dinámica de los bosques de coníferas compuestos por especies como oyamel, ayarín y cedro muestra una actividad mucho menos intensa en comparación con la cobertura de pino y táscate. A pesar de esta diferencia en magnitud, la tendencia general también es positiva, ya que se observa una ganancia neta en la cobertura de este tipo de vegetación a lo largo del periodo de análisis.

Figura 35. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de pino y táscate entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Bosque de coníferas de pino y táscate										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Bosque de coníferas de pino y táscate	2015	-144.84										
	2010	-24.96	119.88									
	2005	417.40	562.23	442.36								
	2000	409.80	554.63	434.76	-7.60							
	1995	287.80	432.64	312.76	-129.60	-122.00						
	1990	277.60	422.44	302.56	-139.80	-132.20	-10.20					
	1985	793.75	938.59	818.71	376.36	383.96	505.95	516.15				
	1980	983.91	1,128.75	1,008.87	566.51	574.11	696.11	706.31	190.16			
	1975	1,151.71	1,296.55	1,176.67	734.31	741.91	863.91	874.11	357.96	167.80		
	1970	1,324.55	1,469.38	1,349.51	907.15	914.75	1,036.75	1,046.95	530.79	340.64	172.84	
	Total (ha)	5,476.70	6,925.09	5,846.18	2,307.34	2,360.54	3,092.53	3,143.53	1,078.91	508.43	172.84	Σ 30,912.08
	Cambio promedio por período (ha)	547.67	769.45	730.77	329.62	393.42	618.51	785.88	359.64	254.22	172.84	
	Mediana por período (ha)	413.60	562.23	630.53	376.36	479.03	696.11	790.21	357.96	254.22	172.84	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					30,912.08
	Valor Max (ha)	1,324.55	1,469.38	1,349.51	907.15	914.75	1,036.75	1,046.95	530.79	340.64	172.84	Σ 9,093.30
	Valor Min (ha)	-144.84	119.88	302.56	-139.80	-132.20	-10.20	516.15	190.16	167.80	172.84	Σ 1,042.35
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					909.33
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					104.23

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En promedio, el aumento en la superficie cubierta por estos bosques ha sido de aproximadamente 45 hectáreas por periodo evaluado, lo que indica un crecimiento modesto pero constante. Sin embargo, esta tendencia no ha sido uniforme en el tiempo. Específicamente, entre los años 1990 y 2005 se registra una reversión en el comportamiento, con una clara tendencia a la pérdida de cobertura forestal en este tipo de coníferas, ver figura 36.

Este periodo de retroceso podría estar asociado a factores como el cambio en el uso del suelo, la presión agrícola, la expansión urbana, o incluso alteraciones en las condiciones climáticas locales. Por lo tanto, resulta importante analizar este intervalo con mayor detalle para identificar las causas subyacentes de dicha pérdida y proponer estrategias de conservación y manejo más adecuadas para este tipo particular de ecosistemas forestales.

Figura 36. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	2015	22.56										
	2010	7.32	-15.24									
	2005	-72.64	-95.20	-79.96								
	2000	-63.76	-86.32	-71.08	8.88							
	1995	-65.24	-87.80	-72.56	7.40	-1.48						
	1990	-65.84	-88.40	-73.16	6.80	-2.08	-0.60					
	1985	130.72	108.16	123.40	203.36	194.48	195.96	196.56				
	1980	154.32	131.76	147.00	226.96	218.08	219.56	220.16	23.60			
	1975	195.76	173.20	188.44	268.40	259.52	261.00	261.60	65.04	41.44		
	1970	209.36	186.80	202.04	282.00	273.12	274.60	275.20	78.64	55.04	13.60	
	Total (ha)	452.56	226.96	364.12	1,003.79	941.63	950.51	953.51	167.28	96.48	13.60	Σ 5,170.43
	Cambio promedio por período (ha)	45.26	25.22	45.51	143.40	156.94	190.10	238.38	55.76	48.24	13.60	
	Mediana por período (ha)	14.94	-15.24	26.16	203.36	206.28	219.56	240.88	65.04	48.24	13.60	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					5,170.43
	Valor Max (ha)	209.36	186.80	202.04	282.00	273.12	274.60	275.20	78.64	55.04	13.60	Σ 1,850.38
	Valor Min (ha)	-72.64	-95.20	-79.96	6.80	-2.08	-0.60	196.56	23.60	41.44	13.60	Σ 31.52
								Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período				185.04
								Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período				3.15

Fuente: Elaboración propia, 2024.

El pastizal es la cobertura que ha experimentado las mayores pérdidas a lo largo del periodo de análisis, lo cual coincide con diversos estudios realizados por otros autores. En dichos trabajos como el Pineda Jaimes et al. (2009) y Camacho (2015) señalan que los pastizales suelen ser una cobertura de transición, utilizada frecuentemente como base para el desarrollo de otras actividades, especialmente aquellas de origen antrópico, como la agricultura, la ganadería extensiva o el establecimiento de asentamientos humanos.

La dinámica observada en esta categoría de uso del suelo revela una disminución en su extensión, particularmente en el periodo comprendido entre 1970-2015, durante el cual se registró la mayor pérdida de aproximadamente 1,346.03 hectáreas, ver figura 37. Este comportamiento sugiere una fuerte presión sobre este tipo de cobertura vegetal, probablemente relacionada con el cambio en el uso del suelo y la expansión de los asentamientos humanos.

No obstante, en los últimos años se ha comenzado a registrar una ligera recuperación en la superficie ocupada por pastizales. Este repunte podría estar asociado a procesos de abandono de tierras agrícolas, estrategias de restauración ecológica o cambios en las políticas de uso del suelo, lo que representa una oportunidad para profundizar en el análisis de las causas y condiciones que favorecen dicha recuperación.

Figura 37. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de pastizal entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Pastizal										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Pastizal	2015	84.32										
	2010	1.80	-82.52									
	2005	-36.72	-121.04	-38.52								
	2000	-36.68	-121.00	-38.48	0.04							
	1995	-94.28	-178.60	-96.08	-57.56	-57.60						
	1990	-45.40	-129.72	-47.20	-8.68	-8.72	48.88					
	1985	-567.83	-652.15	-569.63	-531.11	-531.15	-473.56	-522.43				
	1980	-866.75	-951.07	-868.55	-830.03	-830.07	-772.47	-821.35	-298.92			
	1975	-1,086.39	-1,170.71	-1,088.19	-1,049.67	-1,049.71	-992.11	-1,040.99	-518.55	-219.64		
	1970	-1,261.71	-1,346.03	-1,263.51	-1,224.99	-1,225.03	-1,167.43	-1,216.31	-693.87	-394.96	-175.32	
	Total (ha)	**-3,909.64**	**-4,752.83**	**-4,010.16**	**-3,702.00**	**-3,702.28**	**-3,356.68**	**-3,601.08**	**-1,511.34**	**-614.59**	**-175.32**	Σ **-29,335.93**
	Cambio promedio por período (ha)	**-390.96**	**-528.09**	**-501.27**	**-528.86**	**-617.05**	**-671.34**	**-900.27**	**-503.78**	**-307.30**	**-175.32**	
	Mediana por período (ha)	-69.84	-178.60	-332.86	-531.11	-680.61	-772.47	-931.17	-518.55	-307.30	-175.32	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					**-29,335.93**
	Valor Max (ha)	84.32	-82.52	-38.48	0.04	-8.72	48.88	-522.43	-298.92	-219.64	-175.32	Σ **-1,212.79**
	Valor Min (ha)	-1,261.71	-1,346.03	-1,263.51	-1,224.99	-1,225.03	-1,167.43	-1,216.31	-693.87	-394.96	-175.32	Σ **-9,969.14**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**-121.28**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**-996.91**

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En lo que respecta a los asentamientos humanos, se observa un crecimiento considerable en las áreas circundantes a la zona de protección. Este incremento puede atribuirse a diversos factores, siendo el principal el aumento sostenido de la población en las últimas décadas. Esta expansión urbana y periurbana coincide con los datos demográficos disponibles, que reflejan un notable crecimiento poblacional particularmente en la última década.

La presión ejercida por este crecimiento ha llevado a una transformación significativa del uso del suelo, consolidando el avance de la infraestructura urbana sobre áreas que anteriormente estaban destinadas a otros usos, como pastizales, terrenos agrícolas o incluso zonas boscosas. Como resultado, el periodo comprendido entre 1970-2020 registra una ganancia en la cobertura correspondiente a asentamientos humanos de aproximadamente 2,292.94 hectáreas, ver figura 38.

Figura 38. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de asentamientos humanos entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Asentamientos humanos										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Asentamientos humanos	2015	534.35										
	2010	576.27	41.92									
	2005	1,300.23	765.87	723.95								
	2000	1,384.83	850.47	808.55	84.60							
	1995	1,638.82	1,104.47	1,062.55	338.60	254.00						
	1990	1,650.10	1,115.75	1,073.83	349.88	265.28	11.28					
	1985	2,231.82	1,697.46	1,655.54	931.59	846.99	592.99	581.71				
	1980	2,288.18	1,753.82	1,711.90	987.95	903.35	649.35	638.07	56.36			
	1975	2,292.94	1,758.58	1,716.66	992.71	908.11	654.11	642.83	61.12	4.76		
	1970	2,292.94	1,758.58	1,716.66	992.71	908.11	654.11	642.83	61.12	4.76	0.00	
	Total (ha)	**16,190.47**	**10,846.93**	**10,469.65**	**4,678.03**	**4,085.84**	**2,561.85**	**2,505.45**	**178.60**	**9.52**	**0.00**	Σ **51,526.34**
	Cambio promedio por período (ha)	**1,619.05**	**1,205.21**	**1,308.71**	**668.29**	**680.97**	**512.37**	**626.36**	**59.53**	**4.76**	**0.00**	
	Mediana por período (ha)	1,644.46	1,115.75	1,364.69	931.59	875.17	649.35	640.45	61.12	4.76	0.00	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					**51,526.34**
	Valor Max (ha)	2,292.94	1,758.58	1,716.66	992.71	908.11	654.11	642.83	61.12	4.76	0.00	Σ **9,031.83**
	Valor Min (ha)	534.35	41.92	723.95	84.60	254.00	11.28	581.71	56.36	4.76	0.00	Σ **2,292.94**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**903.18**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**229.29**

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Este fenómeno representa un reto importante para la planificación territorial y la conservación ambiental, especialmente cuando los asentamientos se desarrollan en las inmediaciones o dentro de zonas con algún nivel de protección ecológica. Por lo tanto, es fundamental integrar estrategias de ordenamiento urbano y gestión ambiental que permitan equilibrar el crecimiento poblacional con la conservación de los recursos naturales y la integridad del ecosistema.

La cobertura correspondiente a las minas de arena, ubicadas fuera del área de protección, muestra una dinámica significativa que permite identificar tendencias relevantes en el cambio de uso del suelo. En particular, el periodo comprendido entre 1980 y 2020 destaca como el intervalo más adecuado para analizar la evolución de esta cobertura, al registrar un crecimiento acumulado de aproximadamente 252.4 hectáreas, ver figura 39.

Figura 39. Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de minas de arena entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Minas de arena										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Minas de arena	2015	96.32										
	2010	67.64	-28.68									
	2005	98.44	2.12	30.80								
	2000	147.16	50.84	79.52	48.72							
	1995	218.24	121.92	150.60	119.80	71.08						
	1990	232.72	136.40	165.08	134.28	85.56	14.48					
	1985	251.52	155.20	183.88	153.08	104.36	33.28	18.80				
	1980	252.40	156.08	184.76	153.96	105.24	34.16	19.68	0.88			
	1975	237.80	141.48	170.16	139.36	90.64	19.56	5.08	-13.72	-14.60		
	1970	237.80	141.48	170.16	139.36	90.64	19.56	5.08	-13.72	-14.60	0.00	
	Total (ha)	1,840.02	876.83	1,134.95	888.55	547.51	121.04	48.64	-26.56	-29.20	0.00	Σ 5,401.78
	Cambio promedio por período (ha)	184.00	97.43	141.87	126.94	91.25	24.21	12.16	-8.85	-14.60	0.00	
	Mediana por período (ha)	225.48	136.40	167.62	139.36	90.64	19.56	11.94	-13.72	-14.60	0.00	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					5,401.78
	Valor Max (ha)	252.40	156.08	184.76	153.96	105.24	34.16	19.68	0.88	-14.60	0.00	Σ 892.55
	Valor Min (ha)	67.64	-28.68	30.80	48.72	71.08	14.48	5.08	-13.72	-14.60	0.00	Σ 180.80
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					89.26
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					18.08

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Este crecimiento sugiere un aumento sostenido de la actividad extractiva en la región, posiblemente relacionado con la demanda de materiales para la expansión urbana o para infraestructura regional. No obstante, también se observa que los periodos anteriores y posteriores a este intervalo (es decir, los periodos aledaños) presentan cambios suficientemente representativos, lo que los convierte en marcos temporales igualmente útiles para la elaboración de análisis detallados, especialmente en lo que respecta al estudio de matrices de cambio y la evaluación del impacto ambiental asociado.

Por lo tanto, tanto el periodo principal como los adyacentes ofrecen información valiosa para entender la transformación del paisaje y la presión ejercida por las actividades mineras sobre el entorno natural y social de la zona.

Las matrices de comportamiento del uso del suelo desempeñan un papel clave en la identificación del periodo más adecuado para analizar y resumir la evolución de una cobertura específica. Estas matrices no solo permiten detectar cambios o patrones particulares dentro de una sola categoría de cobertura, sino que también ayudan a comparar dinámicas entre distintas zonas geográficas. Aunque cada cobertura presenta una dinámica única, sus comportamientos pueden ser contrastados y analizados en relación con otros tipos de uso del suelo.

En este contexto, los estudios enfocados en el análisis de los cambios en el uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) constituyen una herramienta esencial para comprender las transformaciones espaciales y temporales que ocurren en los paisajes tanto naturales como intervenidos por actividades humanas.

Este tipo de análisis permite no solo identificar tendencias emergentes y patrones de conversión del suelo, sino también establecer una base sólida para evaluar los impactos ecológicos, económicos y sociales derivados de dichas transformaciones (Brovelli et al., 2020). La identificación precisa de las coberturas, junto con la cuantificación de su dinámica, es fundamental para anticipar posibles escenarios futuros y diseñar estrategias eficaces de mitigación, restauración o manejo sostenible.

Los factores que impulsan estos cambios son múltiples y complejos, incluyendo variables físicas (como el clima, la topografía o la disponibilidad de recursos) y factores socioeconómicos, entre los que destacan el crecimiento poblacional, la transformación de usos agrícolas, la expansión urbana y las políticas públicas relacionadas con el desarrollo territorial. En este sentido, comprender la magnitud, dirección y velocidad de los cambios en cada tipo de cobertura se vuelve una prioridad para una adecuada gestión del territorio

4.3 Modelación de escenarios para el año 2030, 2045 y 2060

Como parte del trabajo realizado, tras el análisis de la información espacial y temporal, se identificaron las coberturas que mayor influencia ejercen sobre la dinámica territorial de la zona de estudio. El período que mostró mayor impacto en los cambios de uso del suelo fue el comprendido entre 1970-2020, con transformaciones significativas principalmente en las coberturas de bosques de coníferas, pastizales y asentamientos humanos.

La selección de las coberturas más relevantes resulta fundamental para la elaboración de modelos de cambio de uso del suelo, ya que permite enfocar el análisis en aquellas categorías que condicionan la evolución del paisaje. En este sentido, se procedió a generar lo que se denomina transiciones sistémicas, las cuales representan el porcentaje de cambio (ya sea pérdida o ganancia) de cada cobertura en el periodo de estudio.

Para interpretar adecuadamente estas transiciones, es esencial comprender tanto las persistencias (áreas que mantienen su cobertura a lo largo del tiempo) como los intercambios (cambios entre diferentes tipos de cobertura). Para ello, se utilizaron los datos presentados en la Tabla 20, en la que las celdas diagonales sombreadas en gris indican las persistencias de cada clase, mientras que las celdas adyacentes reflejan los intercambios entre coberturas. Además, se incluyen los totales por categoría y la superficie correspondiente a cada una, lo que facilita una visión integral de la dinámica del paisaje en el periodo analizado.

Tabla 20. Intercambios y persistencias de las coberturas del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020

Categoría	Agrícola	Agua	Bosque de Coníferas: de Pino y Táscate	Bosque de Coníferas: Oyamel, Ayarín y Cedro	Desprovisto de vegetación	Pastizal	Pastizal alpino	Asentamientos humanos	Mina de arena	**Total en Ha 2020**
Agrícola	7558.56	0.00	309.16	97.04	0.00	875.31	0.00	0.32	0.00	**8840.39**
Cuerpo de agua	0.16	24.28	0.00	0.00	0.00	0.52	0.32	0.00	0.00	**25.28**
Bosque de Coníferas: de Pino y Táscate	789.95	0.00	15766.59	392.24	0.00	3404.76	168.72	0.20	0.00	**20522.46**
Bosque de Coníferas: Oyamel, Ayarín y Cedro	466.04	0.00	194.16	17459.62	0.00	1268.59	0.00	0.00	0.00	**19388.40**
Desprovisto de vegetación	0.00	0.00	0.00	0.00	586.55	0.00	1.36	0.00	0.00	**587.91**
Pastizal	189.08	0.00	660.75	56.72	0.00	1850.38	4.76	0.32	0.00	**2762.01**
Pastizal alpino	0.00	1.56	0.04	0.00	2.52	0.00	1276.31	0.00	0.00	**1280.43**
Asentamientos humanos	83.36	0.00	5.12	3.72	0.00	57.04	0.52	8.44	0.00	**158.20**
Mina de arena	7.36	0.00	10.40	0.00	0.00	7.04	0.00	0.00	0.00	**24.80**
Total en Ha 1970	**9094.50**	**25.84**	**16946.22**	**18009.33**	**589.07**	**7463.64**	**1451.98**	**9.28**	**0.00**	53589.88

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Con toda la información recopilada y analizada, se procedió a la generación de las transiciones sistémicas, las cuales permiten identificar el porcentaje de pérdida o ganancia que ha experimentado cada cobertura en un periodo determinado. Los resultados correspondientes a este análisis se presentan en las Tablas 21 y 22.

Es importante señalar que, a partir de este apartado, el análisis se centró exclusivamente en las coberturas que presentan los cambios más significativos. Esta decisión se basa en el hecho de que el tamaño de cada cobertura influye directamente en la magnitud de las transiciones observadas; por lo tanto, se busca garantizar que los resultados sean representativos y relevantes desde el punto de vista cuantitativo.

Con base en estos criterios, se seleccionaron las siguientes coberturas para el análisis detallado de las transiciones:

- Agrícola
- Bosque de Coníferas de Pino y Táscate
- Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro
- Pastizal
- Asentamientos humanos

Estas coberturas son las que tienen más dinámicas y se ha observado anteriormente que influyen en el comportamiento de la zona de estudio.

En la Tabla 21 se observa que la cobertura con el mayor porcentaje de ganancia corresponde al Bosque de Coníferas de Pino y Táscate, con un incremento del 4.67% en el periodo analizado. Esta ganancia es considerablemente superior en comparación con otras coberturas forestales, especialmente frente al Bosque de Coníferas de Oyamel, Ayarín y Cedro, que ocupa el segundo lugar con una ganancia del 1.84%. Esta segunda cobertura, además, presenta una transición significativa hacia la categoría de Bosque de Coníferas de Pino y Táscate, lo que podría indicar un proceso de sustitución o regeneración diferenciada dentro del ecosistema de coníferas.

Tabla 21. Transiciones de ganancia del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020

	Transiciones de ganancia del período 1970 -2020				
Categoría	Agrícola	Bosque de Coníferas: de Pino y Táscate	Bosque de Coníferas: Oyamel, Ayarín y Cedro	Pastizal	Asentamientos humanos
Agrícola		1.80%	0.73%	0.35%	0.06%
Cuerpo de agua	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Bosque de Coníferas: de Pino y Táscate	1.23%		1.84%	0.87%	0.14%
Bosque de Coníferas: Oyamel, Ayarín y Cedro	1.26%	4.67%		0.90%	0.15%
Desprovisto de vegetación	0.03%	0.10%	0.04%	0.02%	0.00%
Pastizal	0.35%	1.30%	0.53%		0.04%
Pastizal alpino	0.07%	0.25%	0.10%	0.05%	0.01%
Asentamientos humanos	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Mina de arena	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Estos patrones de ganancia y transición revelan dinámicas ecológicas y de uso del suelo que pueden estar asociadas a factores como la altitud, el tipo de suelo, las prácticas de manejo forestal o incluso al cambio climático. Además, destacan la relevancia del Bosque de Coníferas de Pino y Táscate como una de las coberturas con mayor capacidad de expansión en la región.

Los datos presentados en la Tabla 21 son fundamentales para comprender no solo las tendencias históricas, sino también para proyectar escenarios futuros de crecimiento forestal. Esta información resulta clave para la toma de decisiones en materia de conservación, ordenamiento territorial y planificación del uso del suelo.

La Tabla 22 presenta las transiciones asociadas a la pérdida de cobertura, destacando al pastizal como la clase con mayor porcentaje de pérdida. Específicamente, el pastizal ha sido reemplazado en un 6.50% por Bosques de Coníferas de Pino y Táscate, en un 5.94% por Bosques de Coníferas de Oyamel, Ayarín y Cedro, y en un 2.07% por uso agrícola. Estas cifras reflejan una presión significativa sobre esta cobertura, probablemente derivada de procesos de sucesión ecológica, actividades de reforestación o expansión agrícola.

A continuación, la agricultura también se posiciona entre las coberturas con pérdidas destacables, mostrando transiciones del 1.78% hacia Bosques de Coníferas de Pino y Táscate y del 1.62% hacia Bosques de Coníferas de Oyamel, Ayarín y Cedro. Estos datos sugieren un proceso de abandono o reconversión de tierras agrícolas hacia coberturas forestales, posiblemente como resultado de programas de restauración ecológica, abandono de tierras marginales o cambios en el uso económico del suelo.

La información contenida en la Tabla 22 es de gran relevancia para entender las dinámicas de pérdida de cobertura, ya que permite identificar las áreas y coberturas más vulnerables, así como anticipar las posibles trayectorias de cambio en el paisaje. Este tipo de análisis es esencial para alimentar modelos de predicción espacial, evaluar impactos ambientales y planificar intervenciones orientadas a la conservación y el uso sostenible del territorio.

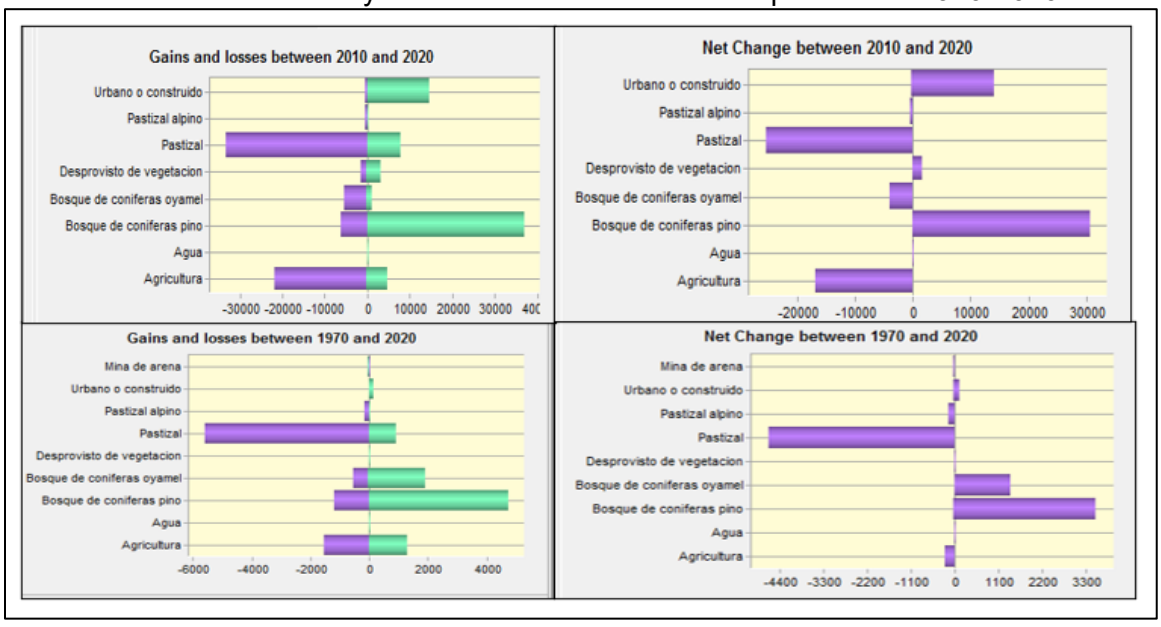
Tabla 22. Transiciones de pérdida del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020

Categoría	Transiciones de pérdida del período 1970 -2020				
	Agrícola	Bosque de Coníferas: de Pino y Táscate	Bosque de Coníferas: Oyamel, Ayarín y Cedro	Pastizal	Asentamientos humanos
Agrícola		0.43%	0.20%	2.07%	0.00%
Cuerpo de agua	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Bosque de Coníferas: de Pino y Táscate	1.78%		0.64%	6.50%	0.00%
Bosque de Coníferas: Oyamel, Ayarín y Cedro	1.62%	1.25%		5.94%	0.00%
Desprovisto de vegetación	0.03%	0.02%	0.01%	0.12%	0.00%
Pastizal	0.16%	0.12%	0.06%		0.00%
Pastizal alpino	0.07%	0.05%	0.03%	0.26%	0.00%
Asentamientos humanos	0.01%	0.01%	0.00%	0.03%	
Mina de arena	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Una vez finalizado el análisis de las transiciones sistémicas, se procedió a la generación del modelo de prospección espacial, el cual se desarrolló utilizando el software TerrSet 2020. Este modelo se construyó mediante el módulo especializado "Land Change Modeler" (LCM), el cual permite proyectar escenarios futuros de cambio de uso del suelo a partir de dos momentos temporales previos. En la etapa inicial, el LCM procesa automáticamente los datos de pérdidas y ganancias generados anteriormente, produciendo un análisis integrado de las dinámicas de cambio. Esta fase incluye, además, la generación de gráficos e indicadores visuales que facilitan la interpretación de los resultados obtenidos (ver Figura 40).

Figura 40. Resultados automáticos del submódulo denominado Análisis de Cambios del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020



Fuente: Graficas resultantes del software TerrSet, del módulo Land Change Modeler, con datos del proyecto.

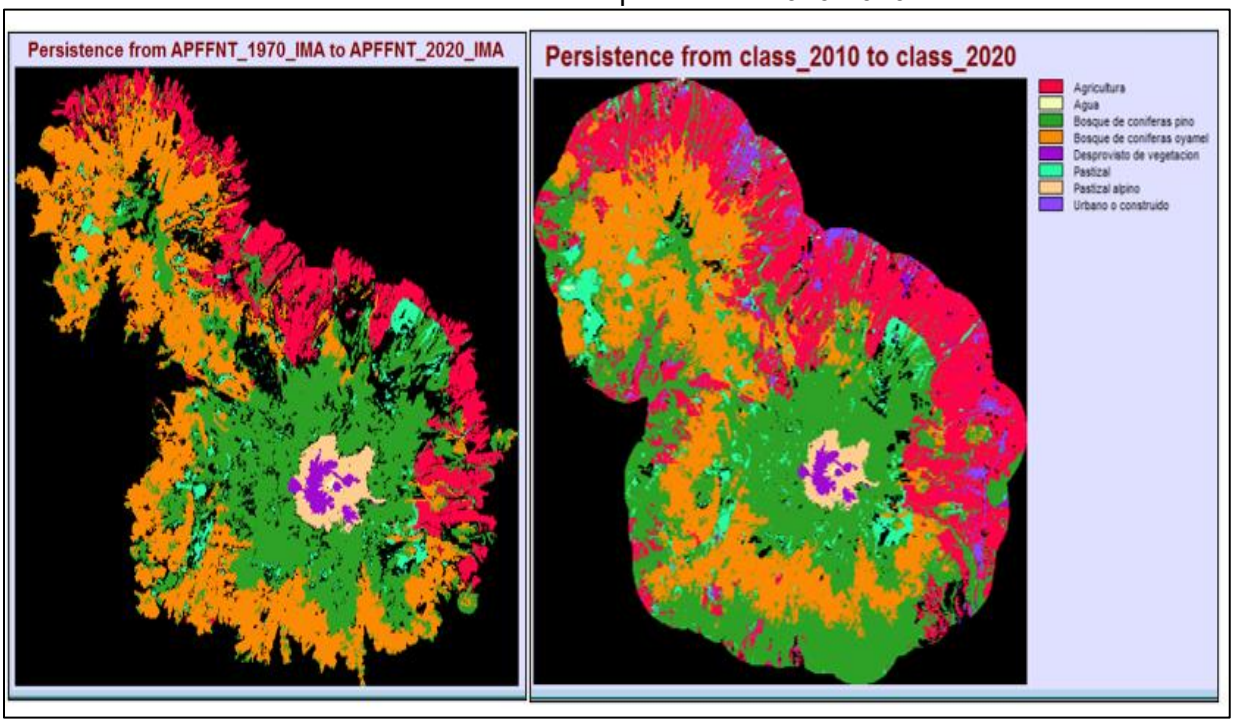
La figura 40 mencionada anteriormente constituye una representación simplificada de los resultados obtenidos en el análisis previo del cambio de uso del suelo. Estas visualizaciones cumplen una función clave dentro del proceso metodológico, ya que permiten corroborar la validez y consistencia de los procedimientos empleados en la interpretación de los datos espaciales y temporales.

A través de los resultados, generados automáticamente por el módulo Land Change Modeler del software TerrSet 2020, es posible identificar de manera clara las ganancias netas, las pérdidas, así como los cambios entre coberturas a lo largo del periodo evaluado. Uno de los aspectos más relevantes de esta herramienta es su capacidad para representar las persistencias espaciales (es decir, aquellas áreas donde la cobertura del suelo se ha mantenido sin alteración) mediante salidas en formato ráster.

Estas persistencias, al igual que las transiciones, son fundamentales para entender la estabilidad o vulnerabilidad de ciertas coberturas en el territorio, y permiten visualizar con mayor precisión qué zonas se han conservado frente al dinamismo del cambio de uso del suelo.

A continuación, en la Figura 41, se presentan los resultados espaciales de las persistencias identificadas, lo cual complementa visualmente el análisis cuantitativo desarrollado en los apartados anteriores.

Figura 41. Persistencias de coberturas dentro y fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020

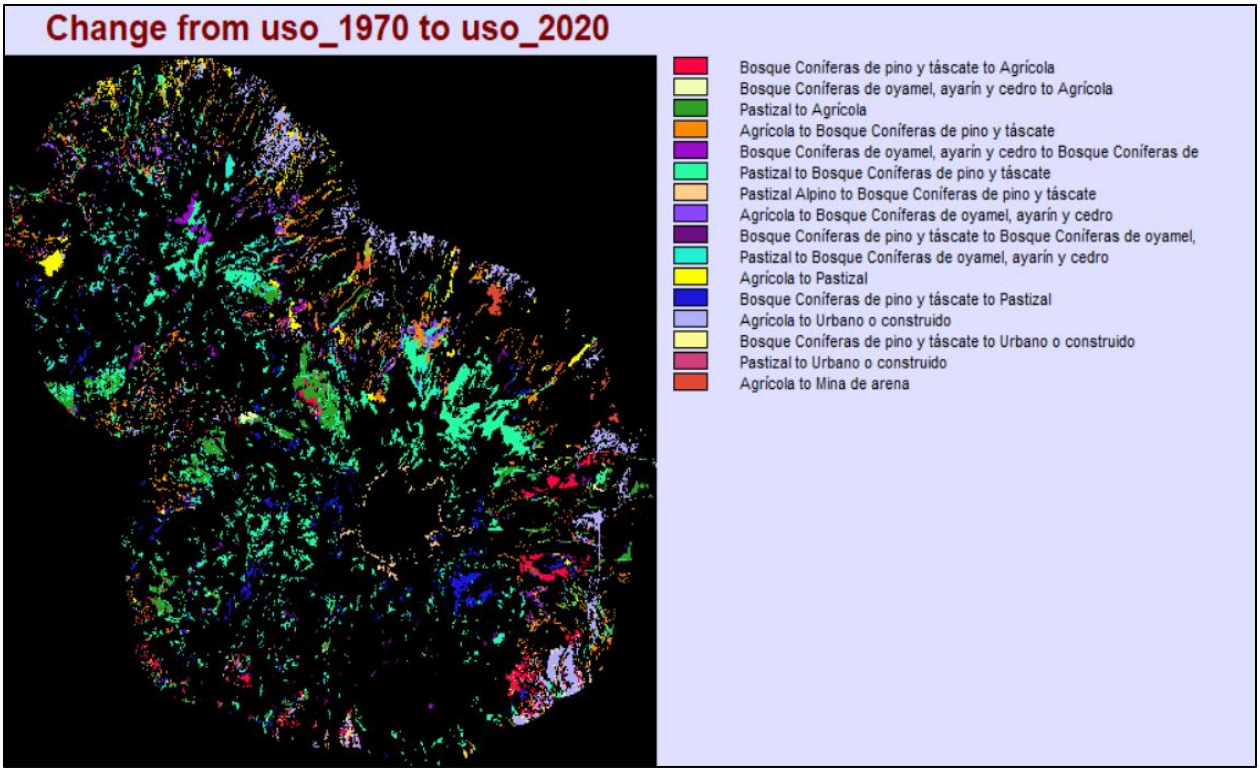


Fuente: Mapas de persistencias del software TerrSet, del módulo Land Change Modeler, con datos del proyecto.

La obtención de las áreas de cambio de coberturas a partir de este módulo constituye un insumo esencial para el proceso de prospección espacial, ya que permite identificar con precisión las zonas que han experimentado transformaciones en el uso del suelo. Estas áreas, al presentar una dinámica comprobada de cambio, se consideran particularmente relevantes para los análisis predictivos, dado que tienen una mayor probabilidad de continuar modificándose en el futuro, tanto dentro de sus límites actuales como en zonas adyacentes.

La delimitación de estas áreas es fundamental para enfocar la modelación en territorios donde el cambio es más probable, optimizando así la precisión y utilidad del modelo generado. Las zonas identificadas como áreas de cambio se encuentran representadas en la Figura 42, la cual muestra su distribución espacial dentro del área de estudio.

Figura 42. Zonas con cambio de coberturas dentro y fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020



Fuente: Mapa de persistencias del software TerrSet, del módulo Land Change Modeler, con datos del proyecto.

A partir de los datos obtenidos en las zonas con mayor dinámica de cambio, se elaboró una tabla de resumen que concentra las transiciones más relevantes en el uso del suelo. El objetivo de esta tabla es identificar cuáles son los cambios más significativos dentro del área de estudio, permitiendo así enfocar el análisis en las transformaciones con mayor impacto territorial. Los resultados se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Cantidad de transiciones de cambio dentro y fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020

Categoría	Hectáreas	Leyenda del mapa de cambios
1	821.56	Bosque Coníferas de pino y táscate a Agrícola
2	123.36	Bosque Coníferas de oyamel, ayarín y cedro a Agrícola
3	1590.48	Pastizal a Agrícola
4	1873.96	Agrícola a Bosque Coníferas de pino y táscate
5	438.92	Bosque Coníferas de oyamel, ayarín y cedro a Bosque Coníferas de pino y táscate
6	4518.6	Pastizal a Bosque Coníferas de pino y táscate
7	168.72	Pastizal Alpino a Bosque Coníferas de pino y táscate
8	565.6	Agrícola a Bosque Coníferas de oyamel, ayarín y cedro
9	258.44	Bosque Coníferas de pino y táscate a Bosque Coníferas de oyamel,
10	1402.16	Pastizal a Bosque Coníferas de oyamel, ayarín y cedro
11	730.84	Agrícola a Pastizal
12	901.12	Bosque Coníferas de pino y táscate a Pastizal
13	2185.8	Agrícola a Asentamientos Humanos
14	109.16	Bosque Coníferas de pino y táscate a Urbano o construido
15	140.32	Pastizal a Asentamientos Humanos
16	285.84	Agrícola a Mina de arena

Fuente: Elaboración propia, 2024.

A partir del análisis de los datos obtenidos, se identificaron las transiciones de cobertura con mayor relevancia dentro del área de estudio. La transición con mayor superficie corresponde al cambio de pastizal a bosque de coníferas de pino y táscate, con un total de 4,518.6 hectáreas. Le siguen, en orden de importancia, las siguientes transiciones:

- De zona agrícola a asentamientos humanos, con 2,185.8 hectáreas,
- De zona agrícola a bosque de coníferas de pino y táscate, con 1,873.96 hectáreas,
- De pastizal a uso agrícola, con 1,590.48 hectáreas, y
- De pastizal a bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro, con 1,420.16 hectáreas.

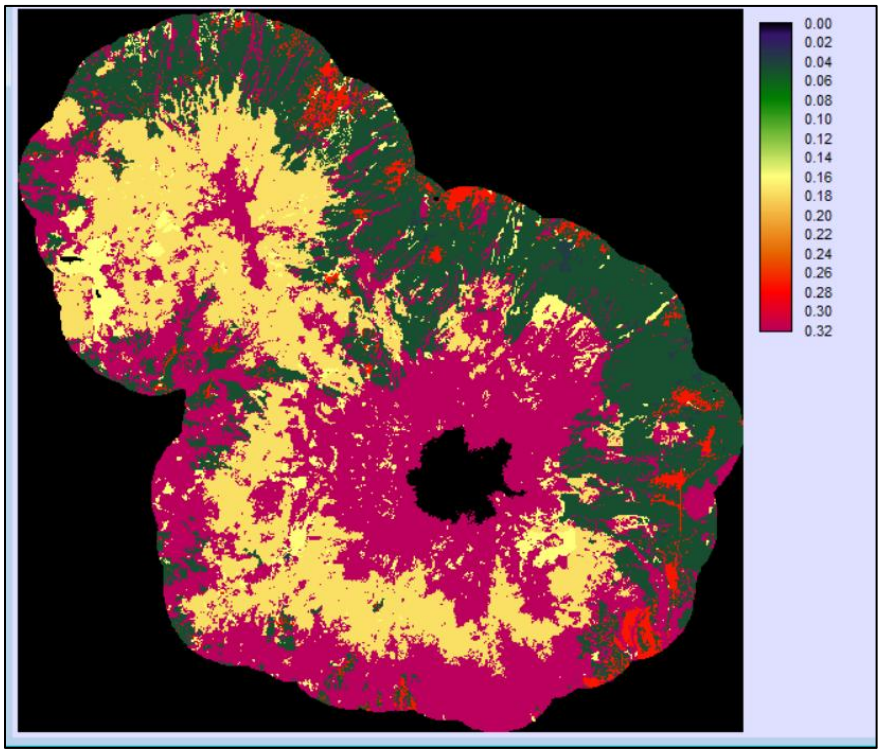
Estas cinco transiciones concentran aproximadamente el 71.8% de las dinámicas de cambio registradas, lo que evidencia su papel central en la transformación del paisaje durante el periodo analizado. Sin embargo, conforme a lo recomendado en la literatura especializada, para lograr una mayor precisión en el modelado de transiciones, se deben considerar las nueve transiciones más representativas. Estas se encuentran sombreadas en la Tabla 23 y, en conjunto, representan el 90.54% del total de las dinámicas de cambio observadas en el área de estudio.

Estos datos constituyen la base para el siguiente paso en el proceso, correspondiente al uso del submódulo de Transiciones Potenciales del software TerrSet 2020. Este submódulo permite seleccionar y modelar las transiciones más significativas, en función de la cobertura de interés y su relevancia dentro del contexto del estudio. En este caso particular, se eligieron las nueve transiciones con mayor superficie, dado que corresponden a las coberturas con mayor interacción en los procesos de cambio detectados.

Una vez seleccionadas las transiciones clave, el siguiente paso del proceso consiste en definir las variables explicativas que pueden influir en la probabilidad de ocurrencia de dichas transiciones. Entre las variables utilizadas se incluyen: modelo digital de elevación (MDE), distancia a caminos, distancia a localidades, proximidad a cuerpos de agua (ríos), pendiente y zonas previamente identificadas con alta probabilidad de cambio. Estas variables se ponderan según su influencia en el comportamiento de las transiciones y su importancia en la dinámica del paisaje.

Como resultado final de este procedimiento, se genera un mapa de transiciones potenciales futuras, en el cual se representan las áreas con mayor o menor probabilidad de cambio. Este mapa utiliza una escala de colores que va del rojo al negro, donde el color rojo indica las zonas más susceptibles al cambio o con mayor probabilidad de transformación, mientras que los tonos más oscuros (hasta negro) representan áreas con menor probabilidad de modificación. Este resultado puede visualizarse en la Figura 43, que proporciona una representación espacial clara y detallada del comportamiento proyectado de las transiciones en el territorio.

Figura 43. Mapa de transiciones potenciales dentro y fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2020



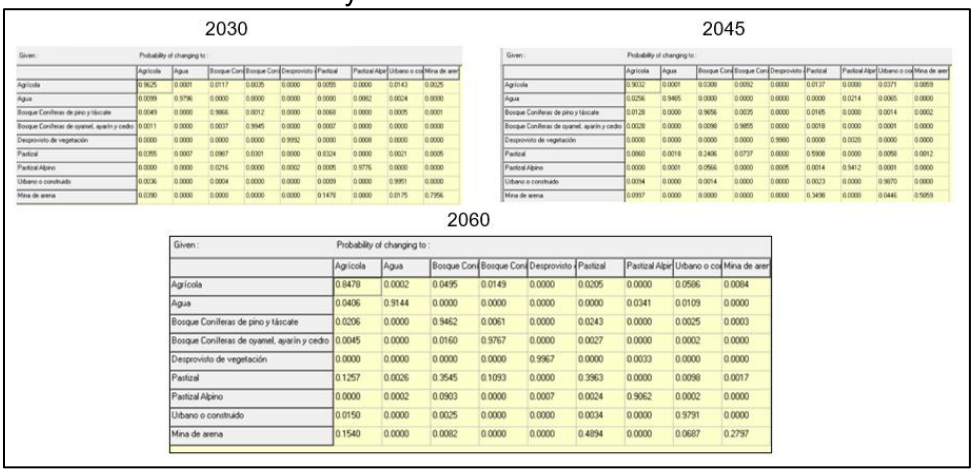
Fuente: Mapa de transiciones potenciales generado por el software TerrSet, con datos propios.

El mapa de transiciones potenciales proporciona una representación espacial de la probabilidad de cambio de cobertura del suelo, es decir, señala las áreas donde existe una mayor o menor posibilidad de que ocurra una transformación en el uso del suelo. Sin embargo, es importante aclarar que una alta probabilidad no implica necesariamente que el cambio ocurrirá con certeza. La manifestación real del cambio depende de múltiples factores, entre ellos, las dinámicas propias de cada cobertura, las condiciones del entorno y las presiones antrópicas o naturales que actúan sobre el territorio.

Para refinar y ajustar estas proyecciones, se recurre al uso de la matriz de Markov, una herramienta estadística que permite estimar la probabilidad de cambio de una cobertura hacia otra a lo largo del tiempo, basándose en los patrones de transición observados en periodos anteriores. Esta matriz proporciona una visión cuantitativa del comportamiento esperado de cada categoría de cobertura y puede ser calibrada con los datos empíricos obtenidos previamente durante el análisis de las transiciones más relevantes.

En este estudio, se generaron tres matrices de cambio, cada una correspondiente a un horizonte temporal distinto: 2030, 2045 y 2060. Estas matrices permiten proyectar la evolución del uso del suelo en distintos escenarios temporales, proporcionando una base sólida para la planificación ambiental, la toma de decisiones territoriales y el diseño de estrategias de conservación o mitigación. Las matrices resultantes se presentan en la Figura 44, donde se puede observar el comportamiento esperado de cada cobertura a lo largo del tiempo, en función de las probabilidades de cambio estimadas

Figura 44. Matrices de Márkov de los periodos del 2030, 2045 y 2060 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.



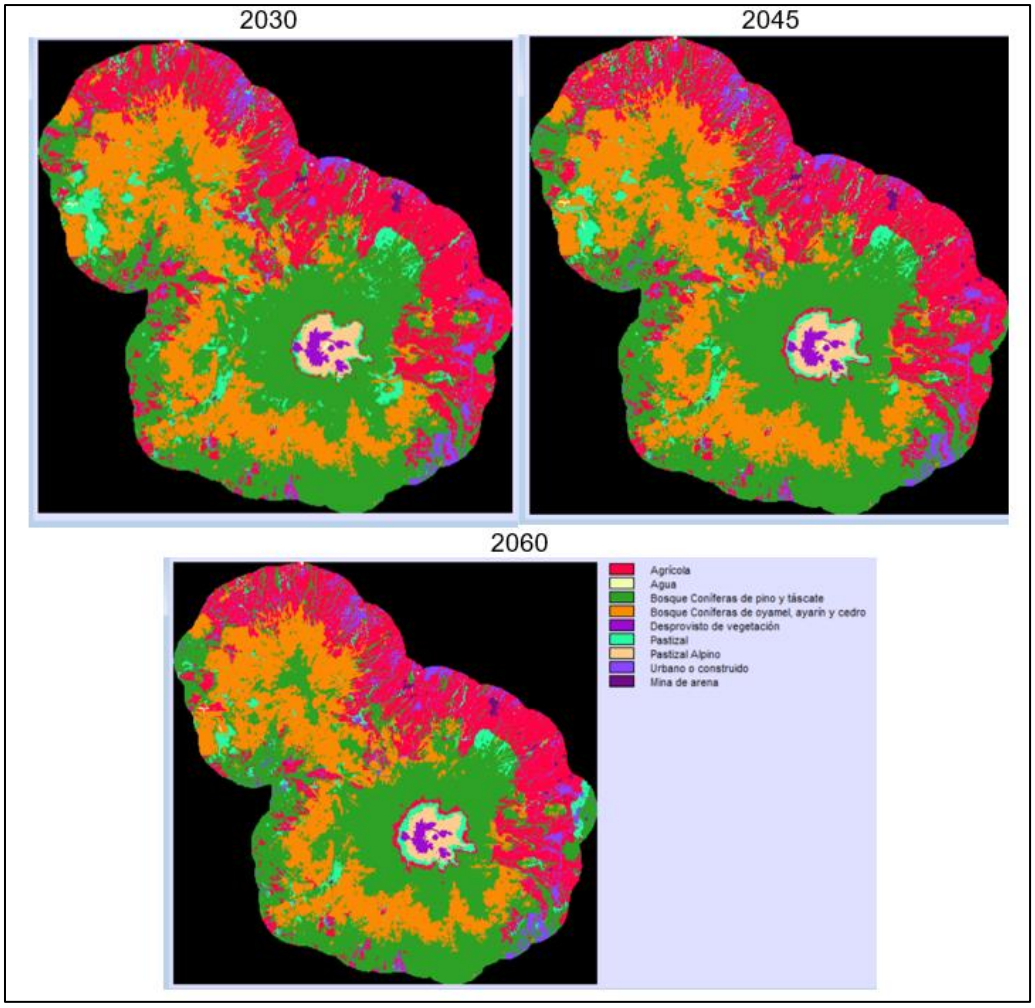
Fuente: Matrices de Márkov generado por el software TerrSet, ajustada con datos propios.

Las matrices de cambio de Márkov se integran con un conjunto de variables espaciales que pueden influir directamente en la proyección de cambios de uso del suelo. Estas variables actúan como condicionantes o facilitadores del cambio, y permiten refinar los resultados del modelo, aumentando su precisión y realismo. Entre los factores más comunes considerados en esta etapa se encuentran: la distancia a carreteras, la proximidad a zonas urbanas, la cercanía a áreas afectadas por plagas forestales, la susceptibilidad a incendios, la proximidad a cuerpos de agua (ríos), la pendiente del terreno, entre otros elementos físicos o antrópicos que inciden en la transformación del territorio.

En este punto del proceso, también es posible diferenciar entre capas dinámicas y estáticas, dependiendo de si las variables cambian en el tiempo o se mantienen constantes. Por ejemplo, si se sabe que una carretera tendrá un proceso de expansión o modificación en el futuro, esta capa puede ser incorporada como variable dinámica, lo que permitirá al modelo ajustar sus proyecciones con base en dicho crecimiento previsto. Esta flexibilidad permite adaptar el modelo a escenarios más realistas y coherentes con las tendencias observadas o proyectadas en el área de estudio.

Una vez definidas las variables y ajustadas las probabilidades de cambio mediante las matrices de Márkov, se procede a generar las proyecciones espaciales para los horizontes temporales establecidos. En este estudio se realizaron tres simulaciones correspondientes a los años 2030, 2045 y 2060, las cuales permiten visualizar la evolución esperada del paisaje bajo los supuestos modelados. Los resultados de estas proyecciones se presentan en la Figura 45, donde se muestran los posibles escenarios de distribución del uso y cobertura del suelo para cada uno de los años mencionados.

Figura 45. Mapas de las modelaciones, para los años 2030, 2045 y 2060 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.



Fuente: Mapas de predicción de cambios generado por el software TerrSet, con datos propios.

En este punto, es importante destacar que, según lo establecido en la literatura especializada, para realizar proyecciones confiables de cambio en el uso del suelo hacia el futuro, se recomienda contar con un periodo histórico de referencia equivalente en duración. Es decir, para proyectar con precisión un determinado número de años hacia adelante, se requiere disponer de una serie temporal de datos de igual longitud hacia atrás.

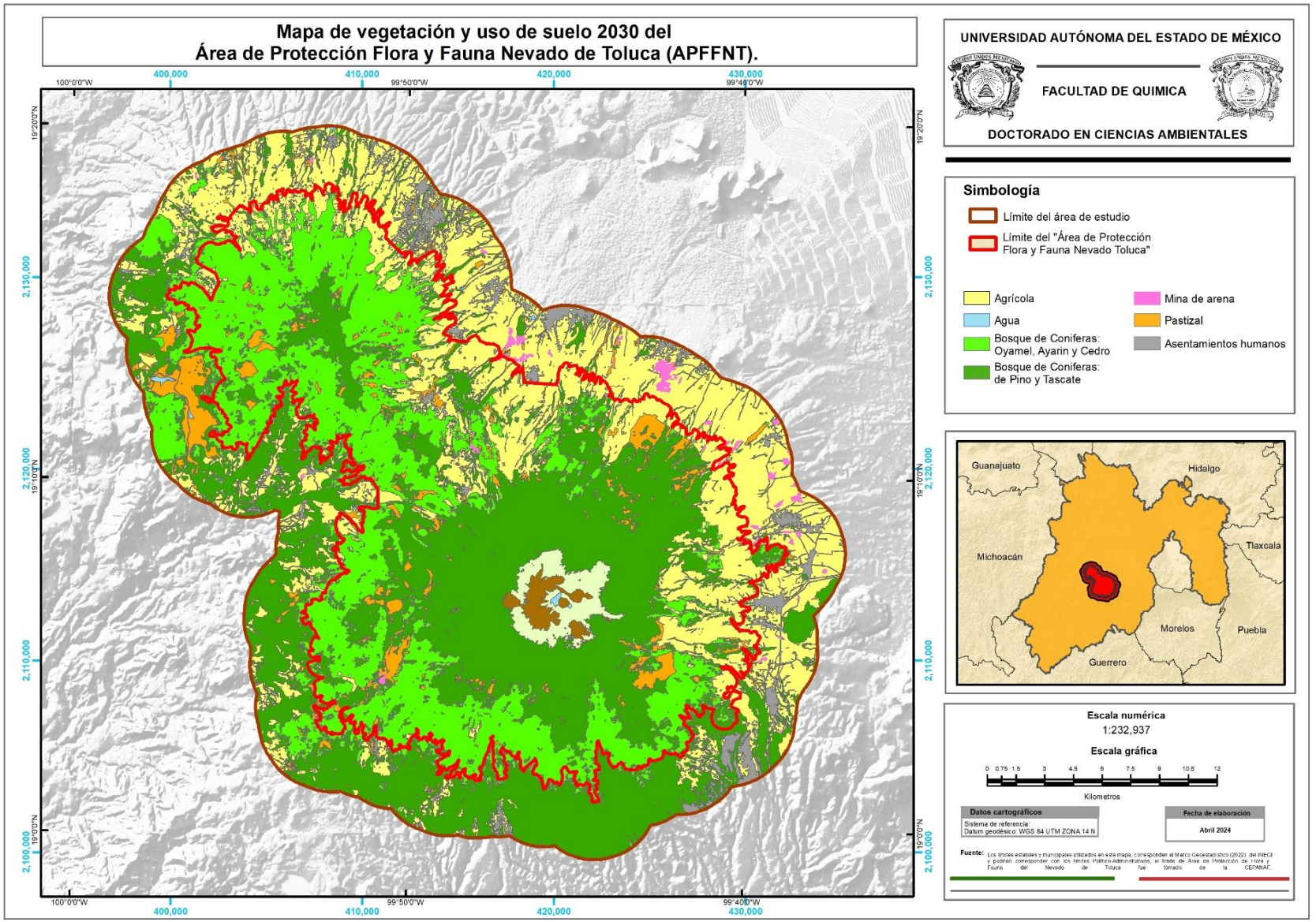
En el caso del presente estudio, se cuenta con un intervalo de análisis de 50 años, que abarca desde 1970 hasta 2020, lo cual proporciona una base sólida para realizar proyecciones hasta

aproximadamente el año 2070. No obstante, es fundamental tener en cuenta que, a medida que se proyecta más lejos en el tiempo, el modelo comienza a operar en los límites de sus parámetros de calibración, lo que implica un incremento en el nivel de incertidumbre. Por lo tanto, si bien es posible extender las simulaciones, la precisión y confiabilidad de los resultados disminuyen progresivamente conforme se alejan del periodo base de observación.

Una vez generados los mapas correspondientes a las proyecciones para los años 2030, 2045 y 2060, se procedió a realizar un análisis detallado de cada uno de ellos, evaluando su coherencia con los parámetros ecológicos, sociales y espaciales establecidos en el modelo. En esta etapa, el papel del analista es crucial, ya que debe valorar la validez de cada proyección, identificando cuáles de los escenarios resultan consistentes con la dinámica territorial observada y cuáles podrían considerarse menos viables o inadecuados debido a inconsistencias, limitaciones metodológicas o comportamientos atípicos en el modelo.

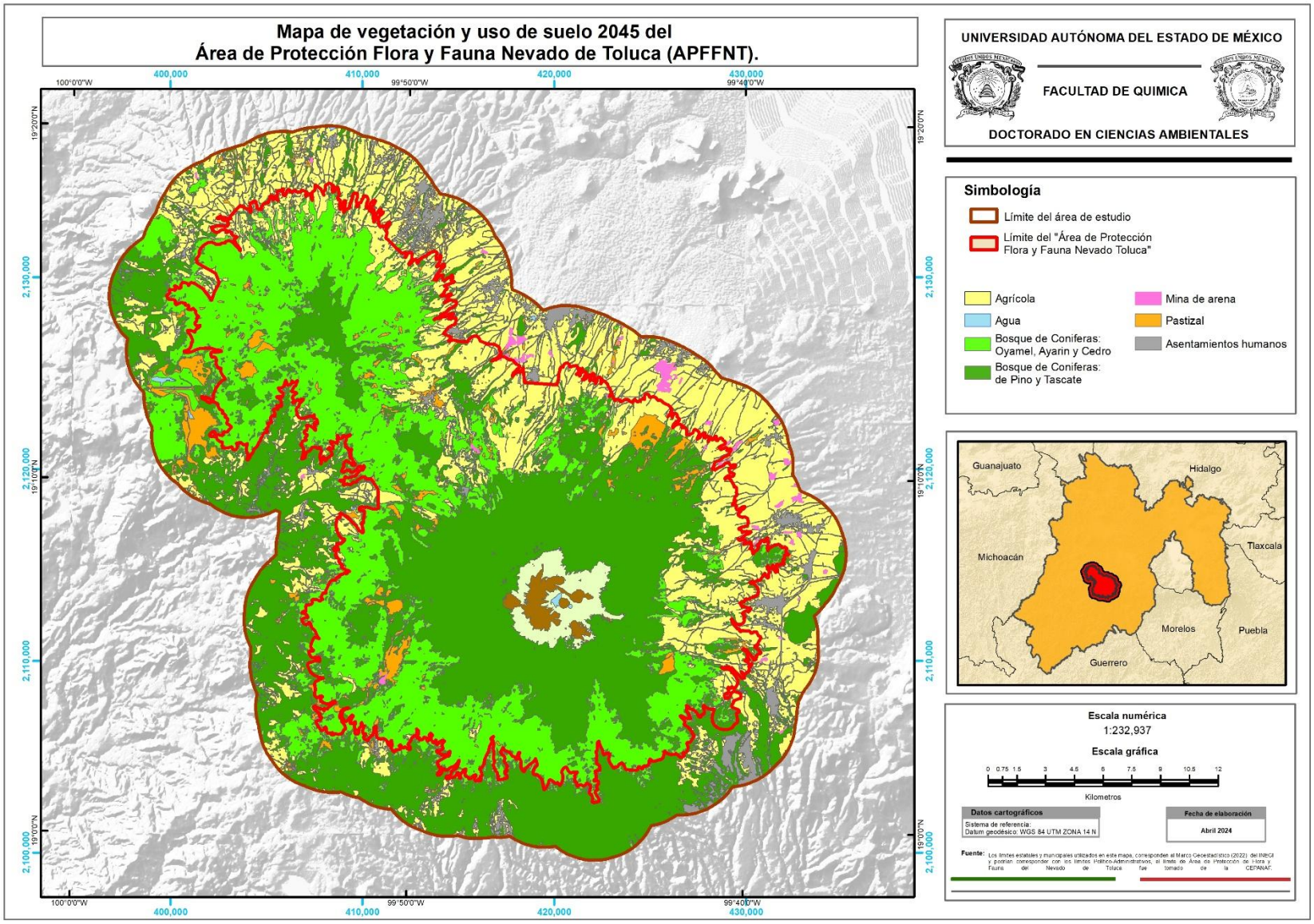
Como resultado de este proceso de validación, se seleccionaron y se ajustaron las tres proyecciones conforme a la coherencia de los daros antes analizados, esto se aplicó para los años 2030, 2045 y 2060, las cuales se presentan en las Figuras 46, 47 y 48, respectivamente. Estas proyecciones permiten visualizar de manera clara las posibles trayectorias del cambio en el uso y cobertura del suelo, y sirven como base para formular estrategias de planificación y manejo sostenible del territorio.

Figura 46. Mapa de vegetación y uso de suelo 2030 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



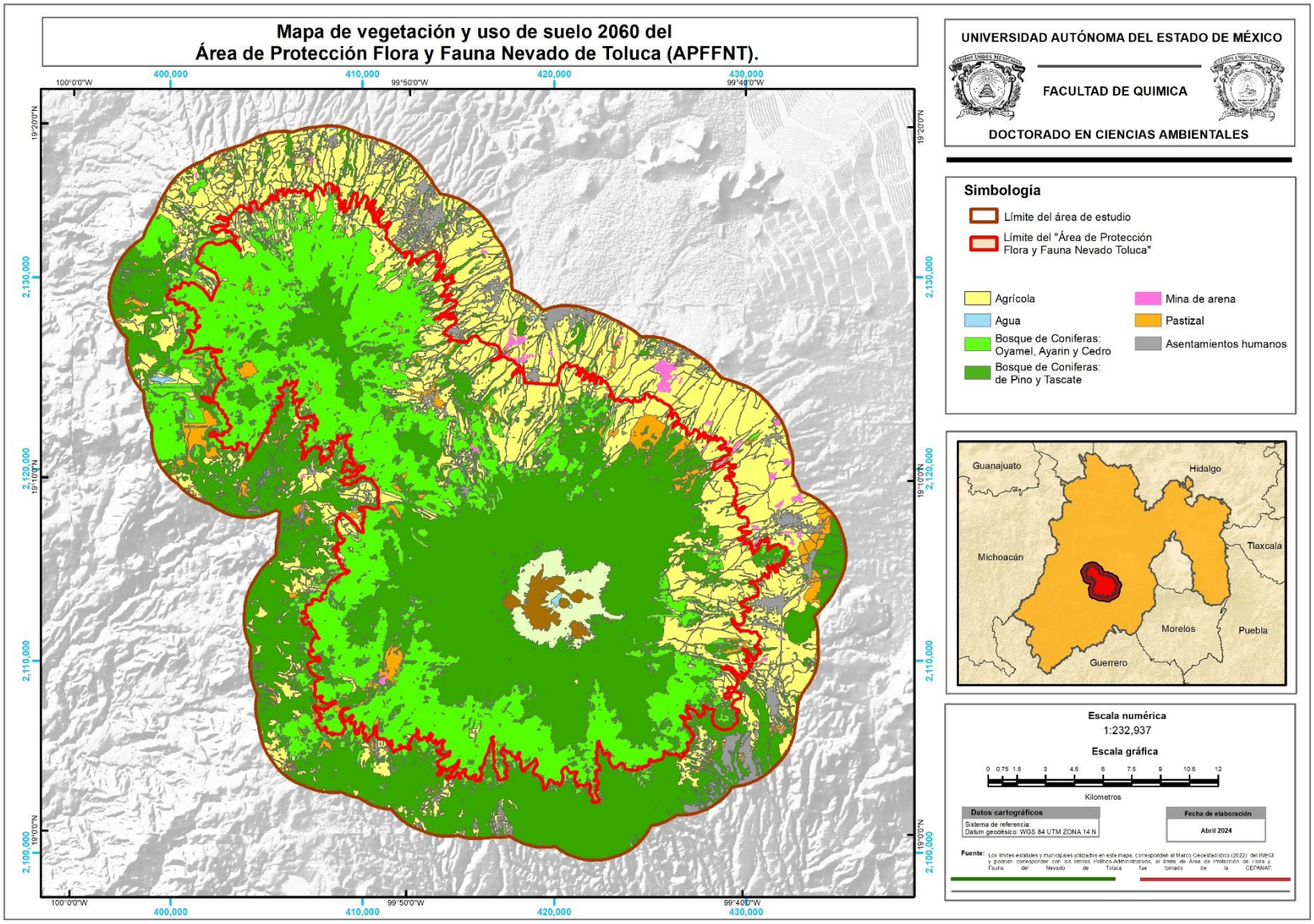
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 47. Mapa de vegetación y uso de suelo 2045 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 48. Mapa de vegetación y uso de suelo 2060 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



Fuente: Elaboración propia, 2024.

A partir de los mapas ajustados, se pudo obtener una descripción estadística detallada de la cobertura existente dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT), así como en su zona de influencia fuera de la misma durante cada uno de los períodos proyectados. Los resultados de este análisis se presentan en las Tablas 24 y 25, y ofrecen una visión clara de las tendencias esperadas para el futuro en cuanto al uso y la cobertura del suelo en la región.

Los datos obtenidos revelan algunos de los cambios más significativos que podrían ocurrir a lo largo del tiempo, como la reducción del área agrícola, que para el año 2060 podría disminuir en 850.13 hectáreas. Este descenso refleja una posible desaceleración en la expansión de actividades agrícolas, lo cual podría estar relacionado con factores como la presión por la urbanización o la conversión de tierras para otros usos.

El crecimiento de los bosques de coníferas, especialmente en las áreas dominadas por pino y táscate, que se expandirían en 1,605.55 hectáreas. Este aumento podría ser el resultado de políticas de conservación aplicada en años anteriores y a la menor intervención humana en ciertas zonas.

La disminución de las áreas de pastizal, que experimentaría una pérdida de 1,649.09 hectáreas para el mismo periodo. Esta reducción podría estar vinculada a un cambio en los patrones de uso de la tierra, como la conversión de pastizales en áreas agrícolas o la conversión a bosques.

Sin embargo, uno de los aspectos más reveladores es el notable aumento de asentamientos humanos dentro del APFFNT, que pasaría de 158.20 hectáreas en el presente a 632.50 hectáreas para el año 2060, lo que representa un crecimiento de 474.3 hectáreas. Este aumento refleja el crecimiento urbano y la expansión de las poblaciones en las áreas periféricas, lo cual podría tener impactos significativos en la ecología de la zona, como el incremento de la presión sobre los recursos naturales y la fragmentación del hábitat.

Estos hallazgos, que se detallan en la Tabla 24, proporcionan una base para comprender los posibles cambios en la cobertura y el uso del suelo dentro del APFFNT, y subrayan la importancia de implementar estrategias de manejo y conservación para mitigar los efectos negativos de estos cambios, particularmente en lo que respecta a la expansión de los asentamientos humanos.

Tabla 24. Cantidad de cobertura de uso de suelo en el Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2060

Cobertura	1970 APFFNT	2020 APFFNT	2030 APFFNT	2045 APFFNT	2060 APFFNT
Agrícola	9,094.50	8,840.39	8,721.16	8,348.42	7,990.26
Cuerpo de agua	25.84	25.28	25.20	25.20	25.20
Bosque de Coníferas: de Pino y Táscate	16,946.22	20,522.46	20,946.05	21,605.45	22,128.01
Bosque de Coníferas: Oyamel, Ayarín	18,009.33	19,388.40	19,507.77	19,656.49	19,804.95
Desprovisto de vegetación	589.07	587.91	588.05	587.99	587.94
Mina de arena	0.00	24.80	24.93	25.01	24.95
Pastizal	7,463.64	2,762.01	2,290.23	1,690.23	1,112.92
Pastizal alpino	1,451.98	1,280.43	1,281.73	1,285.09	1,283.15
Asentamientos humanos	9.28	158.20	204.76	366.01	632.50
Total general ha.	**53,589.88**	**53,589.88**	**53,589.88**	**53,589.88**	**53,589.88**

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En lo que respecta a la zona de influencia situada a 3 kilómetros fuera del área de protección, se observa una tendencia que refleja patrones similares a los registrados dentro del área del APFFNT, aunque con algunas diferencias en términos de magnitud y tipo de cambio. Uno de los cambios más destacados es la disminución de la cobertura agrícola, que se proyecta en 2,276.05 hectáreas para el año 2060, ver Tabla 25. Esta reducción podría estar relacionada con varios factores, como una posible transformación en los usos de la tierra, la presión de la urbanización o un cambio en las políticas agrícolas que favorezca otros usos del suelo.

En paralelo, se espera un aumento moderado en la cobertura de bosques de pino, que podría incrementarse en alrededor de 1,500 hectáreas, lo que sugiere una expansión, aunque no tan pronunciada como la observada dentro del área protegida. Este crecimiento podría estar relacionado con procesos naturales de regeneración de vegetación o con esfuerzos de reforestación y conservación en las zonas periféricas.

Por otro lado, la cobertura de pastizales también muestra una tendencia de disminución, proyectándose una pérdida de aproximadamente 500 hectáreas. Este descenso podría atribuirse a un proceso de conversión de pastizales a usos más intensivos, como la agricultura o la urbanización, o bien a la competencia con otras coberturas vegetales como los bosques.

Lo más significativo, sin embargo, es la tendencia creciente de los asentamientos humanos en esta zona de influencia, que muestra un aumento gradual pero sostenido en el tiempo. Este fenómeno puede estar vinculado al crecimiento poblacional, la expansión de las áreas urbanas o el desarrollo de infraestructuras que impulsan la migración hacia estas áreas cercanas al APFFNT. Este crecimiento urbano plantea desafíos importantes en términos de gestión territorial, ya que podría generar una mayor presión sobre los recursos naturales y afectar la biodiversidad de las zonas adyacentes al área protegida.

Tabla 25. Cantidad de cobertura de uso de suelo fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca del período de 1970-2060

Cobertura	1970 solo 3K	2020 solo 3K	2030 solo 3K	2045 solo 3K	2060 solo 3K
Agrícola	20,104.19	17,262.26	16,646.66	15,825.27	14,986.21
Cuerpo de agua	9.64	48.64	48.36	48.31	48.23
Bosque de Coníferas: de Pino y Táscate	13,906.61	15,231.16	15,538.39	16,041.70	16,532.00
Bosque de Coníferas: Oyamel, Ayarín	3,033.81	3,243.17	3,381.86	3,584.67	3,751.95
Mina de arena	67.24	305.04	304.47	304.64	304.69
Pastizal	3,159.85	1,898.14	1,721.51	1,447.54	1,329.63
Asentamientos humanos	221.28	2,514.21	2,861.36	3,250.48	3,549.91
Total general ha.	**40,502.62**	**40,502.62**	**40,502.62**	**40,502.62**	**40,502.62**

Fuente: Elaboración propia, 2024

4.4 Propuesta de conservación

El cambio de uso del suelo es un fenómeno geográfico que tiene diversidad y heterogeneidad en los procesos de pérdida y ganancia de coberturas las cuales debe ser analizadas detalladamente, debido a sus efectos diferenciales sobre el ambiente. La mayor degradación ambiental se alcanza cuando la magnitud de los daños sobrepasa la capacidad de los mecanismos naturales del ambiente (resistencia y resiliencia, o capacidad de recuperarse después de sufrir daños) para regenerar las estructuras y procesos ecológicos que favorecen la permanencia del potencial natural y de los servicios ambientales asociados a los ecosistemas.

En la actualidad el Nevado de Toluca es un bosque debilitado, fragmentado, susceptible a enfermedades y plagas, que forman parte del panorama actual de los bosques que lo integran, lo que refleja la fragilidad de esta zona la cual tiene la capacidad de recuperar su estabilidad.

La deforestación y otros cambios negativos que existen en la zona no solo tienen implicaciones en la cantidad de recursos existentes en la zona, sino un cambio en su arreglo espacial del paisaje. En este sentido, la principal consecuencia de la deforestación es la fragmentación, la cual se caracteriza por una disminución en la superficie del área restante.

Al analizar el uso de suelo permite ayudar a entender las causas y consecuencias de los cambios de uso del suelo. Por lo que se ha observado y analizando los datos generados se detectan dos causas principales dentro y fuera del Área de Protección, las cuales se clasificaron en directas e indirectas.

En las causas directas se observa la expansión agrícola de forma moderada, así como la extracción forestal, el turismo no sustentable, las plagas, incendios y el incremento en infraestructuras dentro de la zona.

Como causas indirectas son las que se presentan dentro y fuera del área de protección y se presentan en escalas más amplias. En este sentido, existen diferentes factores relevantes, como el crecimiento demográfico, los procesos de urbanización a causa de la demanda de zonas habitacionales, los manejos agropecuarios no controlados, un manejo forestal deficiente, así como malos manejos de las políticas rurales, así como el aspecto cultural el cual se guía por sus usos y costumbres.

La mayoría de estas causas se centran en la demanda de la tierra por parte de una población que crece de manera exponencial, también el desarrollo de tecnologías la cual otorgan a la sociedad humana la capacidad de ocupar lugares cada vez de más difícil acceso, afectando la dinámica ambiental del lugar.

Esta situación se agrava al considerar la falta de regulación del uso de suelo, esto a través de las zonificaciones, planes de desarrollo, control de la propiedad, esto se replica en muchas partes, dando como consecuencia un uso inadecuado de los recursos forestales

La magnitud de estos daños ha llevado a que la conservación sea un instrumento indispensable, tanto a nivel local como mundial, aquí es donde la participación del ser humano es fundamental, ya que debe integrarse al sistema de conservación ambiental.

Al analizar la dinámica espacial dentro y fuera del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT), se hace evidente la importancia de implementar propuestas de manejo adecuadas y orientadas a la conservación. Entre estas destacan la reforestación, el manejo

forestal sostenible, la participación comunitaria, la educación ambiental, el control de la expansión urbana y agrícola, el monitoreo y la vigilancia ambiental, el impulso a políticas públicas con mecanismos de financiamiento, así como el desarrollo de alternativas productivas sostenibles.

Estas acciones deben integrarse de manera coherente y participativa, con una colaboración efectiva entre las autoridades gubernamentales y las comunidades locales. Solo así será posible lograr la restauración y expansión de las zonas forestales tanto dentro como en los alrededores del área natural protegida.

4.4.1 Propuesta para revertir el proceso de disminución forestal en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

La propuesta que se aborda tiene como objetivo mejorar la gestión del suelo de conservación para avanzar hacia el desarrollo integral, de los ecosistemas de la zona, con el objetivo puntual de revertir o mitigar procesos de pérdida forestal y generar servicios ecosistémicos.

Se plantea una gestión integral de todo el suelo de conservación, con objetivos precisos, para lograr revertir las tendencias de pérdida, deterioro y fragmentación de bosques. Este planteamiento tiene un enfoque territorial, con el fin de preservar los bosques y su amplitud de estos. La propuesta se basa en la cobertura forestal, principalmente en la conservación por medio de funciones ecosistémicas.

No obstante, hay que tomar en cuenta las diversas políticas, instrumentos y programas gubernamentales que se han aplicado en la zona, los bosques existentes tienen múltiples síntomas desde enfermedades o plagas que ha invadido el bosque, así como su deterioro por factores exógenos, eso sin olvidar la disminución progresiva del vigor del arbolado, hasta la deforestación en ciertas áreas.

La tendencia según el comportamiento simulado indica un aumento en la masa forestal, siempre y cuando se mantengan las medidas de conservación implementadas hace varias décadas, las cuales han dado frutos en los últimos 20 años. Sin embargo, preocupa el crecimiento de los asentamientos humanos, que va en aumento y podría afectar significativamente esta tendencia. Si continúa el avance urbano, la masa forestal podría entrar en un proceso de pérdida de cobertura.

En el periodo de 2000 al 2020, es donde las masas forestales han disminuido en el transcurso de los años, aunque no de manera drástica, pero sí de manera paulatina. La tendencia más importante de deforestación se da con el proceso de urbanización y los procesos antrópicos, los cuales han contribuido a la perdida continua de bosques, observando un deterioro considerable.

En primera instancia realizar una **recategorización** de los usos de suelo conforme al uso actual de la zona poniendo límites en su ocupación, para así tener una mejor utilización del territorio, todo esto desde una perspectiva de sustentabilidad.

Después realizar una **gestión** que comprometa a todos los habitantes de área de protección a que participen en la conservación, por medio de programas que los incentiven como lo es el manejo turístico controlado, así como el pago de servicios ambientales por conservar sus zonas, para así privilegiar la sustentabilidad de los recursos naturales existentes.

De esta manera se estará logrando un equilibrio y se dará un paso hacia la gestión integral del territorio, con el fin de generar conciencia en los propios habitantes de la zona para que lo conserven y tengan privilegios económicos por conservar sus zonas boscosas.

Resulta fundamental perfilar las acciones para minimizar el deterioro ambiental y la presión antrópica que esta ejerce dentro y fuera del área natural protegida. Este proceso no solo requiere de la articulación entre distintos niveles de gobierno y actores sociales, sino también del diseño de estrategias integrales que reconozcan la complejidad ecológica, social y económica del territorio. Todo esto con el fin de generar escenarios deseados, sostenibles y que sean viables a largo plazo.

En este sentido, el objetivo central consiste en atender y contener los principales factores que han contribuido al deterioro de los recursos naturales en la región, tales como la deforestación, el cambio de uso de suelo y la expansión urbana desordenada. Estas problemáticas no solo han generado impactos ambientales negativos significativos, sino que también han limitado las posibilidades de desarrollo sostenible para las comunidades locales. Dentro de estas acciones resalta:

- Establecer un rumbo común implica priorizar acciones de conservación, restauración y uso racional de los recursos, así como impulsar procesos participativos que fortalezcan la **corresponsabilidad social en el manejo del territorio**. Esto mediante una visión compartida, basada en principios de sustentabilidad, equidad y resiliencia.

- Es indispensable idear, diseñar y concretar mecanismos **institucionales eficaces** que posibiliten la articulación y consolidación de una red de tomadores de decisiones y actores estratégicos con ayuda de las instituciones de ámbito público, privado, social y académico. Esta red deberá funcionar como una instancia de diálogo, concertación y negociación permanente, orientada a la construcción colectiva de políticas públicas integrales, inclusivas y contextualizadas.

- La conformación de una **gobernanza colaborativa,** esto permitirá fortalecer la coordinación interinstitucional, facilitar la implementación de estrategias territoriales y garantizar la participación de los distintos sectores involucrados en la gestión del territorio y de los recursos naturales. Asimismo, brindará legitimidad a los procesos de toma de decisiones y contribuirá a la generación de consensos en torno a objetivos comunes de desarrollo sostenible.

Paralelamente, es necesario contar con un conjunto sólido y coherente de instrumentos de política pública que respalden y viabilicen las acciones propuestas. Estos instrumentos deben ser técnicamente robustos, jurídicamente vinculantes cuando corresponda, y adaptables a las particularidades del contexto local. Entre ellos pueden incluirse programas sectoriales, ordenamientos ecológicos, planes de manejo, esquemas de incentivos, mecanismos de financiamiento, y marcos normativos que fomenten la corresponsabilidad y aseguren la continuidad de las acciones a mediano y largo plazo.

En suma, tanto la construcción de mecanismos institucionales de gobernanza como el diseño de instrumentos de política eficaces resultan pilares fundamentales para consolidar una gestión territorial sustentable, participativa y resiliente.

Los enfoques se plantean se refieren a la gestión territorial de la conservación del suelo y no se acotan a un enfoque limitado de conservación de las áreas de mayor valor ambiental y de conectores biológicos entre masas forestales.

Por lo que generar acciones derivadas no a la prohibición, si no utilización adecuada de los recursos forestales con estos objetivos estratégicos:

1. Integrar la perspectiva ambiental en las actividades agropecuarias, concibiéndolas como una práctica integral que no solo busca maximizar la productividad, sino también generar y conservar servicios ecosistémicos esenciales para el equilibrio territorial y el bienestar colectivo.

2. Preservar y fortalecer la capacidad productiva del capital natural, atendiendo simultáneamente los enfoques agronómico, económico y ambiental, con el fin de garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

3. Promover la revalorización social del territorio, a partir del reconocimiento de los servicios ecosistémicos que presta, fortaleciendo el sentido de corresponsabilidad ciudadana y gubernamental en su conservación y uso racional.

4. Impulsar una visión ampliada de la conservación, que no se limite a la protección estricta, sino que incorpore el uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales como una vía legítima y necesaria para el desarrollo local sostenible.

5. Consolidar mecanismos de incentivos eficaces, estables y de largo plazo, orientados al uso sustentable del capital natural y, en particular, a la conservación activa de ecosistemas estratégicos.

6. Reconocer y compensar a los propietarios y poseedores de recursos naturales estratégicos, en función de los beneficios ambientales que generan para la sociedad, mediante esquemas transparentes y equitativos de pago por servicios ambientales u otros instrumentos financieros innovadores.

7. Fomentar la inclusión social en las políticas de manejo territorial, mediante instrumentos específicos que permitan incorporar a otros sectores de la población regional, en especial a grupos tradicionalmente marginados o con menor capacidad de organización.

8. Adoptar un enfoque de integración territorial, que promueva una planificación articulada del suelo urbano y rural, reconociendo sus interdependencias y potenciando sus funciones complementarias para un desarrollo territorial equilibrado.

Se plantea que la gestión de la protección de los recursos no puede ser resueltos exclusivamente por el gobierno, sino que requieren de la participación de todos los actores relevantes involucrados. Por esta razón, las propuestas se basan en la construcción de gobernanza, en donde el estado figure como facilitador de recursos y coordinador de las distintas actividades relacionadas a la gestión de los recursos, todo esto con el apoyo de la participación de la sociedad.

En un ámbito descentralizado, participativo y flexible, deben propiciarse sinergias entre los actores y deben crearse instancias de participación. El Gobierno debe fungir como un agente

inductor, con una visión de conjunto, para que las iniciativas vayan siendo coherentes con un proyecto más amplio de cohesión social y territorial.

Como parte de la propuesta resulta importante involucrar a diversas organizaciones privadas en este territorio. Estas, junto con autoridades locales y funcionarios públicos pueden participar de diversas formas en la identificación de los asuntos y problemas de interés, así como en la decisión de los objetivos y actividades que influyan en Área de conservación. Estas deben ser enfocadas a los siguientes puntos:

Conservación y mejoramiento de los ecosistemas: los ecosistemas ofrecen una variedad de servicios estratégicos fundamentales para el bienestar humano y el equilibrio ambiental. Estos servicios pueden analizarse desde dos perspectivas: por un lado, los beneficios tangibles e intangibles que se perciben cuando los ecosistemas se encuentran en buen estado de conservación; por otro, los efectos adversos derivados de su deterioro, especialmente en relación con las amenazas y riesgos naturales que afectan a las poblaciones más vulnerables. Es importante señalar que la degradación progresiva de los ecosistemas puede intensificar fenómenos naturales como inundaciones, deslaves, sequías o incendios forestales, incrementando su frecuencia y severidad, y con ello, la exposición al riesgo de comunidades asentadas en zonas de alta fragilidad ambiental.

Captación, infiltración, purificación y almacenamiento de agua: el suelo de conservación posee un valor estratégico incalculable debido a su papel en la captación, infiltración, purificación y almacenamiento del agua. Su capacidad de recarga hídrica es esencial para el mantenimiento de los mantos acuíferos que abastecen a múltiples municipios. La presencia de cubierta vegetal, especialmente en bosques y zonas forestales, favorece los procesos naturales de infiltración y permite la retención eficiente del agua de lluvia, asegurando la sostenibilidad del recurso hídrico y la protección frente a fenómenos de escasez.

Captura de carbono: la captura de carbono representa un servicio ecosistémico de alcance global, considerado una de las principales medidas de mitigación frente al cambio climático. Este servicio se define como la capacidad de extraer y almacenar carbono atmosférico en sumideros naturales (como los bosques y suelos), mediante procesos físicos y biológicos, especialmente la fotosíntesis. La conservación de áreas forestales y vegetación nativa es, por tanto, fundamental para reducir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y contribuir al cumplimiento de compromisos ambientales internacionales.

Estabilización de suelos: la cubierta vegetal desempeña un papel crucial en la estabilización del suelo, actuando como barrera natural contra la erosión y regulando los ciclos hidrológicos. Además, reduce significativamente la dispersión de partículas suspendidas y la formación de tolvaneras, lo que repercute positivamente en la calidad del aire y en la salud ambiental del territorio. Su mantenimiento es esencial para evitar la degradación de la estructura del suelo y preservar su fertilidad.

Prevención del deterioro de los ecosistemas: los suelos de conservación también brindan servicios ecológicos cuyos beneficios solo se hacen evidentes con el paso del tiempo. Entre ellos se encuentran la prevención de hundimientos, inundaciones, erosión severa y otros procesos de degradación ambiental que afectan la funcionalidad del paisaje. Estos servicios "invisibles" son esenciales para la estabilidad ecológica, y su pérdida puede desencadenar consecuencias irreversibles tanto para los ecosistemas como para las comunidades humanas.

Estas acciones, integradas en un plan de manejo adecuado y con la participación de los actores involucrados, así como con el compromiso compartido de la población, pueden generar sinergias efectivas en materia de conservación. Por ello, es fundamental promover estudios que se vinculen directamente con los objetivos de conservación, ya que permiten identificar problemáticas clave que, al ser analizadas y abordadas de manera intersectorial, pueden contribuir al logro de un desarrollo sostenible.

4.5 Visualización de resultados web como herramienta para la toma de decisiones

Como parte final del trabajo se generó una página web con los principales resultados del estudio, con el fin darle divulgación al estudio. Esto con el fin que el trabajo no quede como uno más de los trabajos archivados, si no que sirva de ejemplo de lo que se puede hacer con toda la información generada. En este contexto el estudio se trató de sintetizar de manera objetiva, por lo que la información presentada en esta página web, trato ser clara y objetiva.

La página web tiene como nombre **www.visualizadorforestal.com** (ver Figura 49) la cual se programó en un ambiente html5, con librerías de Bootstrap y la plataforma OpenLayers, esta última sirve para visualizar las cartografías en línea, teniendo como fondo la visualización de los servidores de imágenes satelitales de varios distribuidores de estas, como lo es Google Maps, Bing y OpenStreetMap,

Figura 49. Página web del proyecto www.visualizadorforestal.com



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Esta página tiene los siguientes apartados:

Inicio: donde tiene los antecedentes del APFFNT (ver Figura 50).

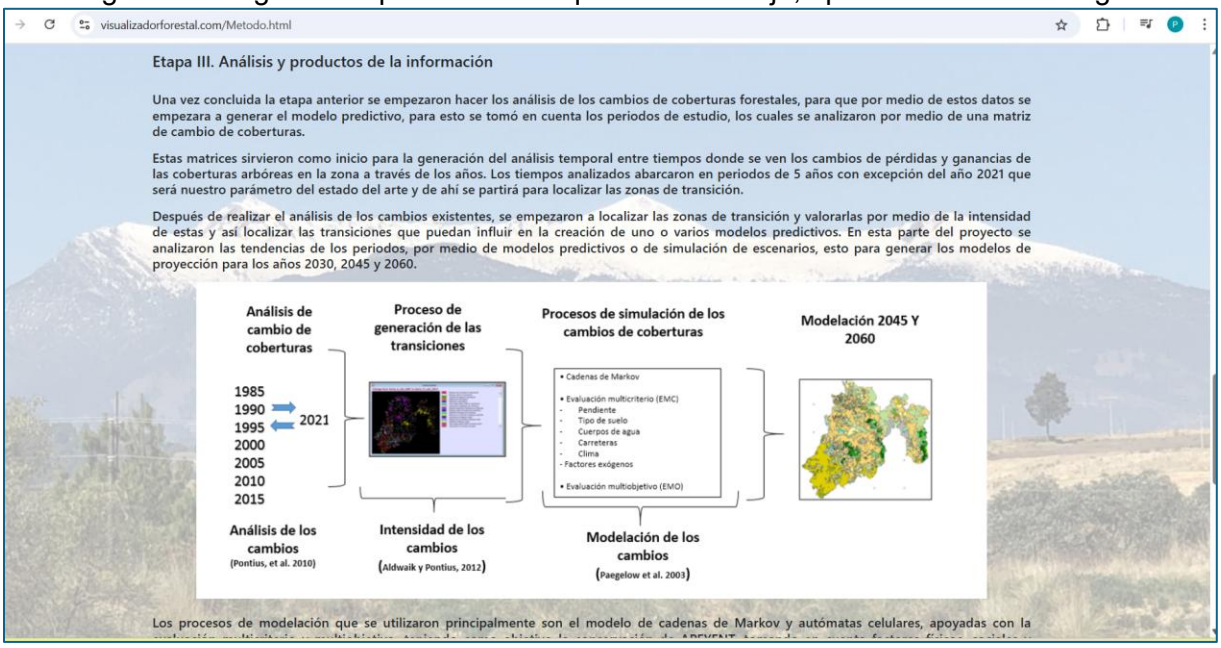
Figura 50. Página web pantalla de inicio



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Esquema de trabajo: la cual tiene dos apartados, el primero es "**Descripción"**, donde se hace un breve resumen de lo que trata el trabajo, el segundo es la **"Metodología"** la cual muestra las faces en la cual se generó el trabajo, ver Figura 51.

Figura 51. Página web pantalla de Esquema de trabajo, apartado de Metodología.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Características físico-geográficas del APFFNT: esta contine 5 apartados en donde se describen las principales características físicas del APFFNT en los siguientes apartados: **Relieve, Hidrología, Edafología, Clima y Uso de suelo INEGI,** ver Figura 52.

Figura 52. Página web pantalla de Características físico-geográficas del APFFNT, apartado de Relieve.

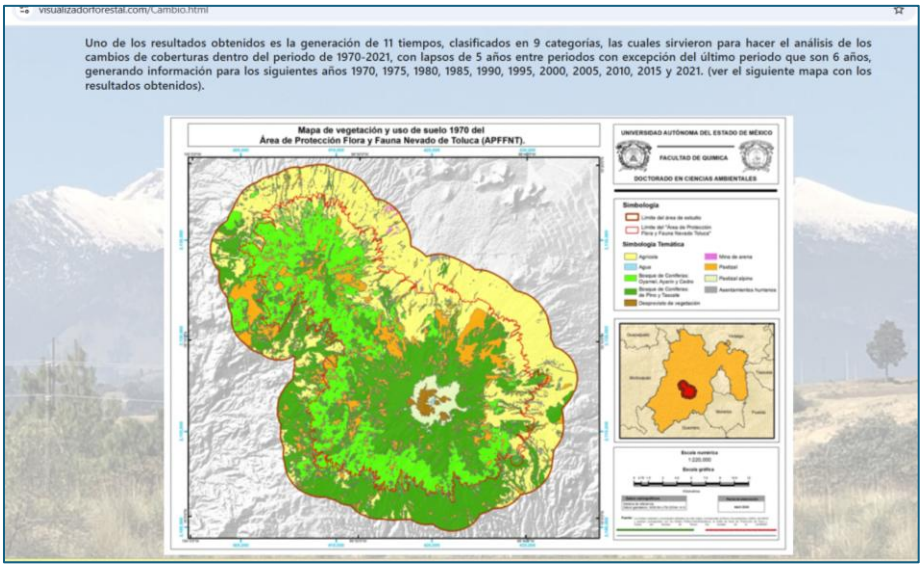


Fuente: Elaboración propia, 2024.

Resultados: es este apartado también contiene 5 apartados los cuales se menciona a continuación:

- **Detalles del proyecto:** Aquí se hace una pequeña descripción del proyecto.
- **Cambio de vegetación y uso de suelo:** Aquí se menciona una descripción de los cambios de vegetación y usos de suelo del área de estudio. (Ver Figura 53)
- **Modelación:** Se muestran los principales resultados de la modelación generada de los tiempos 2030, 2045 y 2060.
- **Análisis de información:** Se hace un análisis de todos los datos obtenidos.
- **Propuesta de conservación para la zona:** Aquí se menciona algunas propuestas que pueden ayudar a la mejora de la conservación del ANP.

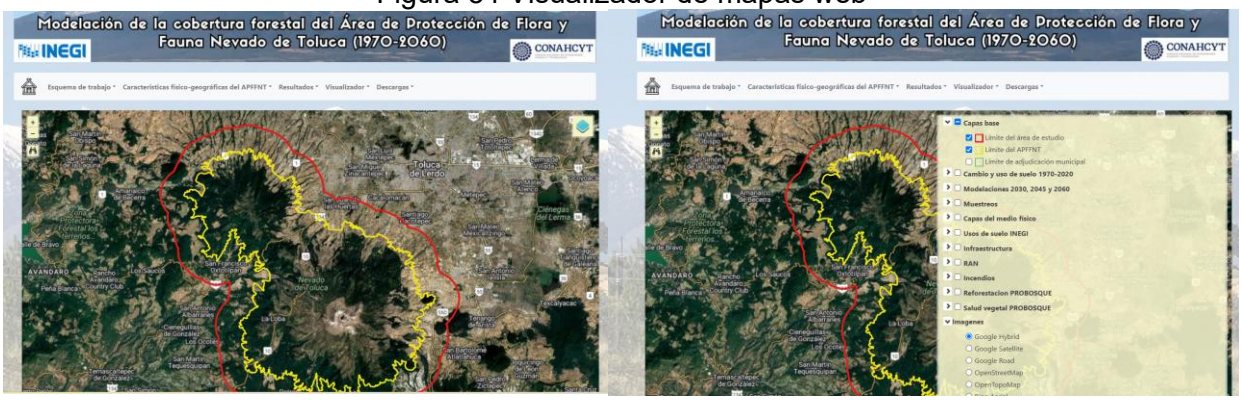
Figura 53. Página web pantalla de Resultados, apartado de Cambio de vegetación y uso de suelo.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

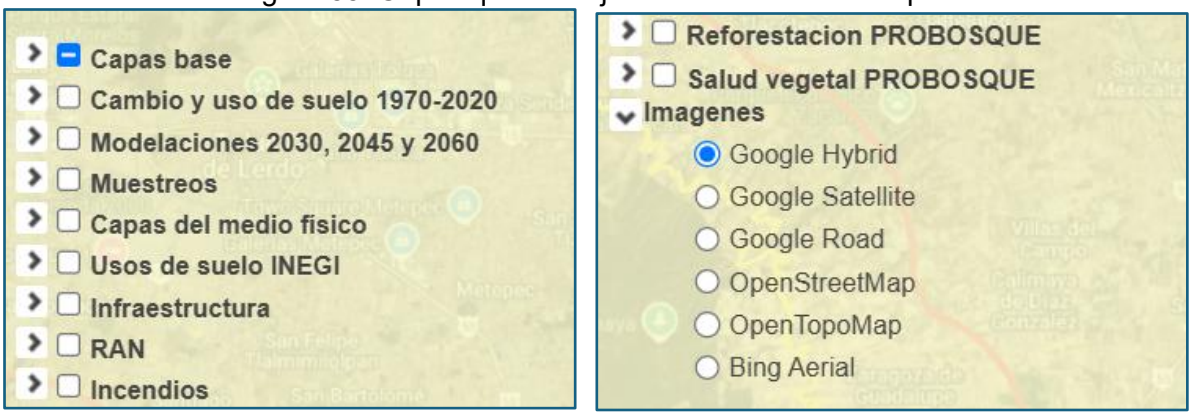
Visualizador: En este apartado tiene dos funciones una para ver la página en forma de ventana minimizada y otro donde se puede ver maximizada la ventana de visualización. Estas son las capas con las que cuenta, ver Figura 54 y 55.

Figura 54 Visualizador de mapas web



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 55. Capas que maneja el visualizador de mapas



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Descargas: En este apartado se pueden descargas la información principal del APFFNT, que está disponible gratuitamente en varias páginas web, está en diferentes formatos como lo es KMZ y PDF, tratando de incluir los datos más relevantes del proyecto para su reutilización en distintos contextos (ver Figura 56).

El propósito del visualizador es ampliar la difusión de la información, facilitar su consulta por parte de instituciones, tomadores de decisiones, investigadores y público interesado, y promover su uso como insumo en procesos de planificación, manejo y conservación del territorio.

Figura 56. Página web pantalla de descargas.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Cabe hacer mención que la información obtenida para esta página fue obtenida de los insumos del INEGI, con el cual se realizó una colaboración y forma parte de la integración de esta página, así como la mención del Programa de Ciencias Ambientales de la Facultad de Química de la UAEMEX y el CONAHCYT, los cuales me brindaron las facilidades para generar este estudio.

4.6 Discusión teórico-empírica

El análisis multitemporal de cobertura y uso del suelo en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) y su zona de influencia (3 km) entre 1970 y 2021, incluyendo una proyección hasta 2060, constituye una investigación única por su amplitud temporal (55 intervalos) y su capacidad de detección de procesos complejos (Acosta Mireles et al., 2017; Camacho Sanabria et al., 2015).

Este trabajo confirma la importancia de integrar marcos teóricos robustos con herramientas empíricas precisas, como la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG), esto con el fin de integrar y entender las dinámicas socioecológicas en territorios protegidos.

En este sentido, los principios del desarrollo sustentable están planteados conforme a la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, CMMAD (1987) y retomados por la SEMARNAT (2024) constituyen el eje normativo y filosófico de este trabajo, orientando la interpretación de los resultados hacia la conservación ambiental y equidad de responsabilidades.

La clasificación de las coberturas del suelo utilizada en el presente estudio se basó principalmente en el esquema propuesto por Miranda y Hernández (1963), el cual sirvió como marco conceptual inicial para distinguir las distintas formaciones vegetales. Esta base metodológica fue enriquecida con la información actualizada proveniente de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023), lo que permitió integrar criterios modernos de análisis espacial y temático. La combinación de ambos referentes facilitó la construcción de una tipología precisa y coherente. Esta clasificación resultó fundamental para

comprender la distribución espacial de los distintos tipos de vegetación y usos del suelo, y proporcionó una base sólida para el análisis ecológico y territorial del área en estudio.

A nivel teórico, autores como Bocco, Mendoza y Masera (2001) proponen metodologías para analizar los procesos de deforestación con base en factores socioeconómicos y ecológicos. Su propuesta es retomada en este estudio al incorporar factores físicos y sociales en la construcción de las matrices de cambio. Los resultados obtenidos como el crecimiento del bosque de coníferas entre 1970 y 2000, seguido de una disminución significativa en los últimos 20 años, valida empíricamente la hipótesis de que los cambios en el uso del suelo no son únicamente producto de fenómenos naturales, sino resultado de presiones sociales como el cambio de uso de suelo hacia la agricultura y el crecimiento urbano.

Los trabajos de Pontius et al. (2004), y Eastman (2003) ofrecen fundamentos metodológicos sólidos para analizar, cuantificar y proyectar cambios de cobertura del suelo. La inclusión de variables como pendiente, accesibilidad vial y proximidad a cuerpos de agua permite modelar de forma más realista los escenarios futuros y delimitar zonas críticas de transformación.

La aplicación de esta metodología permitió visualizar el avance urbano, la pérdida de pastizales, y la expansión de minas y caminos, revelando patrones sistemáticos que requieren ser abordados mediante estrategias de conservación espacialmente focalizadas. Estos modelos se alinean con los principios de la ecología del paisaje, al identificar procesos de fragmentación, conectividad y resiliencia territorial.

Esto se logró mediante el uso de herramientas como el Land Change Modeler de TerrSet 2020, matrices de transición, algoritmos de probabilidad de Márkov y variables espaciales condicionantes (pendiente, cercanía a caminos, cuerpos de agua, zonas vulnerables), se construyeron modelos robustos, validados bajo los criterios propuestos por Pontius et al. (2004), que permitieron no solo cuantificar y localizar los cambios más relevantes, sino también identificar zonas críticas de transformación. En este sentido, la metodología adoptada se alinea con las recomendaciones de Chuvieco (2002) y Chang (2016), quienes enfatizan la necesidad de integrar herramientas de análisis espacial dinámico con criterios socioambientales para comprender cabalmente los procesos territoriales.

En cuanto a los hallazgos encontrados durante la fase de recuperación del bosque de coníferas entre 1970 y 2000, difiere con los reportes de Franco et al. (2006), donde mencionan que hay dinámicas de pérdidas en el anterior Parque Nacional Nevado de Toluca, en donde detallan que aproximadamente 9 700 ha de bosques se pierden, en contraste con las ganancias reportadas de 3457 ha de bosques de coníferas. Hernández (2021) comenta que se pueden cambiar los resultados conforme al manejo de escalas de trabajo. Ya que se comprueba que el uso de escalas más pequeñas genera resultados más precisos y confiables. Dentro del área de conservación se detectaron huecos o gaps dentro del bosque, que son rellenados a través del periodo de 1970 al 2000.

La prolongación del periodo 2021 se revela un cambio a la pérdida constante de bosque a partir del año 2000, un fenómeno que articula variables como recategorización administrativa en el 2013, esto a causa de presiones urbanas y cambios de uso de suelo, así como los cambios de coberturas. Este decaimiento es consistente con los hallazgos de Regil et al. (2016), quienes denominaron este episodio como una etapa de pérdida y deforestación significativa. Esta variabilidad espacial y temporal es congruente con la propuesta de Bocco, Mendoza y Masera (2001), que plantean que la deforestación es un proceso dinámico mediatizado por múltiples factores socioeconómicos y ecológicos, y validado aquí mediante matrices de comportamiento.

De igual manera, se integran las aportaciones de Velázquez et al. (2002) y Regil García et al. (2016), quienes demostraron que el cambio de uso del suelo en México se caracteriza por patrones persistentes de pérdida de cobertura forestal, asociados a la expansión de pastizales y tierras agrícolas, tal como también se observó en este estudio mediante la matriz de comportamiento construida a lo largo de 55 años. A diferencia de estudios anteriores que solo consideraron dos o tres cortes temporales, la inclusión de múltiples periodos permitió identificar con mayor precisión fechas de inflexión, un aporte metodológico destacado en comparación con estudios como los de Camacho Sanabria et al. (2015) y García Nieto et al. (2002), quienes también abordaron el cambio de cobertura en el Estado de México, pero con menor resolución temporal.

La metodología aplicada, basada en técnicas de clasificación supervisada, fotointerpretación y modelos de simulación, coincide con las propuestas de autores como Chuvieco (2002) y Chang (2016), quienes defienden la integración de SIG con sensores remotos para estudios ambientales. Estos métodos permitieron validar las transiciones de cobertura mediante un enfoque cuantitativo, siguiendo el modelo de Pontius et al. (2004), que fue clave para analizar la persistencia, ganancia y pérdida en la vegetación del Nevado de Toluca.

Los sensores remotos sustentan la base teórica de este trabajo, así como la propuesta de Brovelli et al. (2020) en ambientes tropicales, que valida el uso de datos multitemporales, reforzado en ese contexto por la asociación entre imágenes Landsat, un enfoque que aquí también se aplica para construir el modelo prospectivo a 2060. Brovelli et al. (2020) defienden el uso de tecnologías geoespaciales abiertas y accesibles como herramientas de empoderamiento ciudadano y de fortalecimiento de la gobernanza ambiental.

Las propuestas anteriores se entrelazaron con la propuesta metodológica de Pontius et al. (2004), en esta se subraya la importancia de evaluar persistencia, pérdida y ganancia en la vegetación. Esta estrategia supera la resolución de estudios anteriores que trabajaron con solo 2 o 3 periodos, como los de Acosta Mireles et al. (2017) en el estado de México, quienes con imágenes Landsat ETM+ estimaron densidad forestal, y Camacho Sanabria et al. (2015), enfocados en simulación con autómatas celulares. El análisis fino es algo que no se había realizado, tomando en cuenta 55 momentos diferentes, lo cual permitió identificar fechas de inflexión más puntuales, una mejora sustantiva en detalle y precisión.

A diferencia de investigaciones previas, como las realizadas por Pineda et al. (2009), Duarte et al. (2016), Gordillo y Castillo (2016), Sandoval et al. (2021) y Hernández et al. (2023), las cuales se enfocan únicamente en el análisis de dos o tres periodos temporales, el presente estudio optó por ampliar significativamente el número de intervalos analizados. Esta decisión metodológica responde a la necesidad de capturar con mayor precisión tanto las variaciones graduales como los posibles eventos de cambio abrupto en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo. Si bien la utilización de pocos periodos facilita el procesamiento de datos y simplifica la interpretación de los resultados, también puede limitar la capacidad para detectar dinámicas complejas o transiciones sutiles que ocurren entre los momentos observados. En contraste, el enfoque adoptado en este trabajo permite una reconstrucción más detallada y continua de la evolución territorial, lo que a su vez favorece la identificación de patrones temporales específicos, tendencias sostenidas o puntos de inflexión críticos en la transformación del paisaje. Esta perspectiva más integral contribuye a una comprensión más profunda de los procesos socioambientales que inciden en el cambio de uso del suelo en el área de estudio.

La propuesta metodológica desarrollada por Regil et al. (2016), orientada a resolver las inconsistencias comúnmente asociadas con las técnicas de detección de cambios en el uso del

suelo, fue adoptada de manera rigurosa en el presente estudio. En particular, se aplicaron procedimientos de clasificación detallada, con criterios estandarizados y etapas de validación cruzada, lo cual permitió reducir errores de interpretación y mejorar la precisión espacial y temporal de los resultados obtenidos. Esta implementación metodológica no solo fortaleció la consistencia del análisis, sino que también garantizó la posibilidad de replicar los resultados en contextos similares, promoviendo la comparabilidad y la solidez científica de los hallazgos.

Otro hallazgo preocupante fue la expansión de zonas urbanas dentro del área protegida, que aumentaron en 148.92 ha (0.28 % del área total). Aunque la magnitud pueda parecer limitada, se trata de asentamientos que contravienen las disposiciones normativas del área natural protegida, lo cual representa un riesgo creciente ante la cercanía con centros urbanos como Toluca y el crecimiento demográfico regional. Este fenómeno se alinea con lo planteado por Regil et al. (2016) al caracterizar una etapa reciente de deforestación aguda, en la que el crecimiento urbano se convierte en una amenaza central para la integridad ecológica del APFFNT.

Aún más alarmante es la identificación de una mina activa dentro de los límites del área protegida, con una superficie estimada de 25 ha. Esta actividad extractiva, inexistente al momento de la creación del parque nacional en 1936, pone de manifiesto las tensiones estructurales entre conservación y desarrollo económico. Tal situación subraya la necesidad urgente de revisar las políticas de manejo y fortalecer los mecanismos de gobernanza ambiental participativa, como han enfatizado la CMMAD (1987) y SEMARNAT (2021, 2024), así como los PRONACES.

El estudio también proyecta una reducción de más de 2 200 ha en superficies agrícolas hacia 2060, sobre todo fuera del núcleo del APFFNT. Esta transformación puede reflejar tanto un cambio en los patrones de actividad productiva regional como una presión por urbanización y especulación del suelo. La conversión de uso agrícola a urbano, junto con la transición de pastizal a bosque y de pastizal a uso agrícola, representan más del 90 % de las dinámicas observadas, estas fueron también documentadas por Xiao, Xiang y Li (2021); Yueting, Xiaoli y Zhengqi (2021). Estas transiciones fueron fundamentales para alimentar el modelo de simulación, y su localización espacial permitió identificar zonas críticas mediante mapas de probabilidad, apoyados en variables dinámicas como la expansión de infraestructura vial.

Cada uno de los periodos temporales analizados en este estudio revela una dinámica particular en los patrones de cambio de cobertura del suelo, lo cual adquiere especial relevancia para la comprensión integral de los procesos de transformación territorial (FAO y PNUMA, 2020). Estas variaciones, que reflejan tanto cambios graduales como transiciones abruptas en el uso del territorio, permiten identificar momentos clave en la evolución del paisaje y sus posibles vínculos con factores socioeconómicos, políticos o ambientales. Cabe destacar que tales dinámicas no son exclusivas del área de estudio, sino que se inscriben en una tendencia más amplia observada en distintas regiones del mundo. Por ejemplo, Mangaza (2022) documentó procesos similares de cambio de uso del suelo en la República del Congo, mientras que Coskuner (2022) reportó patrones comparables en la Región Mediterránea. Estos estudios internacionales, al coincidir en la identificación de transformaciones territoriales análogas, contribuyen a reforzar la validez y la pertinencia de los resultados obtenidos en este trabajo, al tiempo que evidencian la existencia de dinámicas territoriales compartidas a nivel global, producto de presiones ambientales y antrópicas comunes.

Un ejemplo representativo de los cambios en la cobertura del suelo lo constituyen los pastizales, cuya superficie ha experimentado una disminución constante a lo largo del tiempo. Este retroceso contrasta marcadamente con la expansión gradual de las áreas ocupadas por bosques de coníferas, un patrón de transformación que ha sido igualmente documentado por Hernández

(2021), quien destaca esta tendencia como parte de una dinámica ecológica relevante en contextos de conservación.

Los resultados obtenidos en este estudio aportan elementos clave para comprender con mayor profundidad los procesos de transformación ecológica y territorial que están ocurriendo tanto dentro del área protegida como en su zona de influencia inmediata. Este fenómeno no es aislado: investigaciones previas, como la realizada por Pineda (2017) sobre las dinámicas del uso del suelo en el estado de Hidalgo, ya habían advertido sobre la alta vulnerabilidad de los pastizales. En dicho estudio, se identifican estos ecosistemas como coberturas transicionales, propensas a ser convertidas en otros usos del suelo debido a factores como su localización intermedia entre diferentes tipos de vegetación y su susceptibilidad a la intervención humana

La solidez del modelo se sustenta en el uso de variables condicionantes dinámicas (pendiente, infraestructura vial, cuerpos de agua) recomendadas por autores como Sánchez et al. (2017) y Hernández Melchor et al. (2017), quienes demostraron que esas variables aumentan sustancialmente la capacidad predictiva de los modelos. En este estudio, su inclusión facilitó la construcción de mapas de susceptibilidad al cambio capaces de localizar zonas con alta probabilidad de conversión, de acuerdo con los principios del Land Change Modeler. Además, las matrices de transición y los análisis de cambio sistémico (pastizal a bosque, agrícola a urbano, pastizal a agrícola) permitieron cuantificar patrones dominantes del paisaje, representando más del 90 % de las transiciones observadas. Este nivel de detalle, junto con los análisis gráficos de múltiples periodos, permite comprender las inflexiones del paisaje de forma más clara que en estudios anteriores (Acosta Mireles et al., 2017; Pineda Jaimes et al., 2009), ofreciendo una visión robusta del comportamiento temporal del territorio.

Las variaciones observadas en las pérdidas y ganancias de cobertura vegetal reflejan tendencias ecológicas de gran relevancia para el análisis del paisaje. Aunque estos cambios pueden cuantificarse mediante indicadores como el cambio total y el cambio neto, resulta especialmente significativo que los bosques de coníferas hayan experimentado una transformación del 7.85% del área total analizada. Esta cifra evidencia una dinámica de cambio sustancial que merece atención, y que ya había sido señalada por Cruz Huerta (2015), quien atribuye dichas fluctuaciones tanto a factores naturales tales como incendios forestales o variabilidad climática, así como los procesos antrópicos, entre ellos el cambio en el uso del suelo, la tala selectiva o el avance de la frontera agrícola.

El seguimiento temporal de estas transformaciones adquiere mayor profundidad analítica mediante el uso de herramientas gráficas, las cuales permiten visualizar con claridad la evolución espacial del paisaje a lo largo del tiempo. Estas representaciones son fundamentales no solo para detectar patrones de expansión o contracción de distintas coberturas, sino también para interpretar las causas subyacentes, ya sean de origen natural o derivadas de la intervención humana.

Un ejemplo ilustrativo de esta dinámica se encuentra en el caso de la cobertura agrícola. Aunque presenta fluctuaciones notables en su distribución, las pérdidas y ganancias tienden a equilibrarse en el balance general, lo que se traduce en un cambio total relativamente bajo. Este comportamiento fue identificado por Camacho (2015), quien sostiene que, a pesar de los ajustes locales en la extensión agrícola, la superficie total ocupada por este uso del suelo tiende a mantenerse estable en el tiempo, probablemente como resultado de prácticas de rotación o desplazamiento espacial más que de una expansión sostenida.

Empíricamente, los resultados muestran coincidencia con estudios internacionales como los de Brovelli et al. (2020) en la Amazonía y Bahadur Thapa y Murayama (2009) en Japón, que también evidencian la utilidad de modelos de simulación para la detección de cambios forestales. En ambos trabajos la integración de múltiples fuentes satelitales mejora la precisión de la modelación futura, aquí aplicada al escenario prospectivo al 2060, siguiendo también las recomendaciones de Pontius y Parmentier (2014) para evaluar la validez de los modelos de predicción de uso del suelo.

A lo largo del periodo analizado, una de las tendencias más significativas fue el crecimiento sostenido de la cobertura correspondiente al bosque de coníferas, la cual registró un incremento del 6.67% respecto al área total, lo que representa aproximadamente 3,577 hectáreas adicionales. Este aumento no ha ocurrido de manera aleatoria, sino que responde a procesos específicos de conversión del uso del suelo, particularmente a la transformación de áreas previamente ocupadas por pastizales. Así lo señalan Pineda et al. (2009), quienes explican que este tipo de expansión forestal se encuentra estrechamente vinculado con la sustitución de coberturas vegetales, fenómeno promovido por prácticas de manejo ambiental orientadas a la restauración ecológica.

En este sentido, el aumento de la superficie boscosa puede considerarse en parte como resultado de intervenciones institucionales deliberadas. Diversos programas de reforestación, implementados a lo largo de varias décadas que han tenido un impacto tangible en la recuperación del paisaje forestal, evidenciando un compromiso por parte de las autoridades ambientales en materia de conservación y recuperación de ecosistemas degradados. Hernández (2021) comenta que estas políticas están integradas en estrategias nacionales y regionales de manejo sostenible y que no solo han contribuido a revertir procesos de deforestación anteriores, sino que también han propiciado una mayor conectividad ecológica y la generación de servicios ecosistémicos clave, como la regulación hídrica, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad.

La propuesta de un visualizador web de análisis y consulta constituye una herramienta innovadora de comunicación de la ciencia, que responde al llamado de autores como Gómez y Quiroga (2005) y del QGIS Development Team (2023) a facilitar el acceso a la información geoespacial, fortaleciendo la gobernanza ambiental desde una perspectiva participativa. Este tipo de plataformas puede ser aprovechado tanto por autoridades ambientales como por actores comunitarios, promoviendo una conservación inclusiva, tecnológica y transparente.

La articulación entre el marco teórico y los resultados empíricos permitió comprender con mayor profundidad las transformaciones en la cobertura forestal del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, resaltando que los cambios en el uso del suelo responden a procesos socioambientales complejos más allá de los factores físicos o ecológicos aislados. La combinación de enfoques como los propuestos por Bocco et al. (2001), Pontius et al. (2004) y Chuvieco (2002), junto con el uso de tecnologías de teledetección, facilitó una lectura multiescalar y prospectiva del territorio. Los patrones de pérdida y ganancia de vegetación observados, así como la simulación hacia 2060, validan la necesidad de políticas ambientales integradas que reconozcan las trayectorias históricas y las proyecciones futuras del paisaje.

Esta investigación refuerza la vigencia del desarrollo sustentable como marco orientador, tal como lo plantean la CMMAD (1987), los Objetivos del Desarrollo Sostenible (2021) y la SEMARNAT (2021), pero también sugiere la urgencia de actualizar los instrumentos de gestión territorial para enfrentar los escenarios de presión creciente sobre los ecosistemas forestales.

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió analizar de manera integral la dinámica del cambio en el uso y cobertura del suelo en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) y su zona de influencia inmediata (3 km), abarcando un periodo histórico de cinco décadas (1970–2020) y proyectando escenarios futuros hasta el año 2060. A través del uso de herramientas como el Land Change Modeler del software TerrSet 2020, matrices de transición, proyecciones de Márkov y variables espaciales condicionantes, fue posible construir modelos robustos que permiten comprender las trayectorias del paisaje, anticipar transformaciones y proponer acciones para su manejo sostenible.

Uno de los resultados más relevantes fue la expansión constante de los bosques de coníferas, en particular los de pino y táscate, tanto dentro como fuera del APFFNT. Esta tendencia, en algunos casos, responde a procesos de regeneración natural o políticas de conservación pasiva, y representa un indicio positivo en términos de recuperación ecológica. No obstante, este fenómeno ocurre paralelamente a la pérdida significativa de pastizales, que han mostrado una reducción continua en ambos espacios geográficos analizados, evidenciando una transformación del paisaje hacia coberturas más forestales, posiblemente influida por factores climáticos, cambios en el uso del suelo o abandono de tierras.

Otro de los hallazgos más relevantes es la notable pérdida de pastizal, que representa aproximadamente un 8.76 %, lo que equivale a cerca de 4,957 hectáreas. Este cambio ha resultado principalmente en la conversión de estas áreas a coberturas arbóreas de pino y táscate, que han aumentado considerablemente en un 6.67 %. Este cambio sugiere un proceso de regeneración natural, aunque también plantea interrogantes sobre las causas subyacentes de la pérdida de pastizales.

Los crecimientos más notables se ven en las zonas urbanas las cuales han aumento del 0.28% del territorio del área que equivale a 148.92 ha de edificaciones, lo que indica una tendencia importante ya que en estas zonas no debería de haber asentamientos humanos, tal vez no es impactante, pero puede ser controlada para evitar crecimientos irregulares, este fenómeno se da a causa de la cercanía con la capital y el crecimiento natural de la población.

Un descubrimiento impactante es la presencia de una mina dentro de esta área protegida, que abarca aproximadamente 25 hectáreas. Esta mina no existía al momento de la creación del parque nacional en 1936, lo que subraya las tensiones entre la conservación y las actividades extractivas.

Este cambio resalta la necesidad de reevaluar las políticas de manejo y protección del área, considerando las presiones externas que amenazan la integridad del ecosistema. En conjunto, estos resultados subrayan la importancia de un monitoreo continuo y un manejo adaptativo para garantizar la conservación de la biodiversidad en el APFFNT

Otro aspecto destacado es la reducción proyectada de las superficies agrícolas, particularmente acentuada en la zona de influencia externa al APFFNT, con más de 2,200 ha menos hacia 2060, lo cual podría reflejar una reconfiguración en las actividades de la región o una presión creciente por urbanización. En este sentido, uno de los focos de alerta más relevantes del estudio fue la expansión acelerada de los asentamientos humanos, que dentro del área protegida se proyecta con un incremento de más de 470 ha, y con una tendencia también creciente en la zona periférica. Este fenómeno representa una amenaza latente para la integridad ecológica del APFFNT, dado

que la urbanización conlleva fragmentación del hábitat, aumento de residuos, presión sobre recursos hídricos y conflictos de uso del suelo.

La pérdida de denominación de parque nacional a área de conservación, simplemente se da por la intervención antrópica la cual, ha causado disminución de flora y fauna nativa de pequeñas especies, así como la creación de caminos en todo el bosque, lo cual ha ocasionado perdida de los nichos ecológicos y de los corredores biológicos, por lo que los habitas se han fragmentado y por consecuencia perdida de diversidad biológica, esto aunado al turismo masivo en la zona.

La utilización de la metodología de Pontius, permitió identificar espacialmente los cambios ocurridos y cuantificarlos. Por medio del cálculo de la matriz de cambio en donde se obtienen la dinámica de los usos de suelo y estas como han impactado en el área de conservación. Por lo que estos datos pueden servir identificar este tipo de tendencias en ciertas coberturas.

Las matrices de cambio y los análisis de transiciones sistémicas permitieron identificar las principales dinámicas del territorio, siendo clave la conversión de pastizal a bosque, de zona agrícola a uso urbano, y de pastizal a agrícola, que juntas representan más del 90% de las dinámicas observadas. Estas transiciones fueron fundamentales para alimentar el modelo de prospección y evaluar la susceptibilidad espacial al cambio mediante mapas de probabilidad, destacando zonas críticas de transformación.

El análisis gráfico demostró claramente la tendencia de cada uso y cobertura existente, mientras que la matriz de comportamiento demostró que se pueden detectar cambios de manera más clara manejando varias combinaciones de fechas y periodos simultáneamente.

En cuanto a la metodología, se comprobó que el uso de variables como pendiente, proximidad a caminos, localidades, cuerpos de agua y zonas vulnerables (plagas e incendios) mejora sustancialmente la precisión de los modelos de predicción. Además, se validó la importancia de considerar variables dinámicas en el modelado, como el crecimiento de infraestructura vial, que puede alterar significativamente los escenarios futuros si no es adecuadamente gestionado.

Otro y no menos de los resultados fue la creación de un visualizador web, el cual representa una herramienta que promueve el uso de tecnologías de vanguardia para la gestión y difusión de información geoespacial. Este recurso permite facilitar el acceso a los datos generados, apoyando la toma de decisiones informadas en materia de manejo territorial y conservación ambiental.

Finalmente, este trabajo demuestra que los modelos de simulación espacial aplicados al análisis del cambio de uso del suelo son herramientas estratégicas para la planificación ambiental, permitiendo no solo comprender el comportamiento histórico del paisaje, sino también proyectar escenarios futuros con distintos grados de probabilidad. Esta información es de gran utilidad para tomadores de decisiones, autoridades ambientales, comunidades locales y organismos de conservación, ya que proporciona una base técnica sólida para implementar políticas de manejo territorial, diseñar estrategias de restauración, y prevenir impactos negativos derivados de la expansión urbana descontrolada o el cambio de uso del suelo.

Este estudio demuestra que la integración de las ciencias ambientales con herramientas de modelación prospectiva y la toma de decisiones basadas en evidencia permite no solo mitigar los impactos negativos sobre los ecosistemas, sino también identificar oportunidades para fortalecer la conservación y promover el uso sostenible del territorio. Esto contribuye a una mejor planeación y gestión de los recursos naturales.

RECOMENDACIONES

Para mejorar la calidad y profundidad del análisis, se recomienda considerar variables externas adicionales que no fueron incluidas en el presente modelo, pero que pueden tener una influencia significativa en los procesos de cambio de uso del suelo. Entre estas variables podrían incluirse factores socioeconómicos, dinámicas de tenencia de la tierra, políticas públicas locales, y fenómenos climáticos extremos.

Asimismo, es pertinente incorporar técnicas analíticas complementarias, como el Análisis Multicriterio, que permite ponderar distintas capas de información espacial para identificar zonas óptimas y restricciones específicas con mayor precisión. Otra herramienta recomendada es la regresión lineal ponderada, que puede ser útil para detectar y cuantificar los factores determinantes o detonantes de los cambios observados en el uso del suelo.

En cuanto al manejo de múltiples periodos de análisis, este estudio se centró en identificar causas generales de cambio. No obstante, se sugiere en futuras investigaciones realizar análisis más detallados por etapa temporal, que permitan identificar acciones o eventos concretos que hayan influido en los patrones de transformación del paisaje. Esto facilitaría una mejor comprensión de la dinámica espacial del territorio y sus comportamientos asociados.

Además, se recomienda no limitar el análisis a un escenario tendencial, sino incorporar escenarios alternativos que contemplen distintos contextos futuros, como, escenario de conservación intensiva, escenario de urbanización acelerada, y escenario influenciado por el cambio climático. La evaluación de estos escenarios permitiría diseñar estrategias más realistas y adaptadas a diversas condiciones posibles.

También se sugiere desarrollar un sistema de monitoreo periódico, que permita actualizar los datos al menos cada cinco años, contrastar las proyecciones del modelo con lo observado en campo, y ajustar los parámetros según la evolución real del territorio. Este seguimiento continuo es clave para mejorar la precisión predictiva y adaptar las herramientas de modelación a nuevas realidades territoriales.

Un aspecto esencial es socializar los resultados del modelo con los distintos actores del territorio. Compartir los hallazgos con autoridades ambientales, comunidades locales, ejidos, instituciones académicas y organizaciones de conservación no solo fomenta la toma de decisiones informadas, sino que también fortalece la participación comunitaria en los procesos de gestión territorial.

Es crucial generar estudios que partan de un diagnóstico actualizado de la situación actual, pero que además integren herramientas y metodologías que permitan simular posibles escenarios futuros. Esto requiere el uso de tecnologías cada vez más rápidas y precisas, como software especializado, imágenes satelitales de alta resolución e intérpretes expertos en geoinformación.

En este sentido se recomienda fortalecer la integración entre el conocimiento científico generado por las ciencias ambientales y los procesos de toma de decisiones en el territorio. Esto implica fomentar la colaboración entre investigadores, tomadores de decisiones y comunidades locales, así como promover el uso de herramientas tecnológicas que ayuden a mejorar la toma de decisiones y una planeación más estratégica e integral, que permita una gestión adaptativa y sostenible de los recursos naturales a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta Mireles, Miguel, Pérez Miranda, Ramiro, Romero Sánchez, Martín Enrique, González Hernández, Antonio, & Martínez Ángel, Luis. (2017). Estimación de la densidad forestal mediante imágenes Landsat ETM+ en la región sur del Estado de México. Revista mexicana de ciencias forestales, 8(41), 30-55. Recuperado en 02 de mayo de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000300030&lng=es&tlng=es.

Alcántara,G. (2014). Estudio especializado: Análisis de cambios de la cobertura y uso de la tierra. Cajamarca. Sub-Comisión técnica regional para el estudio especializado. Región Cajamarca. Pag 2-5, 7-8, 9-13, 14–15, 19-20, 114-118.

Alegre K. (2017). Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal, Lima, Perú.

Amna & Sheikh (2015). Uso de la tierra mapeo de cambio y el análisis mediante teledetección y SIG: Un estudio de caso de la cuenca Simly, Islamabad, Pakistán. 70 p.

Andrade Castañeda, H. J., Arteaga Céspedes, C. & C., Segura Madrigal, M. A. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). Corpoica Ciencia Y Tecnología Agropecuaria, 18(1), 103–112.

Bahadur Thapa, Rajesh y Murayama, Yuji. (2009). Urban mapping, accuracy, & image classification: A comparison of multiple approaches in Tsukuba City, Japan. Applied Geography. 29: 135-144

Barredo Cano José y Bosque Sendra Joaquín (1999) “Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment”. Geographical Systems, nº 5, pp. 313-327

Berling Wolf, S., y Wu, J. (2004). Modelling urban landscape dynamics: a case study in Phoenix, USA. Urban Ecosystem, 7, 215-240

Bocco G., Mendoza M., & Masera O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas, Boletln del Instituto de Geografla, UNAM, 44, 18–38. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112001000100003

Brovelli M. A., Sun Y., & Yordanov, V. (2020). Monitoring forest change in the amazon using multi-temporal remote sensing data and machine learning classification on Google Earth Engine. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(10). https://doi.org/10.3390/ijgi9100580

Cabral L, F. (2011) Dinámica espaciotemporal de uso de suelo en la UMAFOR 12 del Estado de México mediante el uso de sistemas de información geográfica: (1990-2007). Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo.

Camacho Sanabria, J.M. (2015). Modeling of land use/cover changes: Prospective scenarios in the Estado de Mexico. Case study - Amanalco de Becerra. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 21(2), 203-220, ISSN 2007-3828, https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.049

Camacho Sanabria José Manuel, Juan Pérez José Isabel, Pineda Jaimes Noel Bonfilio, Cadena Vargas Edel Gilberto, Bravo Peña Luis Carlos, & Sánchez López Marcela. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. Madera y bosques, 21(1), 93-112. Recuperado en 16 de agosto de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000100008&lng=es&tlng=es.

CBEM. (2005). Código para la Biodiversidad del Estado de México. Recuperado de http://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/cod/vig/codvig009.pdf

Chang, K. (2016). Introduction to Geographic Information Systems (8th ed.). McGraw-Hill Education.

Champo Jiménez, Omar, Valderrama Landeros, Luis, & España Boquera, María Luisa. (2012). Pérdida de cobertura forestal en la reserva de la biosfera Mariposa Monarca, Michoacán, México (2006-2010). Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 18(2), 143-157. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.074

Chuvieco, E. (2002). Fundamentos de Teledetección Espacial. 3ra edición. Rialp, S.A. Madrid, España.

CEPANAF. (2018). Áreas Naturales Protegidas. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. http://cepanaf.edomex.gob.mx/areas_naturales_protegidas

CONABIO. (2016). Estrategia Nacional sobre biodiversidad de México. Recuperado de https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/ENBIOMEX_baja.pdf

CONABIO. (2018). Importancia de la diversidad biológica. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, de http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/importancia_db.html

CONAFOR. (2023). Enfoques para el monitoreo de la cobertura forestal en México. Comisión Nacional Forestal. https://www.gob.mx/conafor/articulos/enfoques-para-el-monitoreo-de-la-cobertura-forestal-en-mexico

CONAFOR (2024). Programa Estratégico Forestal para México 2025. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/307Programa%20Estrat%C3%A9gico%20Forestal%202025.pdf

CONAGUA (2010). Estadísticas del Agua en México, Edición 2010. Comisión Nacional del Agua, Semarnat

CONANP (2013). Estudio previo justificativo para la modificación de la declaratoria del Área Natural Protegida Parque Nacional Nevado de Toluca.

CONANP. (2018). Áreas Naturales Protegidas. Recuperado de https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/areas-naturales-protegidas-decretadas

CONANP. (2022). Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2020 – 2022. Gobierno de la República. México. 58 pp.

CONANP. (2023). Áreas Naturales Protegidas. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/areas-naturales-protegidas-decretadas

CMMAD. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf

Cooper, S., Okujeni, A., Pflugmacher, D., van der Linden, S., & Hostert, P. (2021). Combining simulated hyperspectral EnMAP and Landsat time series for forest aboveground biomass mapping. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 98. https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102307

Coutiño Román Laura (2012) Análisis multitemporal de imágenes satelitales para conocer la calidad del agua en la presa: Valle de Bravo. Tesis, México DF: Universidad Nacional Autónoma de México.

Coskuner, K.A. (2022). Land use/land cover change as a major driver of current landscape flammability in Eastern Mediterranean region: A case study in Southwestern Turkey. Bosque, 43(2), 157-167, ISSN 0304-8799, https://doi.org/10.4067/S0717-92002022000200157

Cruz Huerta, C. (2015). Modeling land-use change and future deforestation in two spatial scales. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 21(2), 137-156, ISSN 2007-3828, https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.06.025

Cruz Romero Bartolo, Téllez López Jorge, Carrillo González Fátima Maciel. (2020). Análisis de cambios en las coberturas y usos de suelo de la cuenca del río Cuale, Jalisco, México. Documents d'Anàlisi Geogràfica, 67/1, 33-50.

D'Antonio, M, Capra L, Sarocchi D, Bellotti F. (2008). Reconstrucción del evento eruptivo asociado al emplazamiento del flujo piroclástico El Refugio hace 13 ka, volcán Nevado de Toluca (México). Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 25, núm. 1.

Dewan, A., and Y. Yamaguchi. (2009). Land use cover change in Geater Dhaka, Bangladesh: using remote sensing to promote sustainable urbanization. Applied Geography. 1-12.

Di Gregorio, A; Jansen, LJM. (2005). Land cover classification system: Classification concepts and user manual (Electrónico). 2 ed. Roma, Italia, FAO. 212p. Disponible en www.fao.org/gtos/doc/ecvs/t09/ecv-t9-landcover-ref25-lccs.pdf

Duarte, E., Emanuelli, P., Milla, F., Orellana Díaz, O., & López, S. (2016). Análisis de cambios de la cobertura forestal y uso de la tierra mediante imágenes satelitales de alta resolución espacial: años 2009 – 2012 – 2015. Sitio piloto Cantón Puriscal. Costa Rica. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10664.78086

Dupuy Rada, J.M., González-Iturbe, J.A., Iriarte-Vivar, S., Calvo-Irabien, L.M., Espadas-Manrique, C., Tun-Dzul, F., y A. Dorantes Euan. (2007). Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. Revista de Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM. 62:104-124.

Eastman, R. (2003). Guide to GIS and image processing. Kilimanjaro Tutorial. USA. Clark Labs.

Endara Agramont, Ángel Rolando. (2007). Tesis de maestría: Estructura forestal de Pinus hartwegii en el Parque Nacional Nevado de Toluca. Universidad Autónoma del Estado de México.

Endara Agramont, Ángel Rolando. (2010). Tesis de doctorado: Análisis de los procesos de recuperación en el bosque templado del Parque Nacional Nevado de Toluca. Universidad Autónoma del Estado de México. Estado de México.

Fan, F. L., Wang, Y. P., & Wang, Z. S. (2008). Temporal and spatial change detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images. Environmental Motoring and Assessment, 137(1–3), 127–147.

FAO, (1996). Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Food and Agriculture Organization. FAO forestry paper, vol. 130 p.152.

FAO. (2024). Gestión forestal sostenible, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. SustainableForestMgmt. https://www.fao.org/forestry/sfm/es

FAO PNUMA. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o para el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). https://doi.org/10.4060/ca8642es

Freedman, D. A. (2009). Statistical models: Theory and practice (2ª ed.). Cambridge University Press.

Franco Maass, S., Regil García, H.H., González Esquivel, C. y G. Nava Bernal. (2006). Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, en el periodo 1972-2000. Revista de Investigaciones G Fritz, S., McCallum, I., Schill C., Perger, C., Grillmayer, R. Achard, F., Kraxner, F. and M. Obersteiner. 2009. Geo-Wiki.org: The Use of Crowdsourcing to Improve Global land cover. Remote Sensing. 2009, 1:345- 354.

Franco, M.S, Osorio, M., Nava, G., Regil, H. H. (2009). Evaluación multicreterio de los recursos turísticos. Parque Nacional Nevado de Toluca, México. Estudios y Perspectivas en Turismo, volumen 18, 2009. pp 208-226.

Franco, M. S. y Burrola, A. C. (2010). Los hongos comestibles del Nevado de Toluca. ICAR, Universidad Autónoma del Estado de México. Editorial UAEM.

García Cuevas Luis & Yerena Yamallel José & Cuéllar Rodríguez Gerardo & Rodríguez Eduardo & Treviño Garza Eduardo. (2024). Cambio de uso de suelo asociado al manejo forestal sustentable en áreas de conservación: Caso Nevado de Toluca. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 10.33064/iycuaa2024924514.

https://www.researchgate.net/publication/389174804_Cambio_de_uso_de_suelo_asociado_al_manejo_forestal_sustentable_en_areas_de_conservacion_Caso_Nevado_de_Toluca

García Nieto, H., García Danguer, R.R., Moreno Sánchez, R., y A. González Ramos. (2002). Uso de sensores remotos y SIG para delimitar los cambios en el uso del suelo agrícola de 1970 a 1997 en el estado de Guanajuato. Revista de Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM. 47:92-112.

García Palomo A, Macias JL, Arce JL and Garduño (2000). Miocene to Recent structural evolution of Nevado de Toluca Volcano region, central México: Tectonophysics, Special Volume, Post-Laramide magmatism and tectonics in Mexico plate interaction. v. 318, p. 281-302.

González Becerril Alejandra, González Trápaga Arcelia, Hernández Zetina Sandra Lucia, Madrigal Uribe Delfino, Morales Méndez Carlos Y Pineda Jaimes Noel (2000). Atlas del Medio Físico del Estado de México. Cuadernos de Investigación. Cuarta Época/50. Dirección de Difusión y Promoción de la Investigación y los Estudios Avanzados. UAEMEX, Toluca. (Disco en CD).

González Medrano, F. (2003) Las comunidades vegetales de México, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México, D.F., 81pp.

González Trápaga Arcelia (1986). Descripción y aspectos fitogeográficos de la vegetación alpina del Nevado de Toluca, México, Tesis licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Gómez, J. H., & Quiroga, V. M. (2005). Sistemas de información geográfica. Ediciones UIS.

Gómez Mendoza, L., Vega Peña, E., Ramírez, M.I., Palacio Prieto J.L., y L. Galicia. (2006). Projecting land-use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca, México. Applied Geography. 26: 276–290.

Gordillo Ruiz, M. C., & Castillo Santiago, M. A. (2016). Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 4(10), 39. https://doi.org/10.19136/era.a4n10.803

He, X., Lei, X. D., & Dong, L. H. (2021). How large is the difference in large-scale forest biomass estimations based on new climate-modified stand biomass models? Ecological Indicators, 126. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107569

Hernández Cavazos, M. C., Sandoval García, R., Molina Guerra, V. M., & Alanís Rodríguez, E. (2023). Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en el municipio de Linares, Nuevo León. Ecosistemas y Recursos Agropeciarios, 1–14. https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3743

Hernández Hernández, V. (2016). Sistemas de Información Geográfica: Aplicaciones prácticas con QGIS. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. https://elibros.uacj.mx/omp/index.php/publicaciones/catalog/book/117

Hernández Melchor, G. I., Ruiz Rosado, O., Sol Sánchez, Á., & Valdez Hernández, J. I. (2017). Cambios de uso del suelo en manglares de la costa de Tabasco. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, (14), 2757–2767. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i14.444

Hernández Pérez, J. L., & Tolentino Martínez, J. M. (2021). Políticas para el desarrollo de México: análisis, retos y perspectivas. En Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas eBooks (Primera edición digital en pdf). Universidad acional Autónoma de México. https://doi.org/10.22201/iiec.9786073050296e.2021

Hernández, M.J.P. (2021). Dynamics of changes in land use and vegetation due to anthropogenic activities in Zaachila, Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 12(66), ISSN 2007-1132, https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.894

Hu D, Yang G, Wu Q, Li H, Liu X, Niu X, Wang Z, Wang Q. (2008). Analyzing Land Use Changes in the Metropolitan Jilin City of Northeastern China Using Remote Sensing and GIS. Sensors. 2008; 8(9):5449-5465. https://doi.org/10.3390/s8095449

INEGI (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx

INEGI (2022) Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2020 https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CEEM/CEEM2022.pdf

INEGI. (2023). Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463908364

INIFAP (2004). Carta de uso de suelo del Estado de México escala 1:50,000. Instituto Nacional de investigaciones, forestales, Agrícolas y Pecuarias, (Disco en CD).

Jean Francois Mas y Flamenco Sandoval Alejandro. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México GeoTrópico 5(1):1-24. Disponible en http://www.geotropico.org/ns_5_1_mas-flamenco.pdf

Jiménez, E., Chávez, T. y Garrocho, C. (2018). Modelando la expansión urbana con autómatas celulares: aplicación de la Estación de Inteligencia Territorial (Christaller). Geografía y Sistemas de Información Geográfica, Geosig, 12, 1-26. https://docs.wixstatic.com/ugd/79758e_5db4574cbd884d7b89e96df748dca7cc.pdf

Jiménez, E. (2019). Cadenas de Markov espaciales para simular el crecimiento del Área Metropolitana de Toluca, 2017-2031. Economía, Sociedad y Territorio, 19(60), 109-140. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-84212019000200109&script=sci_abstract

Jiménez GP (2002). Cuenca Hidrográfica Terrerillos del Municipio de Zinacantepec, Estado de México. Diagnóstico Ambiental Cualitativo y Propuestas de Manejo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México.

Kirsi Karila, Xiaowei Yu, Mikko Vastaranta, Mika Karjalainen, Eetu Puttonen, Juha Hyyppä (2019). TanDEM-X digital surface models in boreal forest above-ground biomass change detection, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. ISSN 0924-2716 148 174–183 https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.01.002

Lambin, E. F., & Geist, H. J. (2006). Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts. Springer.

Li, S., Wang, T., Hou, Z., Gong, Y., Feng, L., & Ge, J. (2021). Harnessing terrestrial laser scanning to predict understory biomass in temperate mixed forests. Ecological Indicators, 121. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107011

LGEEPA (2018). Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf

Macías, J. L. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. LVII, núm. 3, 2005, pp. 379-424. Sociedad Geológica Mexicana, A.C. Distrito Federal, México.

Madrigal Uribe Delfino y González Trápaga Arcelia, (1991). Distribución del impacto ambiental en los bosques de Pinus hartwegii del Nevado de Toluca, México. Memoria del IIIer. Encuentro de Geógrafos de América Latina. Tomo II. INEGI-UAEM, México. p.: 377-384.

Madrigal Uribe Delfino y González Trápaga Arcelia, (1996). Geomorfología glacial y periglacial del Nevado de Toluca. Ergo sum 3(1), marzo de 1996. UAEMEX, Toluca, Méx. p.: 95-101.

Mangaza, L. (2022). Impacts of land use change on biomass and diversity in the forest landscape of the Yangambi Biosphere Reserve in the Democratic Republic of Congo. Bois et Forets des Tropiques, 353, 61-73, ISSN 0006-579X, https://doi.org/10.19182/bft2022.353.a36836

Malette, Jonathan W. (2012). Assessing Land Use and Land Cover Change in tropical dry forest of Northern Chinandega, Nicaragua from 1985 to 2011. Míchigan, EE. UU. Michigan Technological University. https://doi.org/10.37099/mtu.dc.etds/169

Márquez Linares, M.A., Treviño Garza, E.J. y E., Jurado. (2005). Reemplazo de áreas arboladas por chaparrales y comunidades herbáceas en el periodo 1970- 2000 en una microcuenca de Durango, México. Revista de Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM. 58:54-65.

Martínez Maximino y Matuda Eizi (1979), Flora del Estado de México. Tomos I, II y III, Toluca: Biblioteca Enciclopédica del Estado de México.

Mateo, Rubén G, Felicísimo, Ángel M, & Muñoz, Jesús. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. Revista chilena de historia natural, 84(2), 217-240. https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008

Michael K., Rodel L., Miguel C., Örjan J., Kari T. K., Philip M., Jose J. N. & Graham S. (2015). Changes in forest production, biomass and carbon: Results from the 2015 UN FAO Global Forest Resource Assessment, Forest Ecology and Management 352 21–34 http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.036

Miranda, F., & Hernández X, E. (1963). Los tipos de Vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Bot. Méx. https://doi.org/https://doi.org/10.17129/botsci.1084

Morueta Holme N, Enquist BJ, McGill BJ. (2013). Habitat área and climate stability determine geographical variation in plant species range sizes. Ecology Letters.

Moreno Cuesta, E., González Algarra, E., & Otero Pastor, I. (2001). Caracterización del paisaje y su posible impacto ambiental a partir de la clasificación de usos de suelo Corine Land Cover y la utilización de Sistemas de Información Geográfica. Informes De La Construcción, 53(476), 11–20. https://doi.org/10.3989/ic.2001.v53.i476.644

Nájera, O., Bojórquez, Jl., Cifuentes, J., Marceleño, S. (2010). Cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca del rio Mololoa Nayarit. Rev. Biociencia 1 (1): 19-29.

Nina Quispe, Jessica Janett. (2015). Cambios de la cobertura del suelo en la reserva nacional salinas y aguada blanca Arequipa, Moquegua - Perú, en relación a la variación de la temperatura y precipitación durante el periodo 1986-2010. Perú: Repositorio Institucional de la UNSA.

Norini, G., Capra, L., Groppelli, G., & Lagmay, A. M. F. (2008). Quaternary sector collapses of Nevado de Toluca volcano (Mexico) governed by regional tectonics and volcanic evolution. Geosphere, 4(5), 854-871.

Nuñez, I., González, E. y Barahona, A. (2003). La biodiversidad: historia y contexto de un concepto. Interciencia, 28(7), 387-393. Recuperado de: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908204

Olaya, V. (2012). Sistemas de Información Geográfica: Principios y aplicaciones (Versión digital). https://volaya.github.io/gis-book/es/

Olvera García, Jorge & Pichardo Pagaza, Ignacio (2017). Área Protección Flora Fauna Nevado Toluca. Retos y oportunidades (1a ed.). Universidad Autónoma del estado de México. http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/68183

ONU. (2012). The future we want: Outcome document of the United Nations Conference on Sustainable Development (Rio+20). https://sustainabledevelopment.un.org/futurewewant.html

ONU (2021). Objetivos de desarrollo sostenible, https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

Orradre, M. N. (2014). Métodos de clasificación de imágenes satelitales para la determinación de usos del suelo agrícola en el partido de Tandil (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Geogr. Sist. Inf. Geográf. 6: 11-28.

Osuna Osuna, Ana Karen; De Jesús Díaz Torres, José; De Anda Sánchez, José; Villegas García, Edgardo; Gallardo Valdez, Juan; Davila Vazquez, Gustavo. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science 10(2): https://www.redalyc.org/pdf/928/92838238011.pdf

Oviedo, S., Camargo, M. y Narváez, P. (2010). Contribution de la Dynamique des Systèmes à la modélisation de scenarii pour l'evaluation de la filière de production de biodiesel. (Tesis de Maestría). ENSGSI, Nancy, Francia.

Owen, O. (1977). Conservación de recursos naturales. México: Pax-México/Librería Carlos Césarman.
https://books.google.com.pe/books?id=0Z_KmG0yOvEC&printsec=copyright&hl=es#v=onepage&q&f=false

Pineda Jaimes, N. B., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., & Plata Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas, 69, 33–52. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56912295004

Pineda Jaimes Noel Bonfilio (2010) Descripción, análisis y simulación de procesos forestales en el Estado de México mediante tecnologías de la información geográfica, Tesis Doctoral, Alcalá de Henares, Madrid, 239pp.

Pineda López, M.d.R. (2017). Dynamics of land use and land cover in a Mexican national park. Madera Bosques, 23(3), 87-99, ISSN 1405-0471, https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331492

Pontius, R., & Petrova, S. (2010). Assessing a predictive model of land change using uncertain data. Environmental Modelling & Software, 25, 299–309. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.09.005

Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. Agriculture, Ecosystems and Environment, 101(2–3), 251–268. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008

Pontius Jr., R.G. & Parmentier, B. (2014). Recommendations for using the Relative Operating Characteristic (ROC). Landscape Ecology (2014) 29: 367-382.

QGIS Development Team. (2023). QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. https://qgis.org/es/site/

Ramírez Ramírez, I. (2001). Cambios en las cubiertas del suelo en la sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México, 1971-1994-2000. Revista de Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM. 45:39-55.

Regil García H. H. (2013). Perdida y recuperación de carbono derivadas de la dinámica de cambio y uso del suelo en el Parque Nacional Nevado de Toluca en el periodo 2000-2009. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Tesis Doctoral.

Regil García, H. H., Franco Maass, S., Nava Bernal, E. G., & Ordoñez, J. A. B. (2016). Evaluación de las técnicas para el estudio del cambio de ocupación de suelo y propuesta metodológica para solventar algunas de sus inconsistencias: el Parque Nacional Nevado de Toluca, México. GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology, (16), 61–86. https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/447/333

Rodríguez Eraso Nelly. (2011). Land-Cover and-use change and deforestation in Colombia; spatial dynamics, driver and modelling. Colombia: Centre de Recerca Ecologica i Aplicacions Forestals y Unidad de Ecología.

Rodriguez Rivera, J. R. (2009). Dinámica de cambios en la cobertura vegetal 1975 - 2005. Tegucigalpa, Honduras. Tesis de Maestría https://tzibalnaah.unah.edu.hn/handle/123456789/4501

Rogan, J., Miller, J., Stow, D., Franklin, J., Levien, L. and C. Fischer. (2003). Landcover change monitoring with classification trees using Landsat TM and ancillary data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 69(7):793-804.

Rogan, J. and D. Chen. (2004). Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and use change. Progress in Planning. 61:301-325.

Rosete Vergés. (2009). Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la península de Baja California, México. Investigación Ambiental. 1: 70-82.

Rufino Sandoval García, Rigoberto González Cubas, Javier Jiménez Pérez. (2021). Análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo en la Mixteca Alta Oaxaqueña. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Revista Mexicana de Ciencias Forestales, VOL. 12 NÚM. 66 (2021), 96-121.

Rzedowski, J. (1978). Vegetación en México. 1° Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Saldaña Torres, MK. (2010). "Determinación del cambio de cobertura vegetal en el área de conservación municipal "Bosques de Huamantanga", utilizando imágenes de satélite. Tesis Ing. Forestal. Jaén-Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

Sánchez Reyes, U. J., Niño Maldonado, S., Barrientos Lozano, L., & Treviño-Carreón, J. (2017). Assessment of land use-cover changes and successional stages of vegetation in the natural protected area altas cumbres, Northeastern Mexico, using landsat satellite imagery. Remote Sensing, 9(7). https://doi.org/10.3390/rs9070712

Sandel, B., Arge L., Dalsgaard B., Davies R., Gaston K., Sutherland W., Svenning J. (2011). The influence of Late Quaternary Climate-Change Velocity on Species Endemism. Science. Vol. 334 no. 6056 pp. 660-664.

Sandoval García, R., Jiménez Pérez, J., Yerena Yamallel, J. I., Aguirre Calderón, O. A., Alanís Rodríguez, E., & Gómez-Meza, M. V. (2021). Multitemporal analysis of land use and vegetation in the Cumbres de Monterrey National Park. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 12(66). https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.896

Saaty, Thomas (1980). Multicriteria decision Making: The analytic hierarchy process. New York, Ed. McGraw Hill.

SEMARNAT (2016). Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/104_libro_pm.pdf

SEMARNAT. (2001). Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001 -2006. https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/pnmarn.pdf

SEMARNAT. (2021). Indicadores de crecimiento verde. SEMARNAT. Recuperado 8 de junio de 2024, de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_verdes16/indicadores/01_contexto/2.1.3.html

SEMARNAT. (2024). Convenio de Estocolmo https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convenio-de-estocolmo

Sosa Reyes, Y. Y. (2016). Cambio del uso del suelo de la Sub Cuenca del Rio Mocal, Lempira, utilizando SIG y Teledetección, comprendido del año de 1988 al 2000. Ciencias Espaciales, 6(2), 61–75. https://doi.org/10.5377/ce.v6i2.2468

Shun L., Tianming W., Zhengyang H., Yinan G., Limin F. & Jianping G. (2021). Harnessing terrestrial laser scanning to predict understory biomass in temperate mixed forests. Ecological Indicators, 121, 11 https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107011

Tantaleán Farfán, AY. (2016). Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Chota, años 1989-2013. Tesis Ing. Forestal. Cajamarca Perú. Universidad Nacional de Cajamarca.

Thaden Ugalde, Juan José Von. (2012). Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en el municipio de Guelatao de Juárez, Oaxaca, México. Universidad de la Sierra Juárez, Tesis de licenciatura https://es.scribd.com/document/423481148/1-Juan-Jose-Von-thaden-Ugalde-1

UICN. (2007). Defining Protected Areas. Recuperado de https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2008-106.pdf

UICN. (2018). La definición de acuerdos de conservación como mecanismos para distribución de beneficios para REDD. Recuperado de: https://www.iucn.org/es/content/la-definici%C3%B3n-de-acuerdos-de-conservaci%C3%B3n-como-mecanismos-para-distribuci%C3%B3n-de-beneficios

Universidad Autónoma de Nuevo León. (2025). ¿Qué es el desarrollo sustentable? - Secretaría de Sustentabilidad. Secretaría de Sustentabilidad. https://sds.uanl.mx/que-es-el-desarrollo-sustentable/

U.S. Department of Homeland Security. (2022). Global Positioning System (GPS) overview. Navigation Center. Recuperado 1 de abril de 2022, de https://www.navcen.uscg.gov/global-positioning-system-overview

Vaca, P. R., Lugo de la Fuente J.A., del Águila J.P. (2007). Información geográfica del Estado de México En: vertebrados del Estado de México. Ed. Universidad Autónoma del Estado de México. México.

Valdez Pérez, M. E., Mireles Lezama, P., & Orozco Hernández, M. E. (2012). Aplicación de los sistemas de información geográfica para ordenamientos ecológicos en Áreas Naturales Protegidas. Revista Geográfica De América Central., 2(47E). https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/1978

Verdugo Sandoval, G. (2009). Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del Gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros. Disponible en https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/100106

Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, Y. J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. https://www.redalyc.org/pdf/539/53906202.pdf

Vieyra Alberto Mayra & Soria Ruiz J. & Aguilar Marcelino, Liliana. (2022). El Cambio del Uso y Cobertura del Suelo, su Efecto y Vulnerabilidad del Ecosistema Nevado de Toluca.

https://www.researchgate.net/publication/366596827_El_Cambio_del_Uso_y_Cobertura_del_Suelo_su_Efecto_y_Vulnerabilidad_del_Ecosistema_Nevado_de_Toluca

Villers L, García L, López J (1998). Evaluación de los bosques templados en México: una aplicación en el parque nacional Nevado de Toluca. Investigaciones Geográficas 36: 7-21.

Wang, Y., Zhang, X., & Guo, Z. (2021). Estimation of tree height and aboveground biomass of coniferous forests in North China using stereo ZY-3, multispectral Sentinel-2, and DEM data. Ecological Indicators, 126. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107645

White, R. and Engelen, G. (1997) Cellular Automata as the Basis of Integrated Dynamic Regional Modelling. Environment and Planning B: Planning and Design, 24, 235-246. https://doi.org/10.1068/b240235

Wolfran, S. (1983). Statiscal Mechanics of Cellular Automata. Reviews Of Modern Physics 55, No. 3 (1983): 601–644., 55(3), https://files.wolframcdn.com/pub/www.stephenwolfram.com/pdf/statistical-mechanics-cellular-automata.pdf.

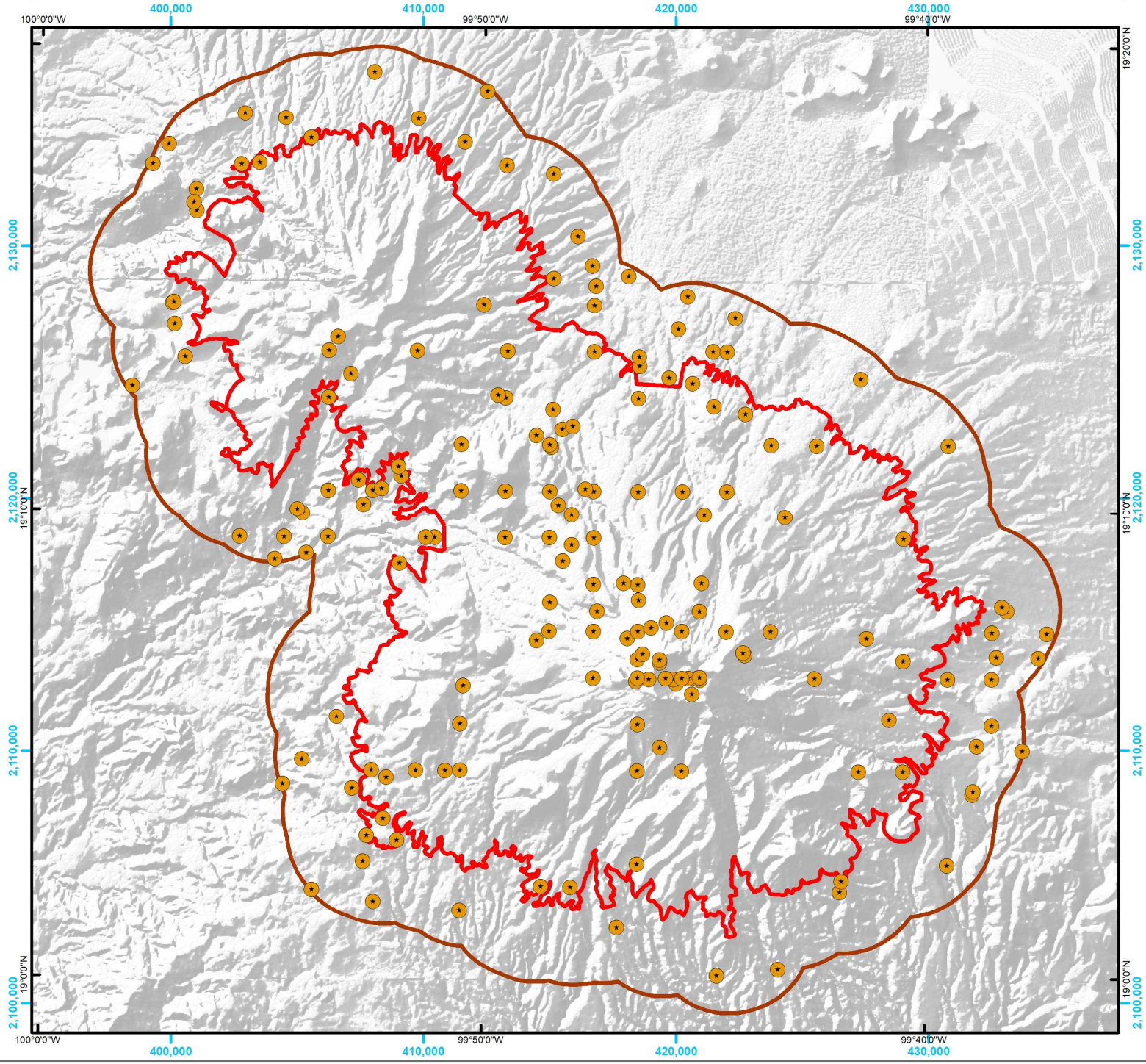
Xiao H., Xiang-Dong L. & Li-Hu D. (2021). How large is the difference in large-scale forest biomass estimations based on new climate-modified stand biomass models? Ecological Indicators, 126, 11. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107569

Yueting W., Xiaoli Z. & Zhengqi G. (2021). Estimation of tree height and aboveground biomass of coniferous forests in North China using stereo ZY-3, multispectral Sentinel-2, and DEM data, Ecological Indicators, 126, 12. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107645

Zorogastúa Cruz, Percy; Quiroz Guerra, Roberto; Garatuza Payán, Jaime. (2011). Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura - Perú. Ecología Aplicada, 10, 13-22.

Anexos

Mapa de puntos de muestreo utilizados para la clasificación de imágenes y fotointerpretación del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Puntos de muestreo



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

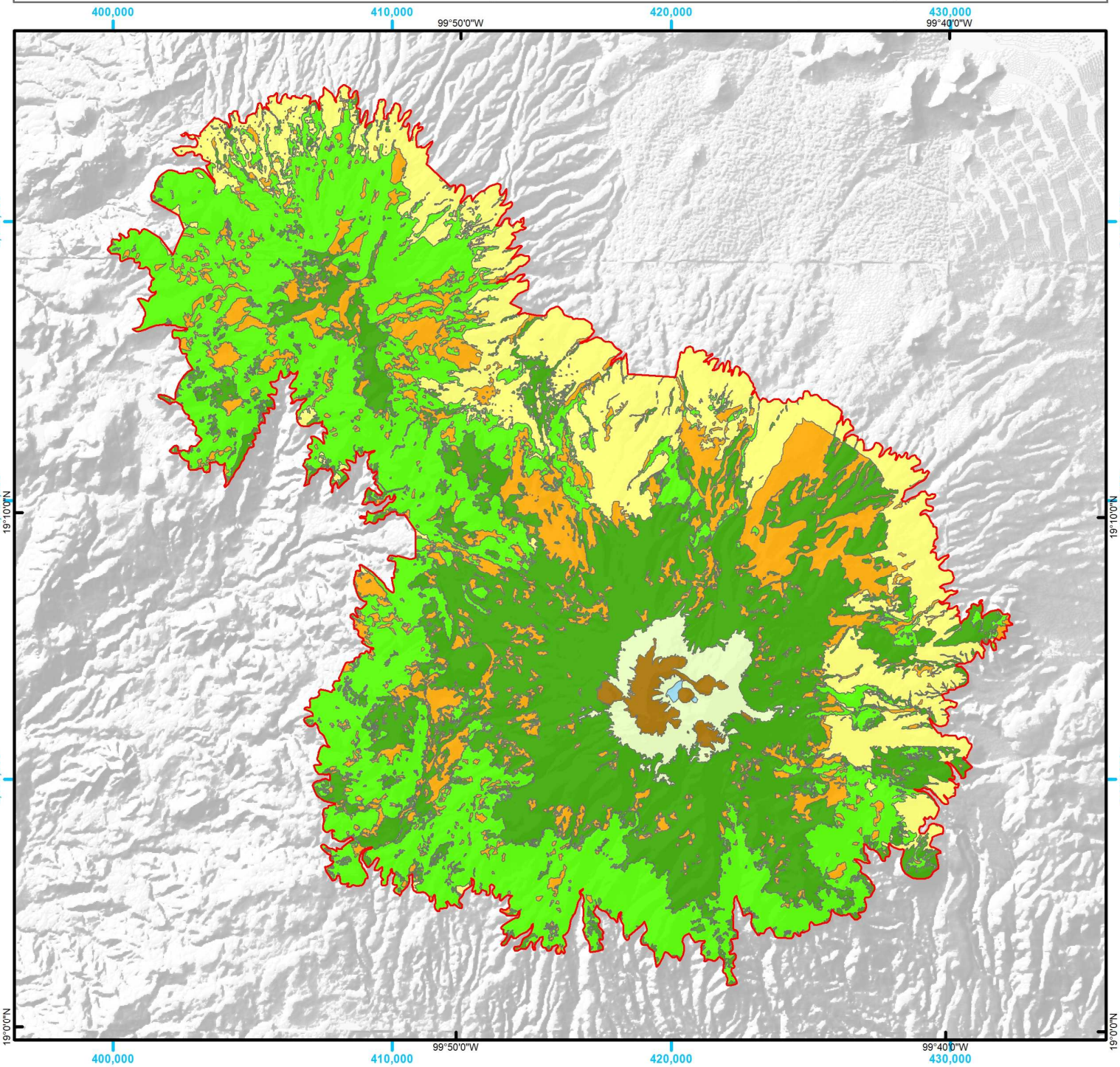
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1970 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

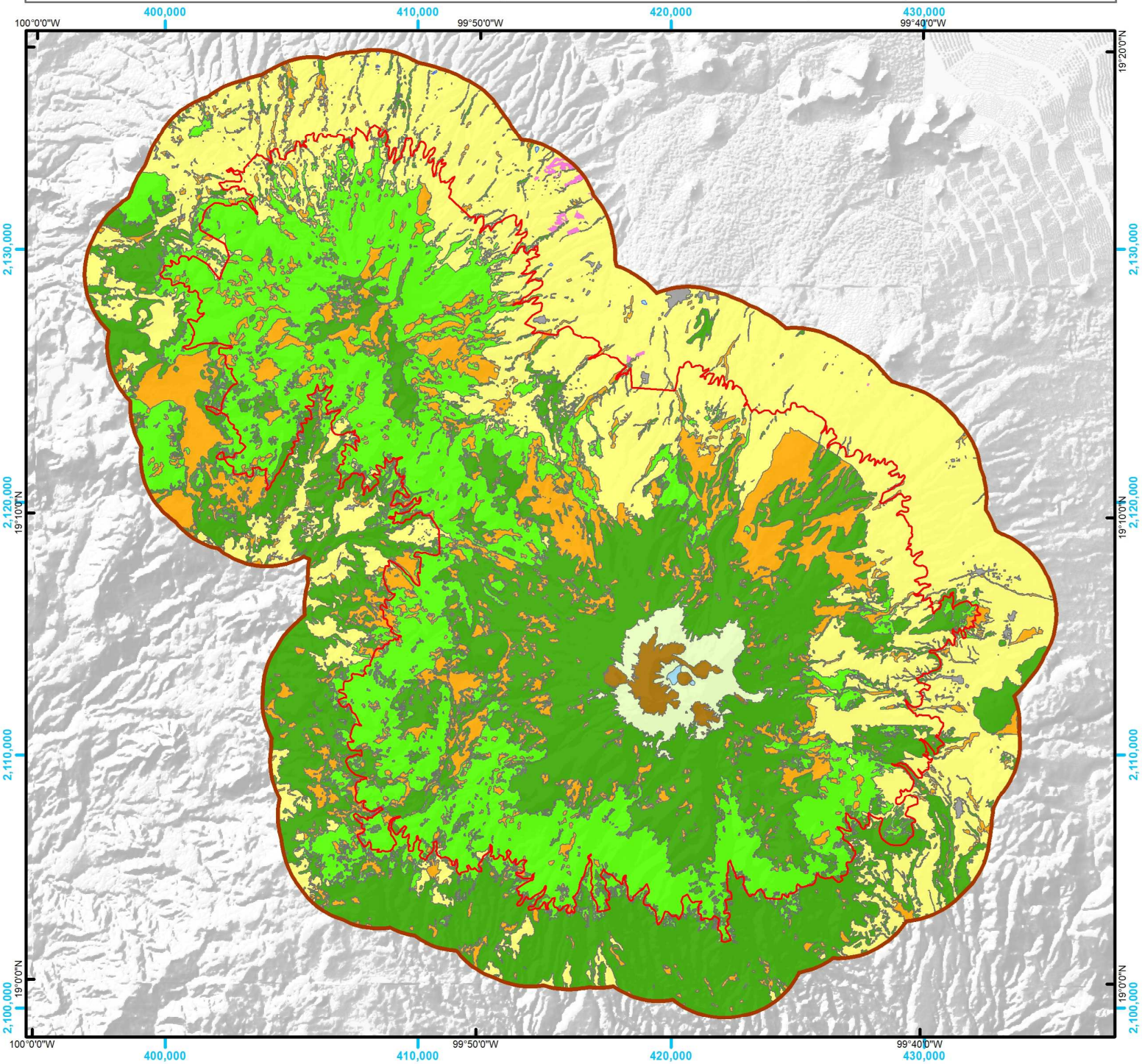
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1970 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos

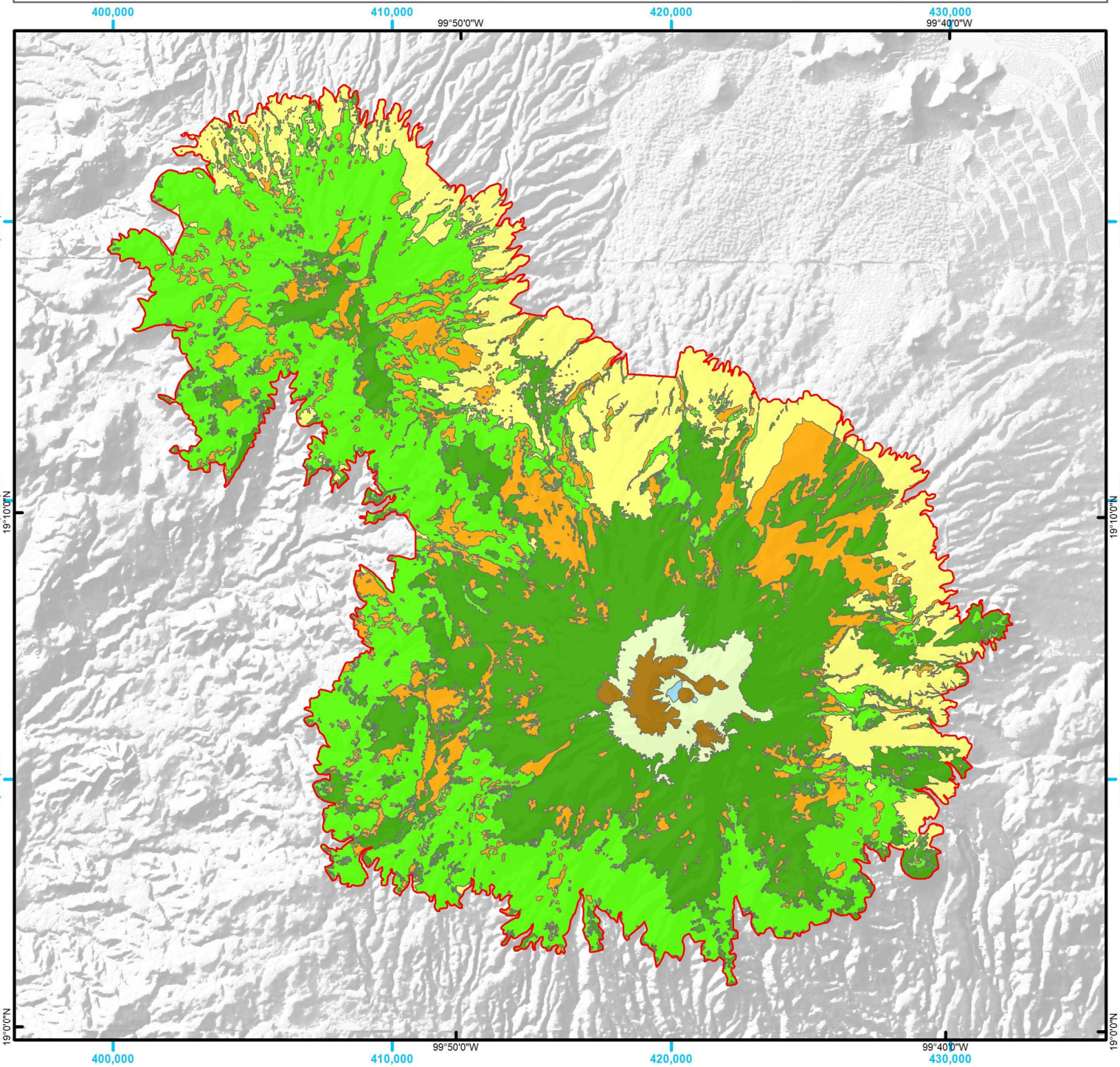
Sistema de referencia:
Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N

Fecha de elaboración

Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1975 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

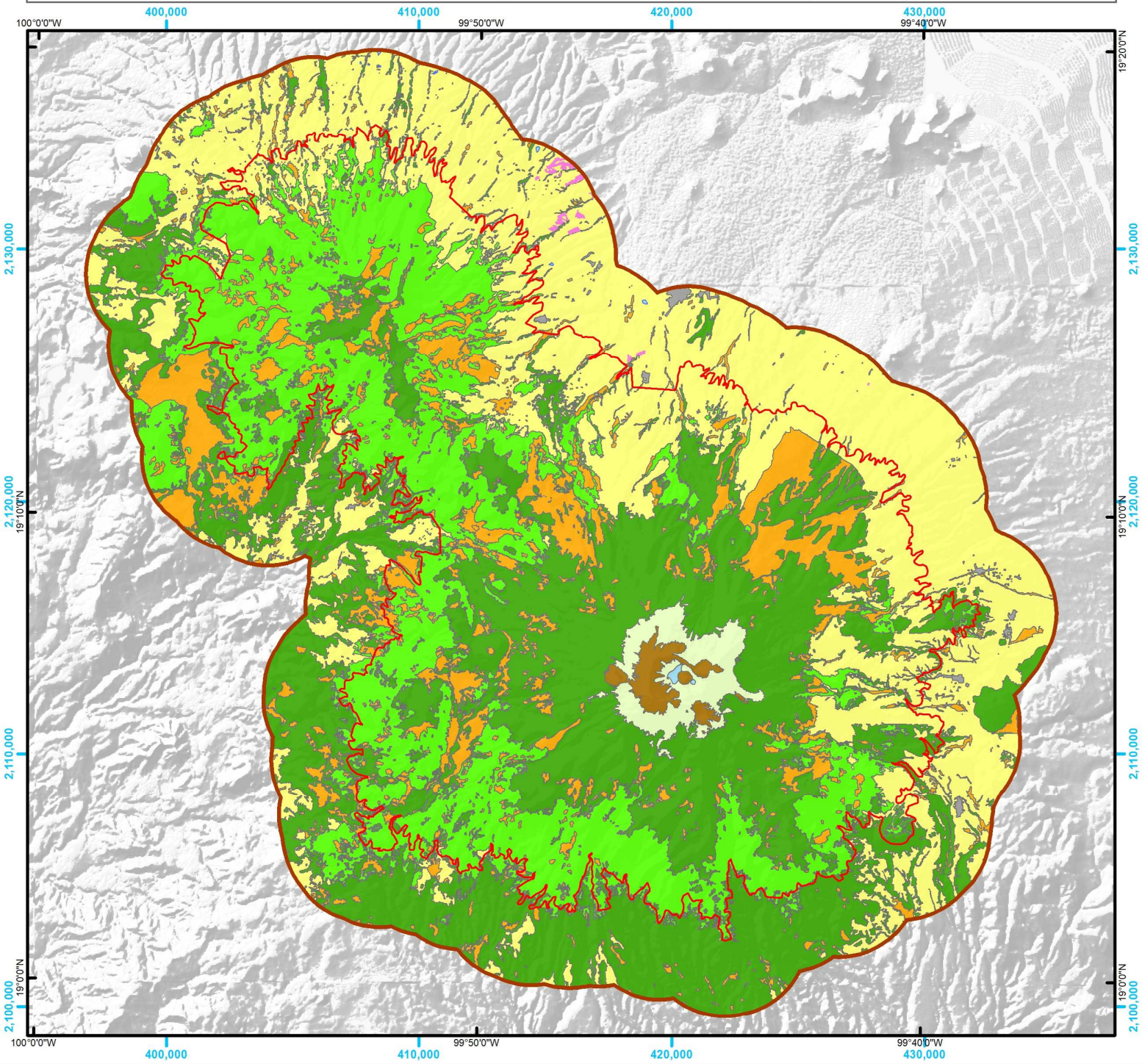
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1975 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

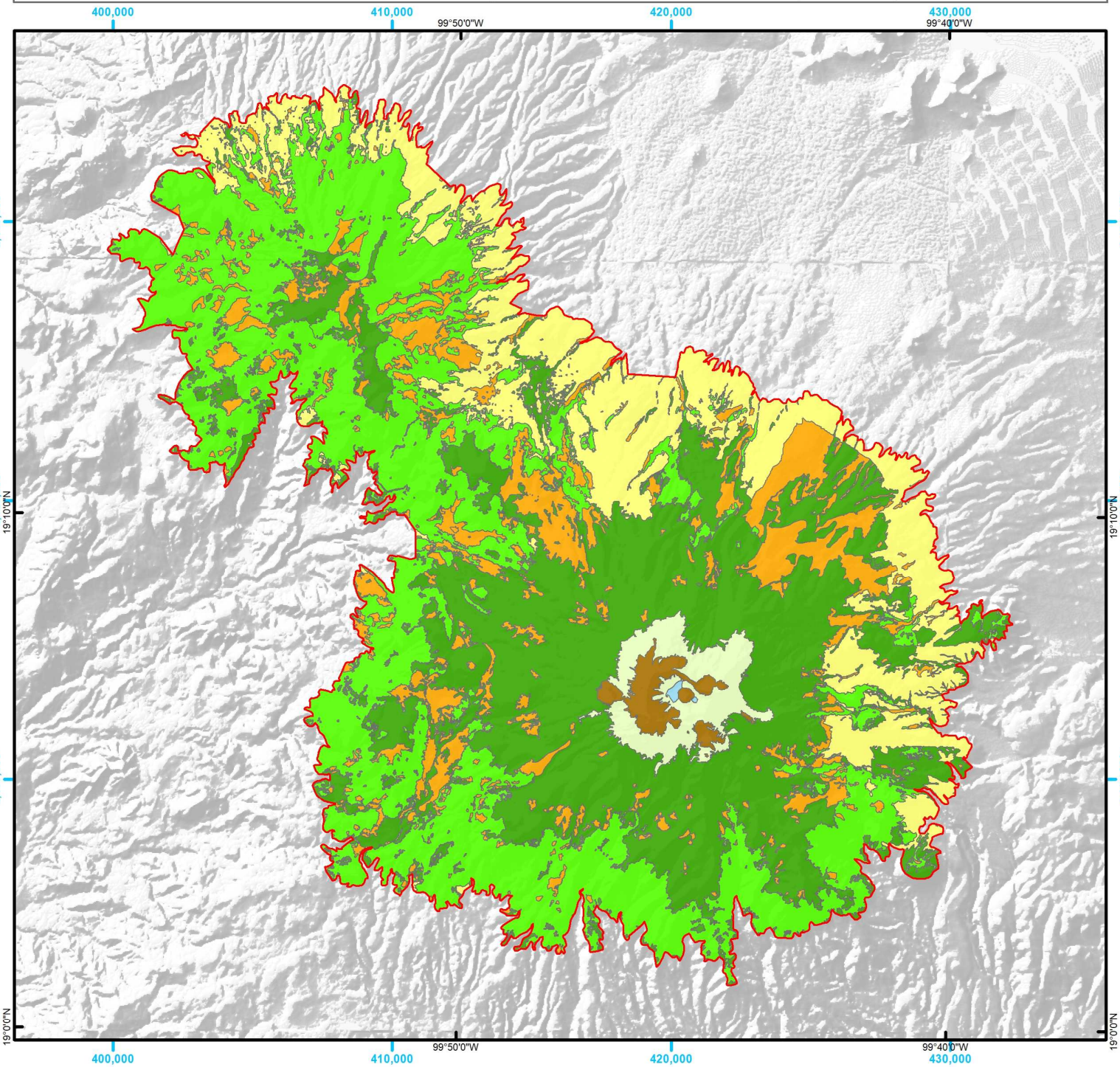
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1980 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

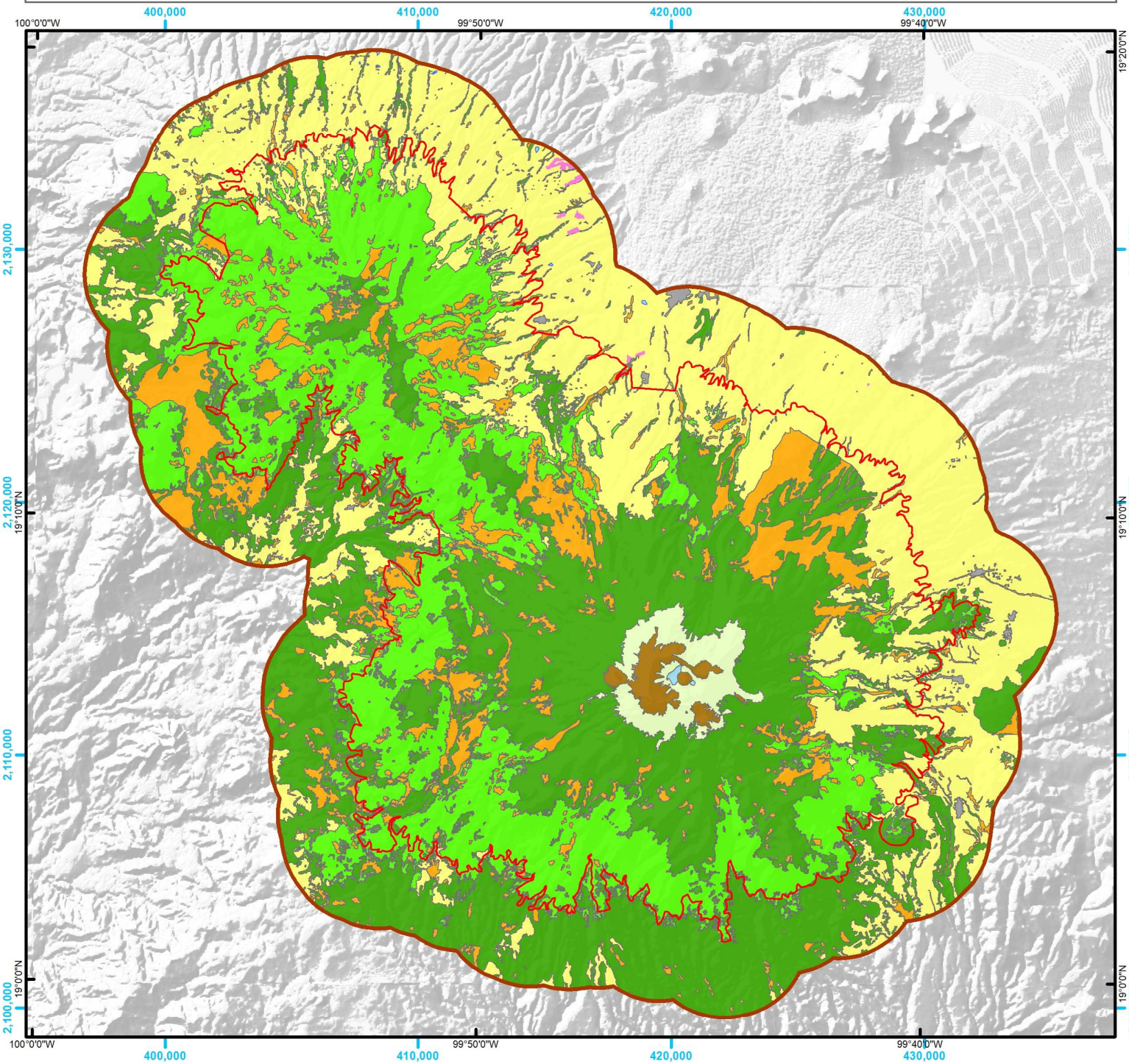
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1980 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos

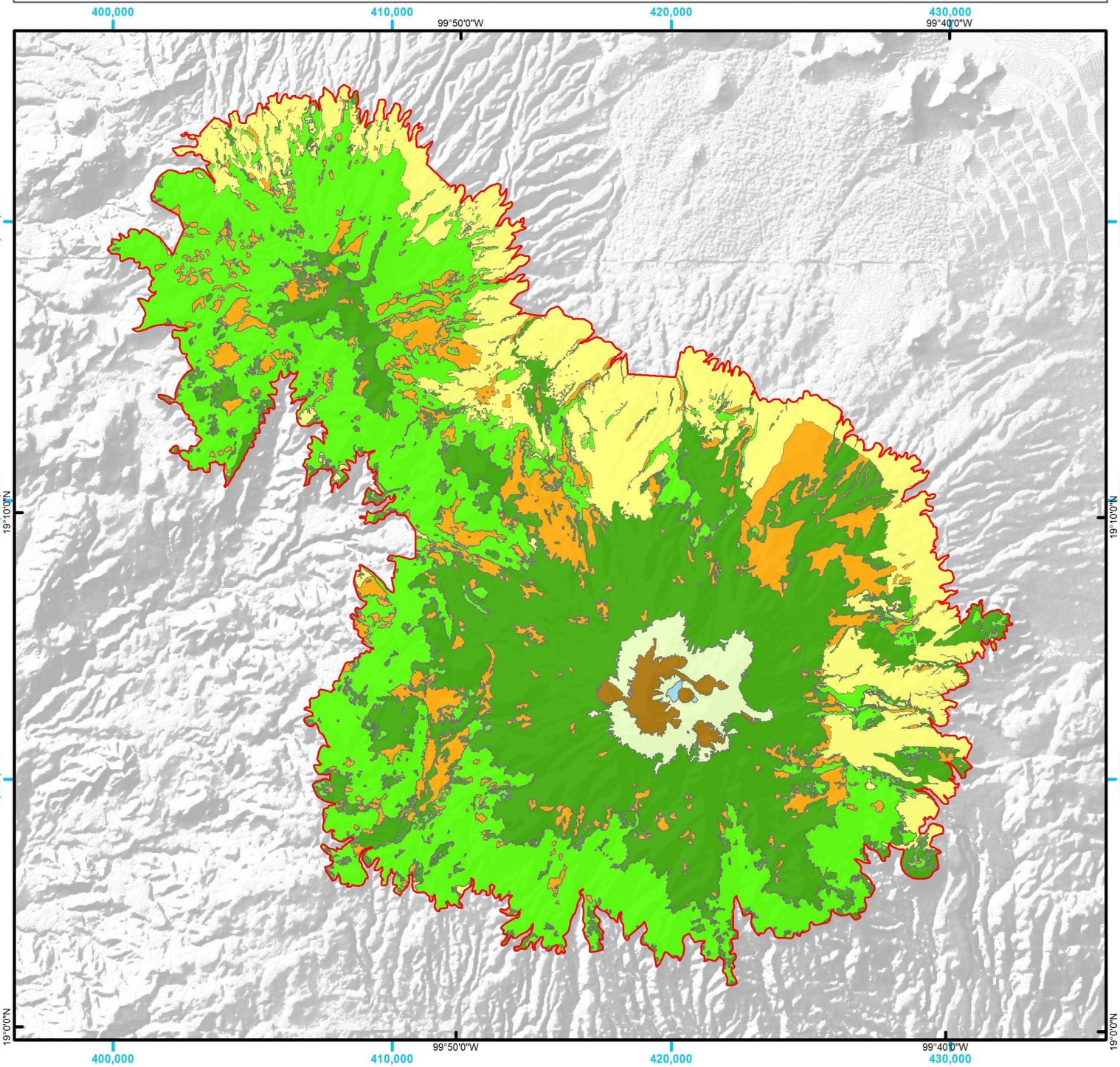
Sistema de referencia:
Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N

Fecha de elaboración

Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1985 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

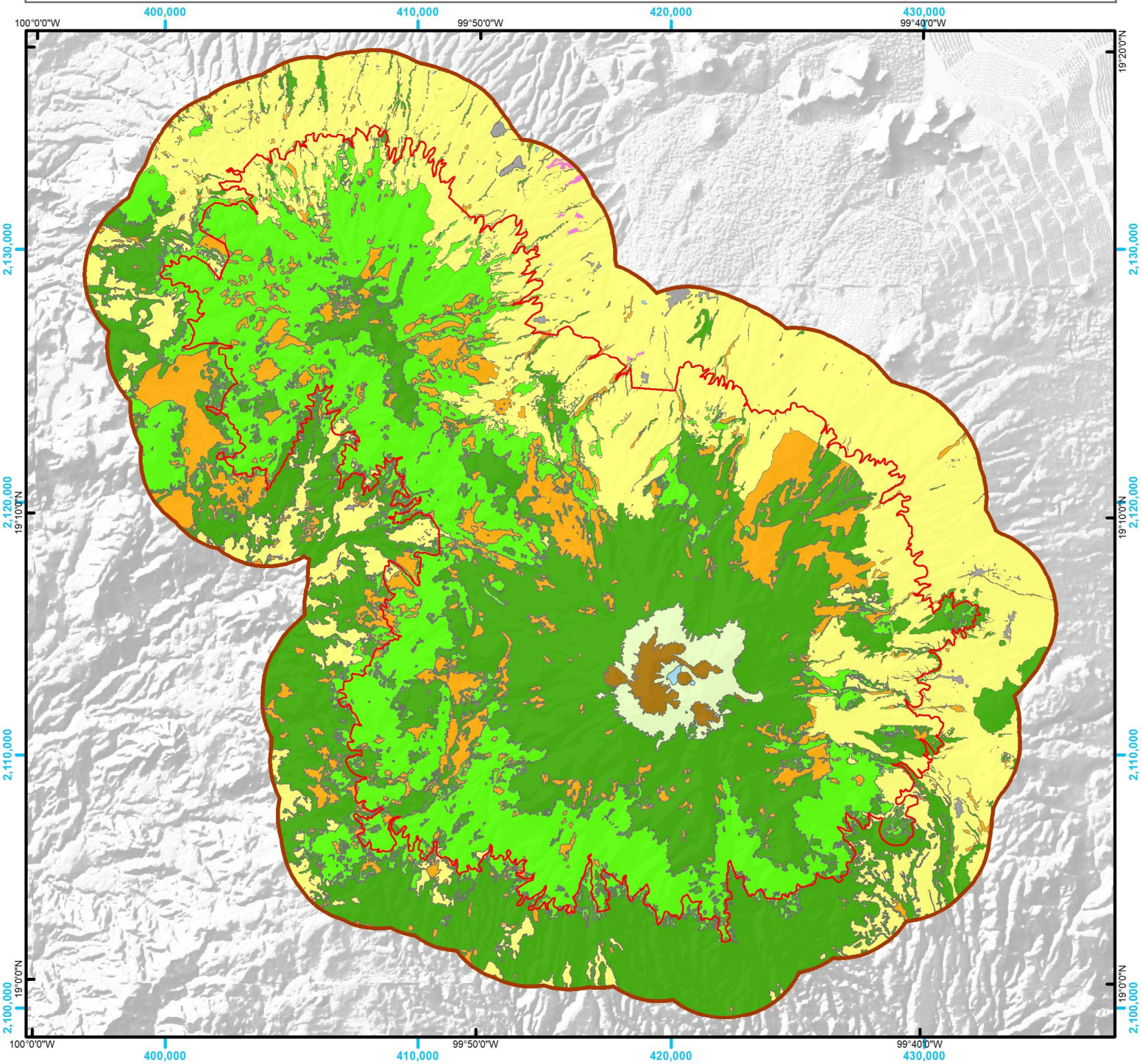
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1985 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

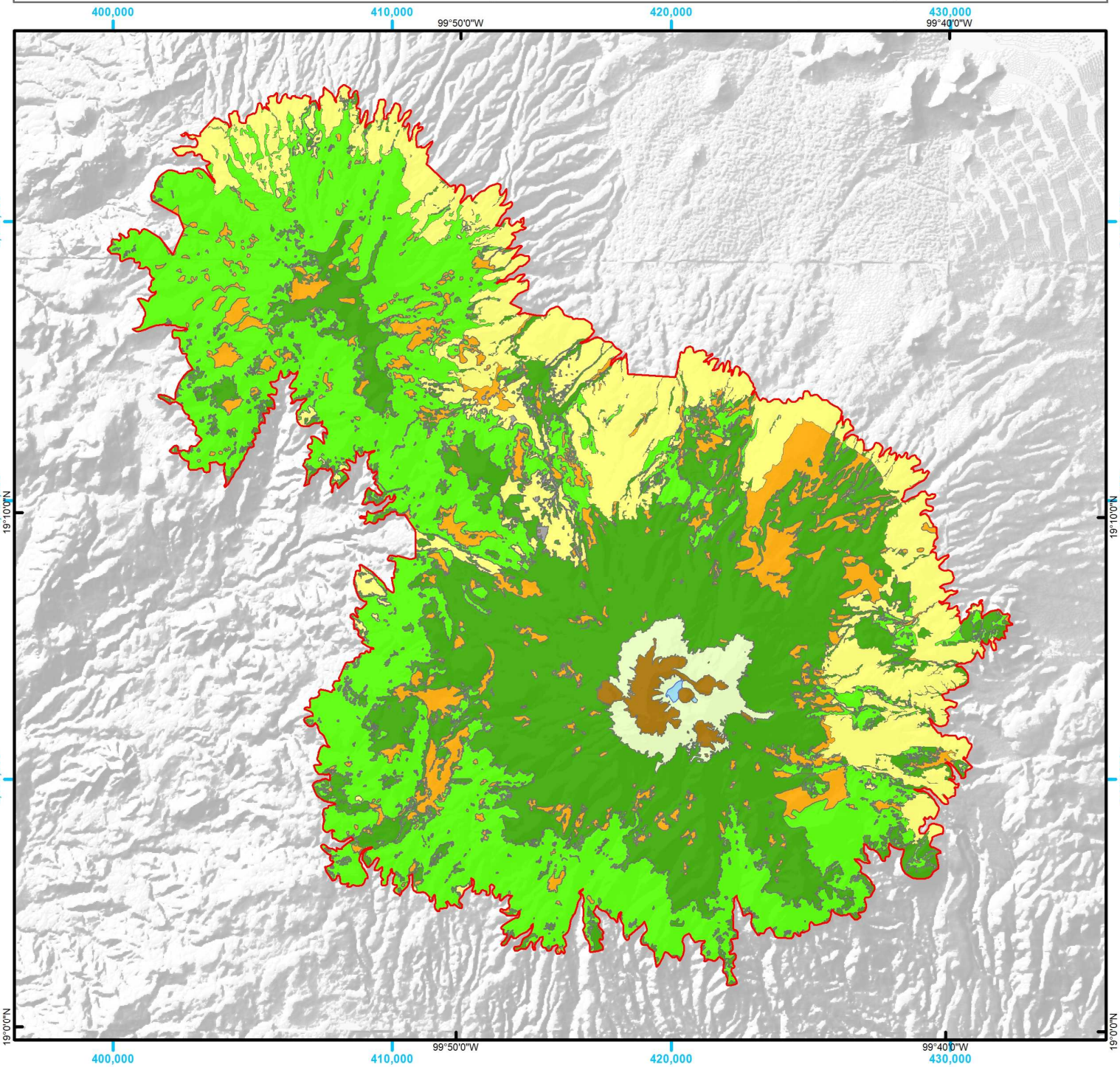
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1990 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

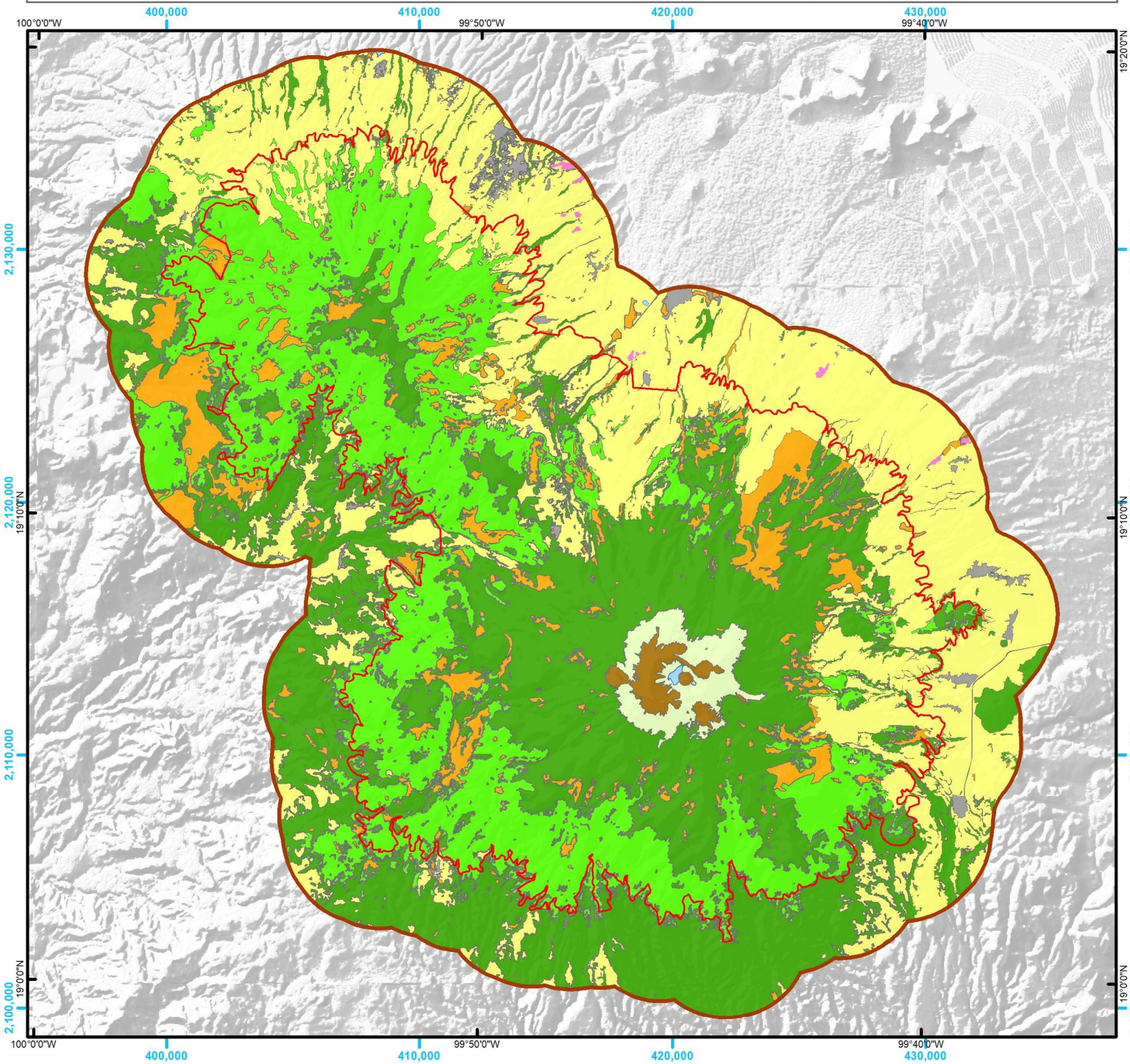
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1990 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

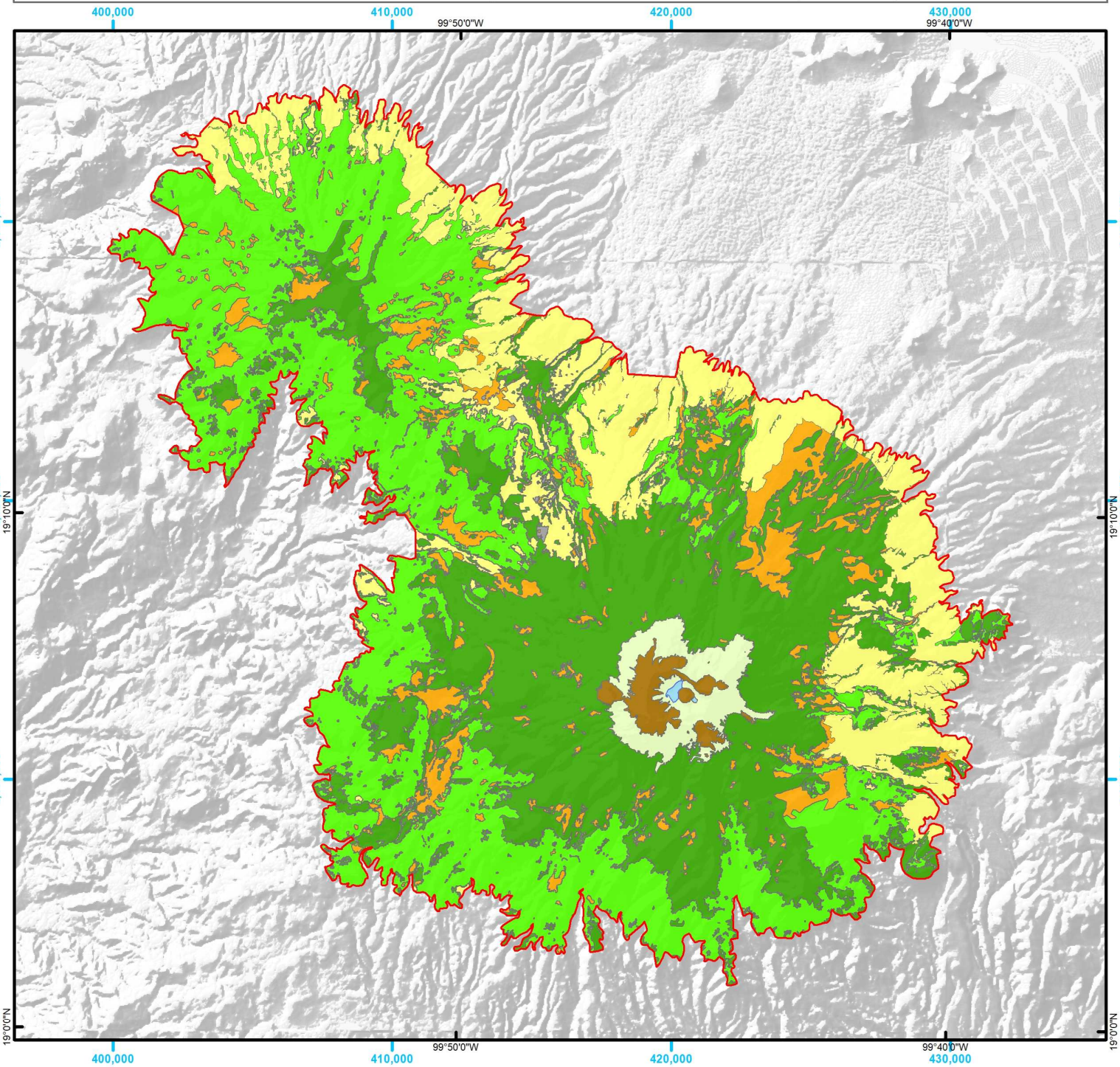
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1995 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

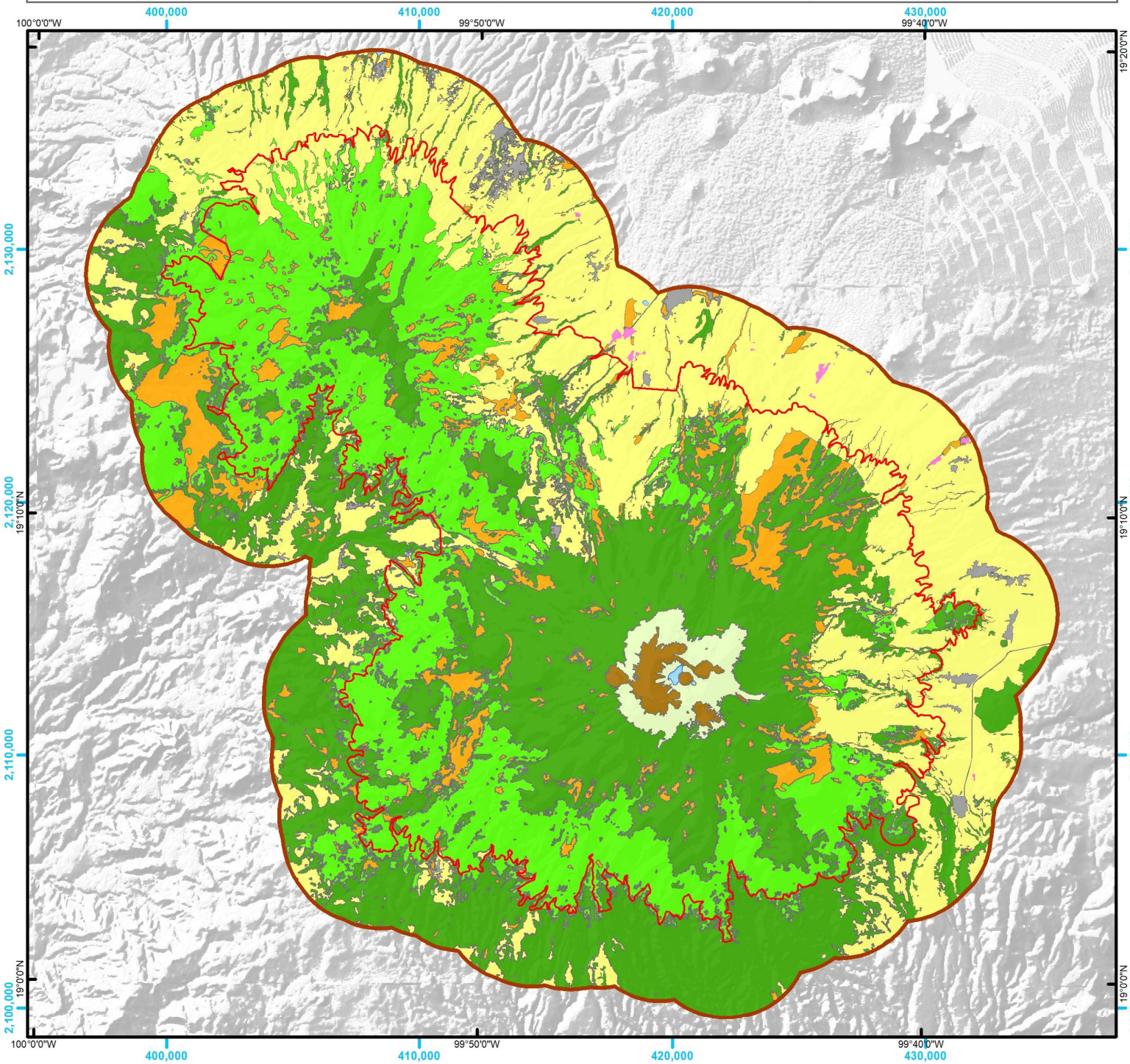
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 1995 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

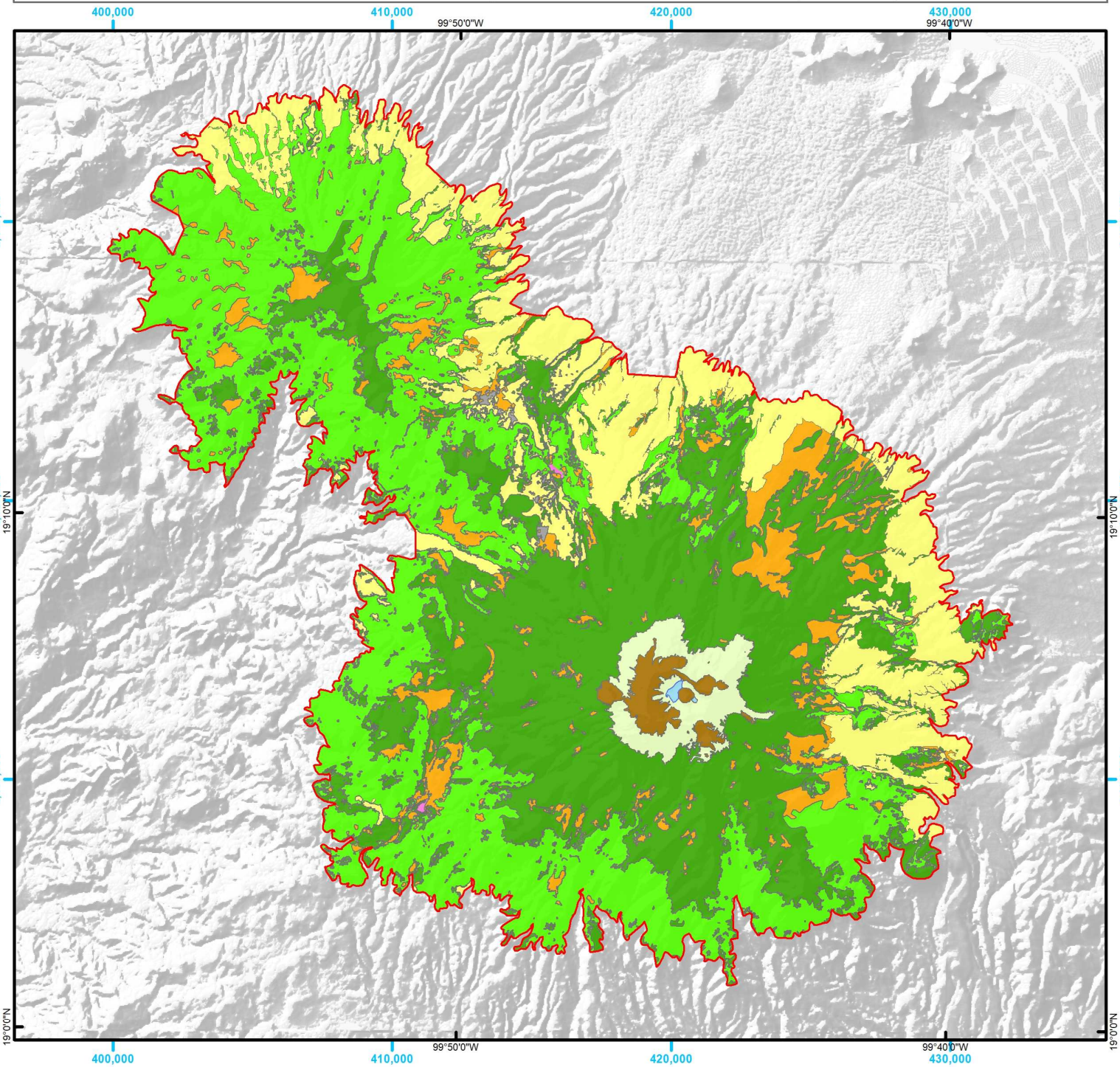
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2000 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

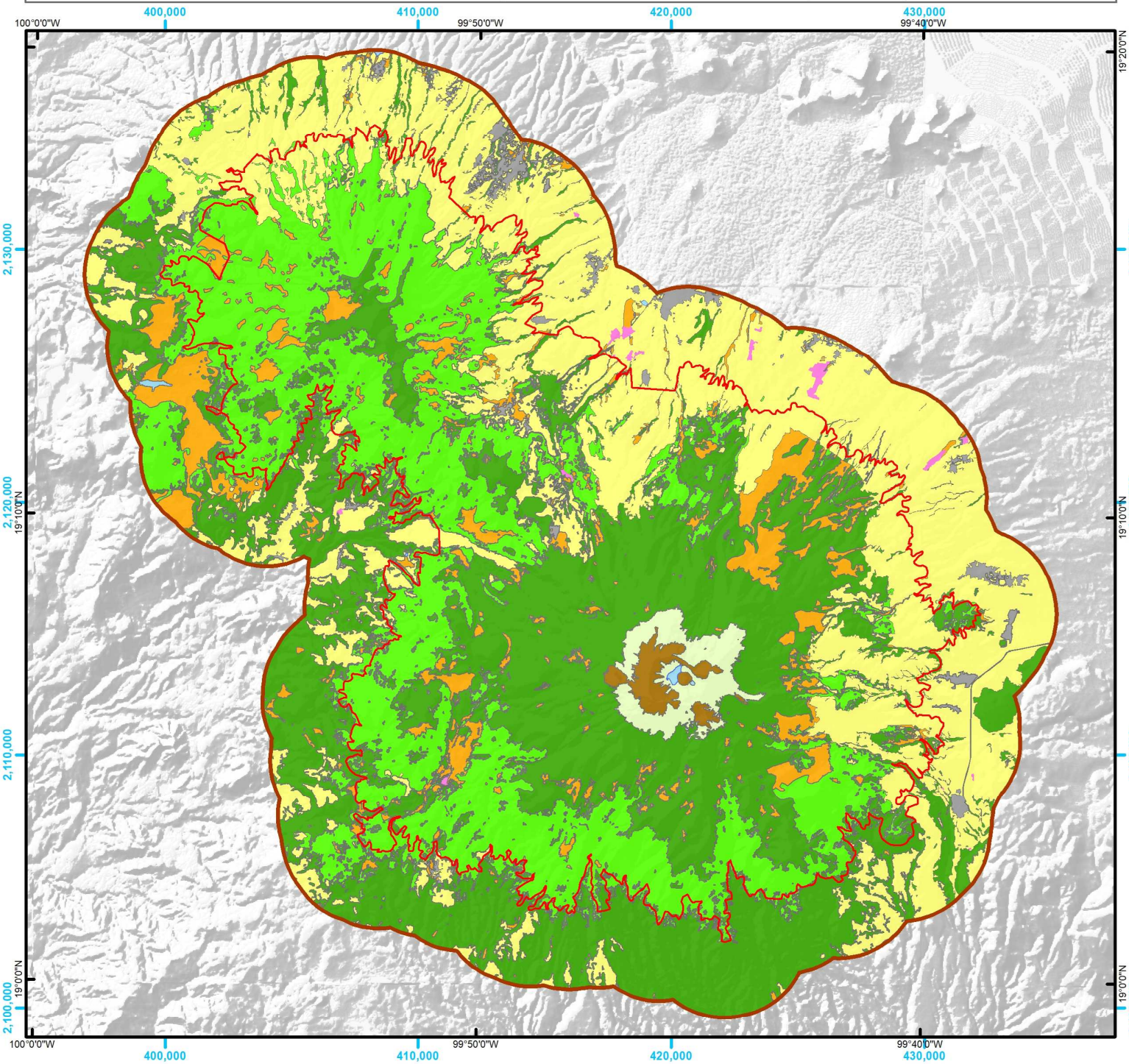
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2000 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

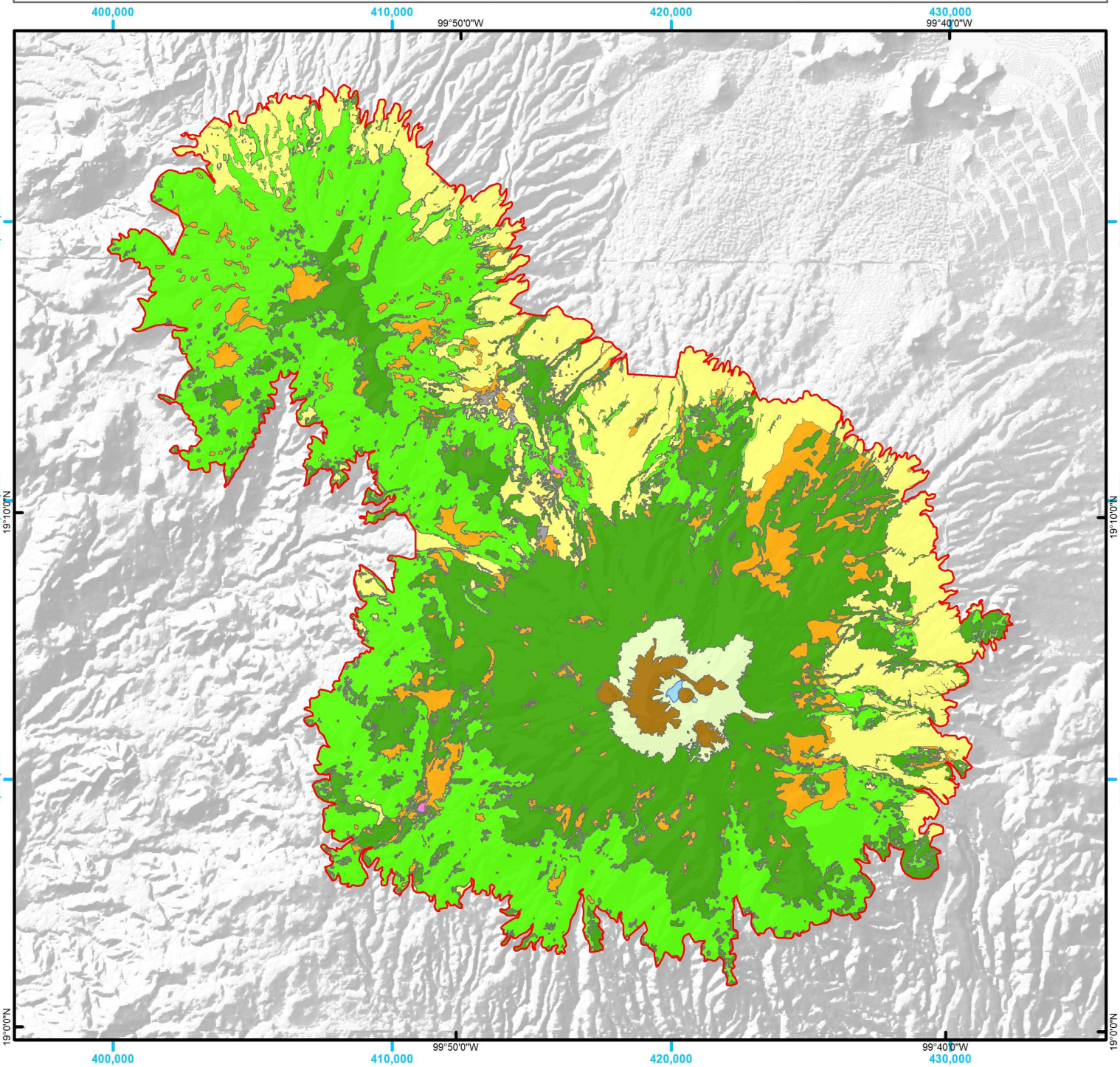
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2005 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

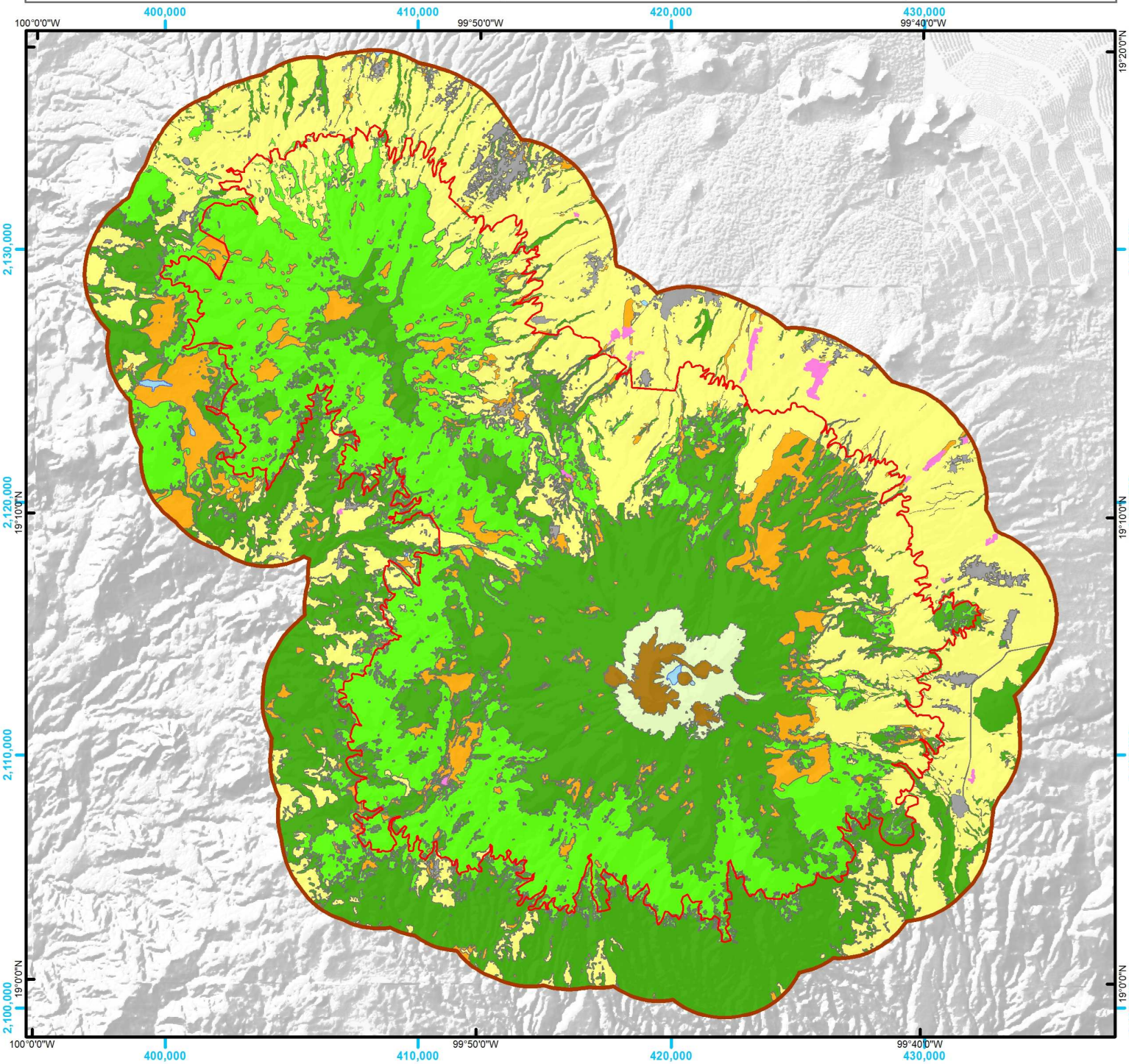
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2005 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos

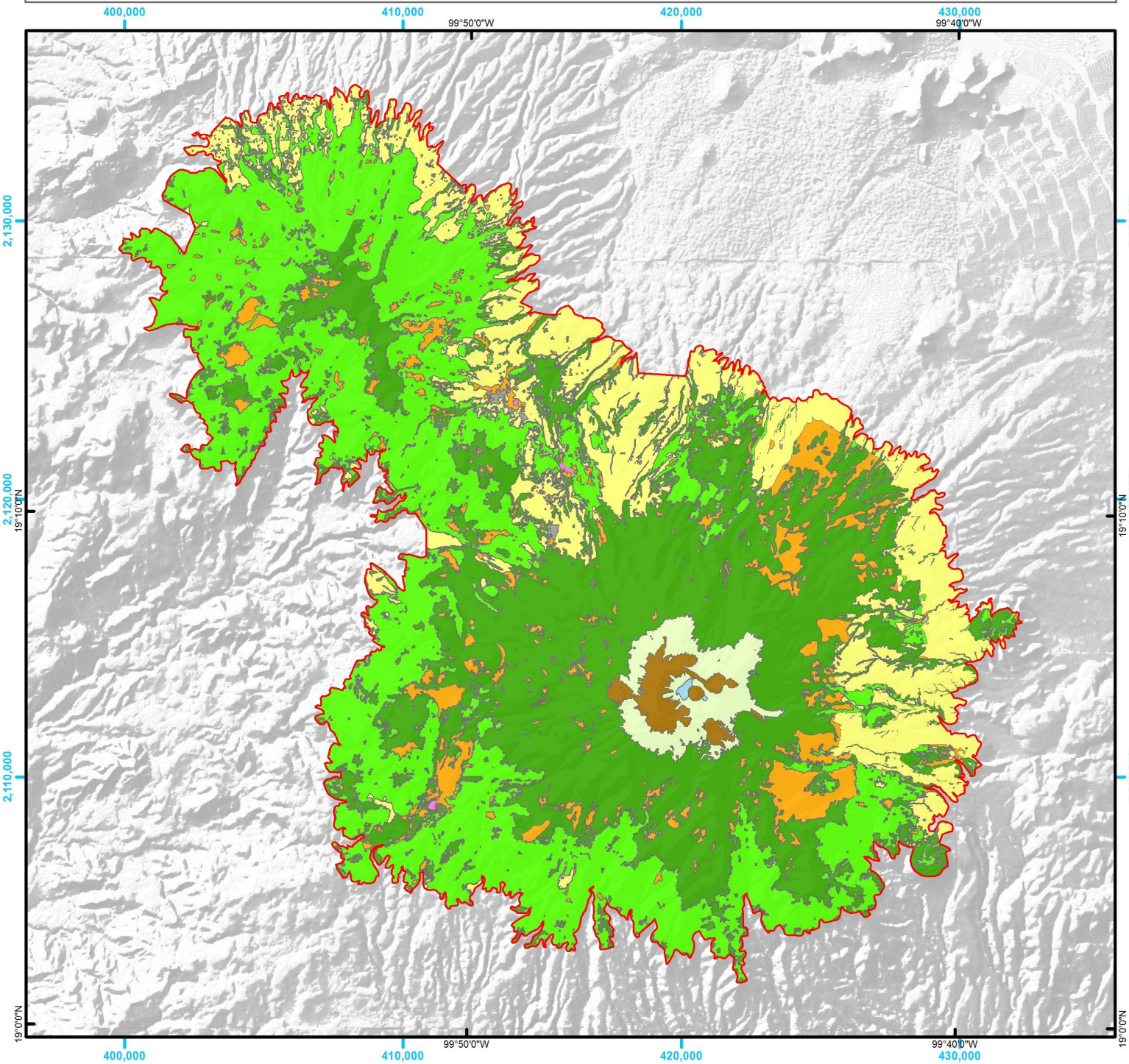
Sistema de referencia:
Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N

Fecha de elaboración

Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2010 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

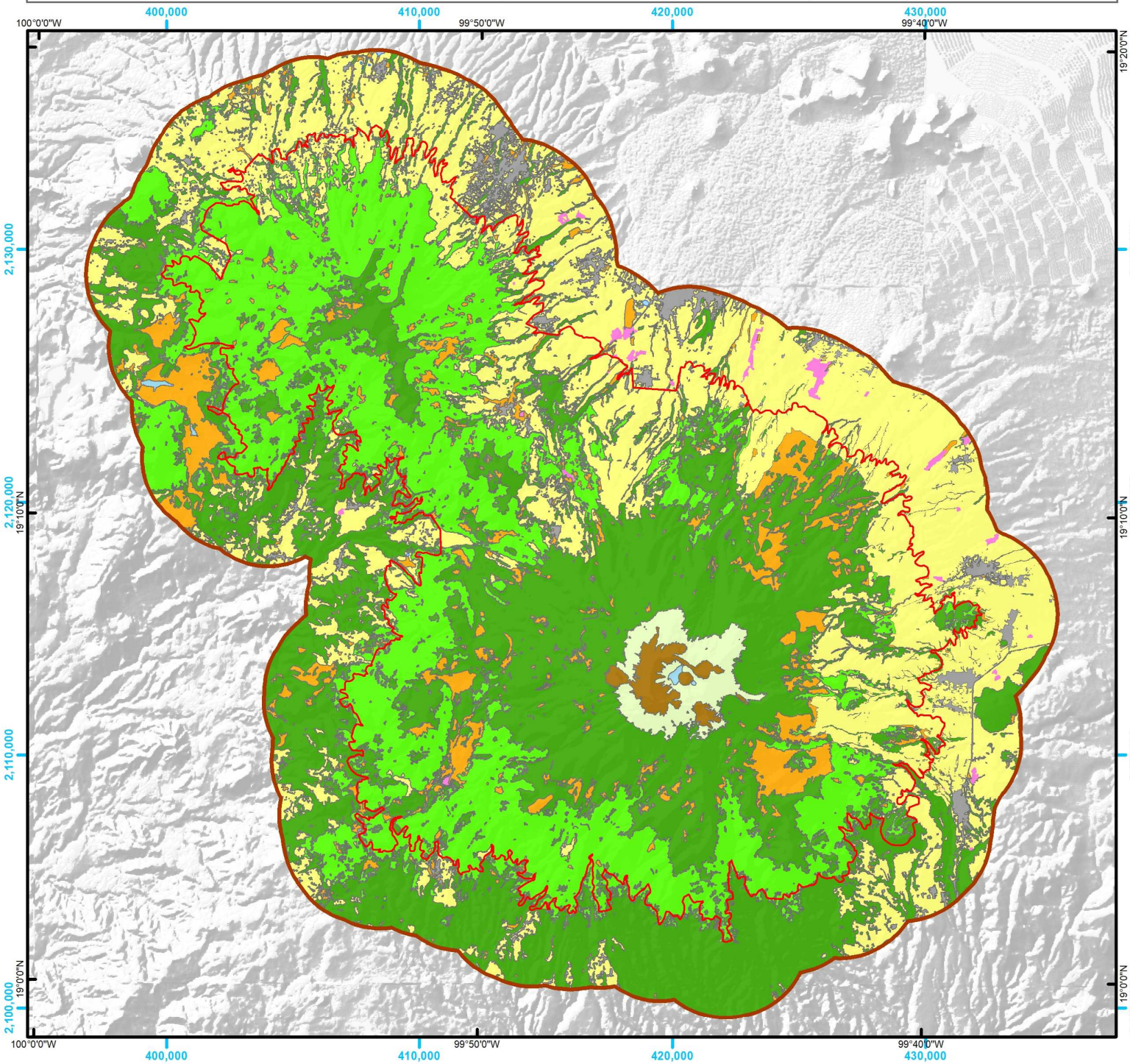
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2010 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

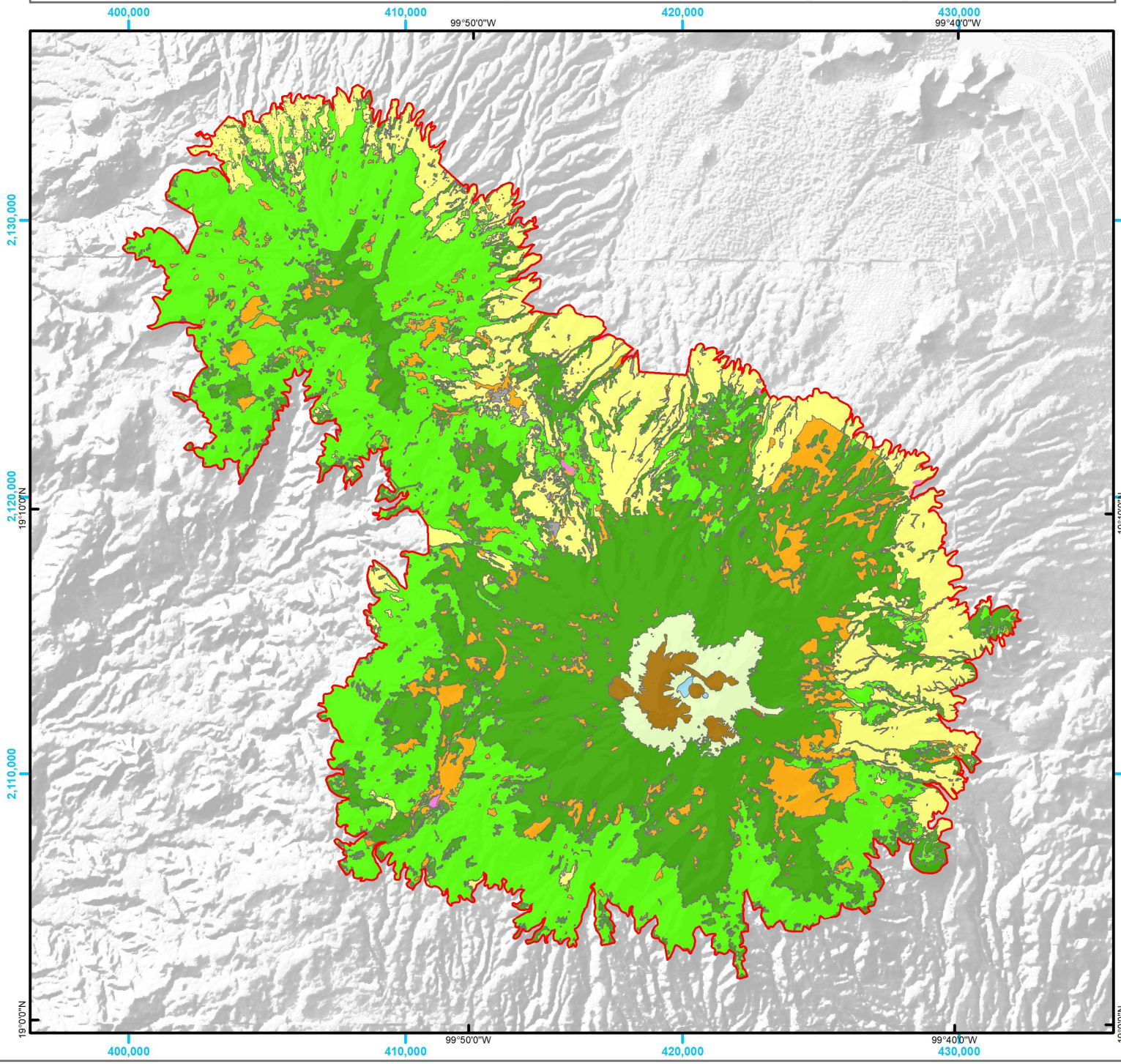
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2015 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

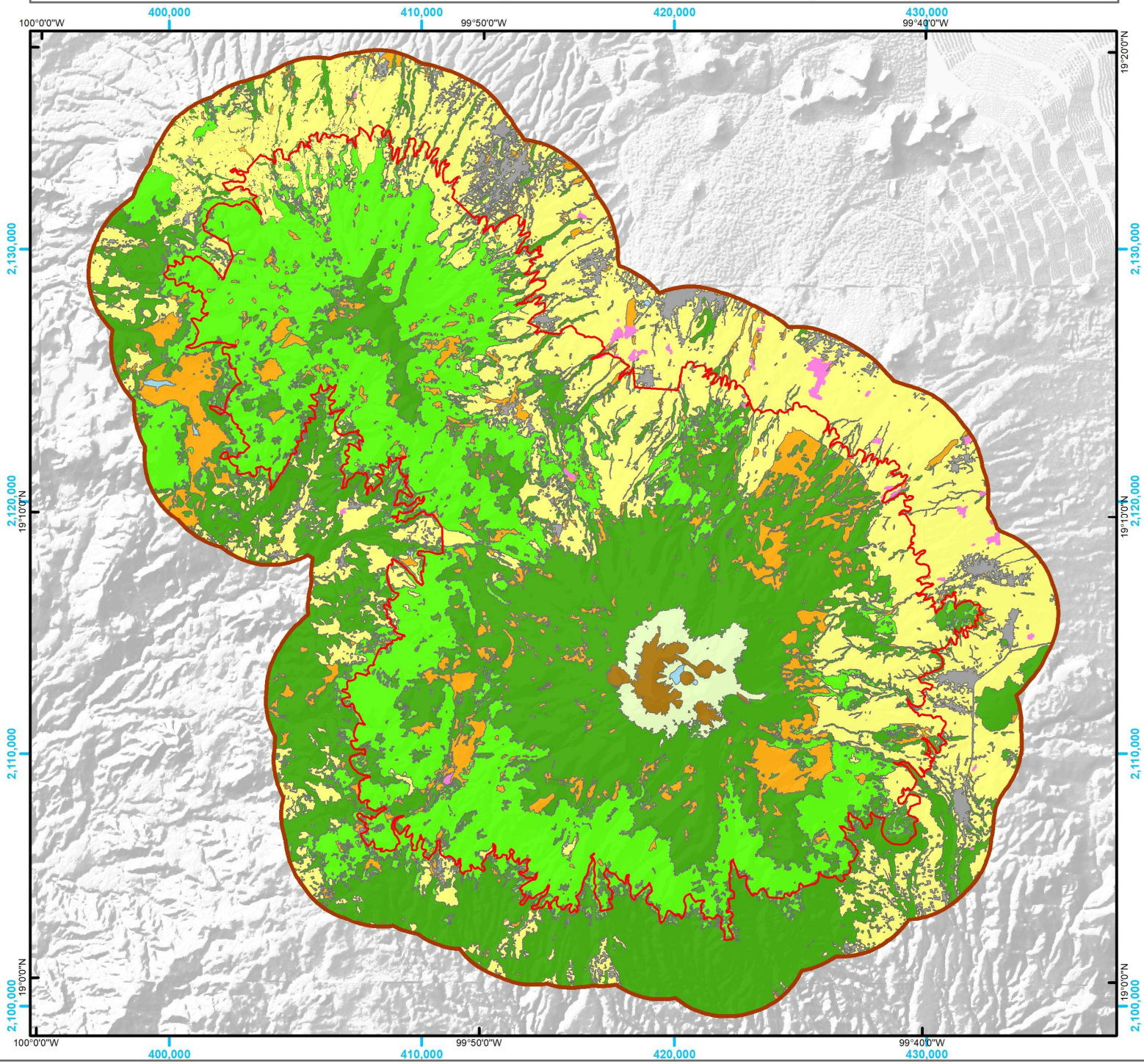
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2015 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

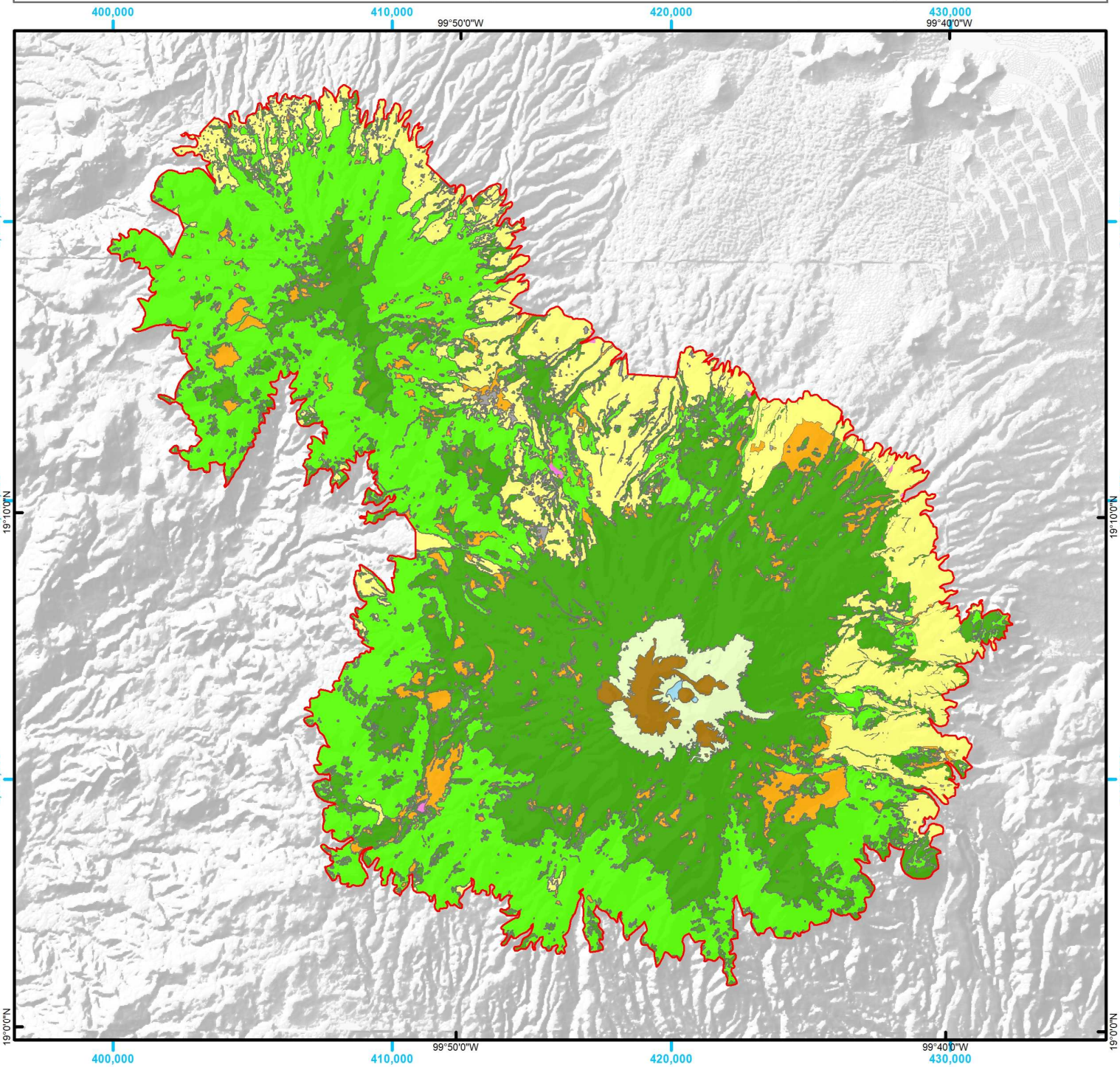
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2020 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:200,000

Escala gráfica

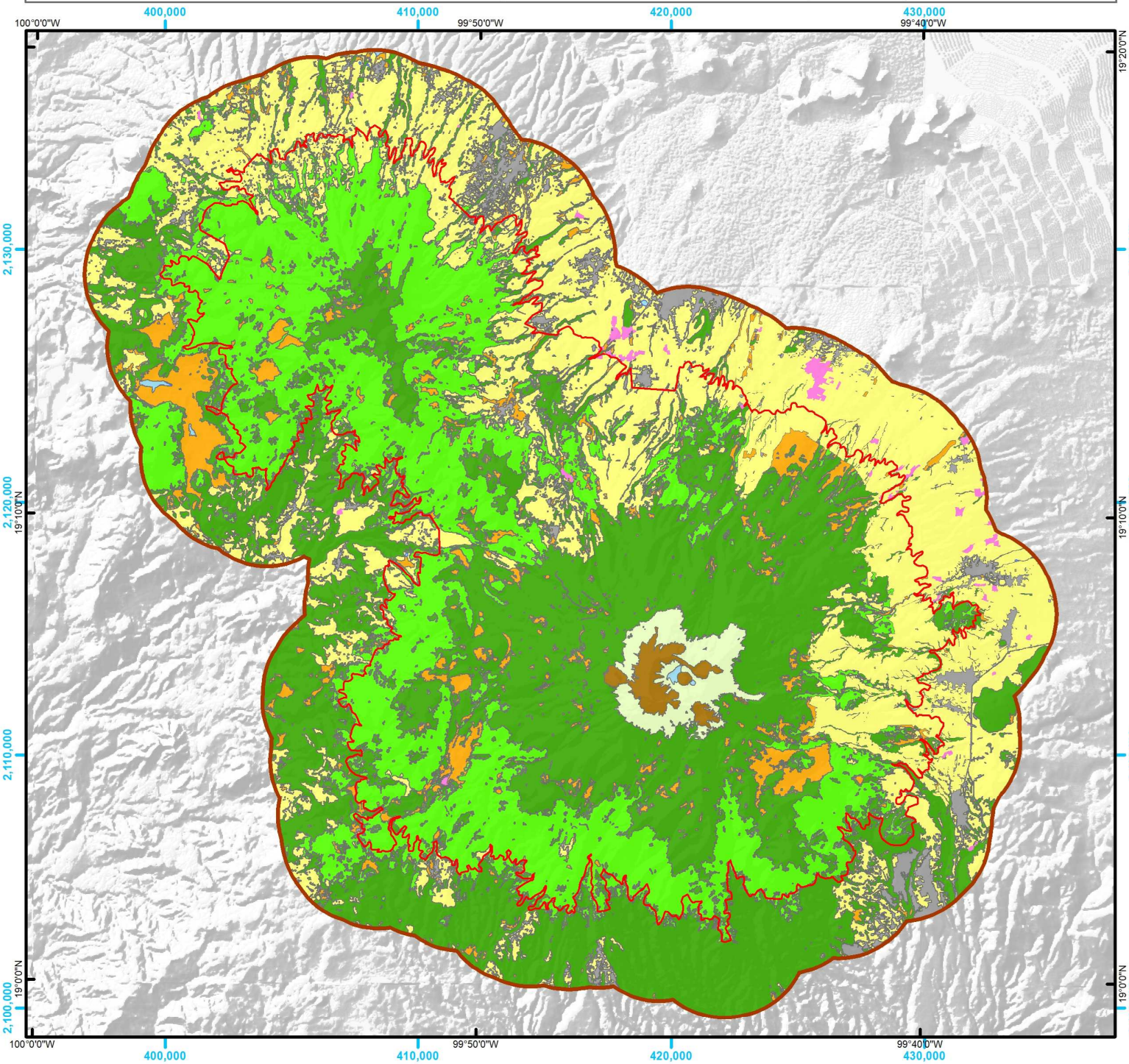
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2020 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"

Simbología Temática

- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Desprovisto de vegetación
- Mina de arena
- Pastizal
- Pastizal alpino
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:220,000

Escala gráfica

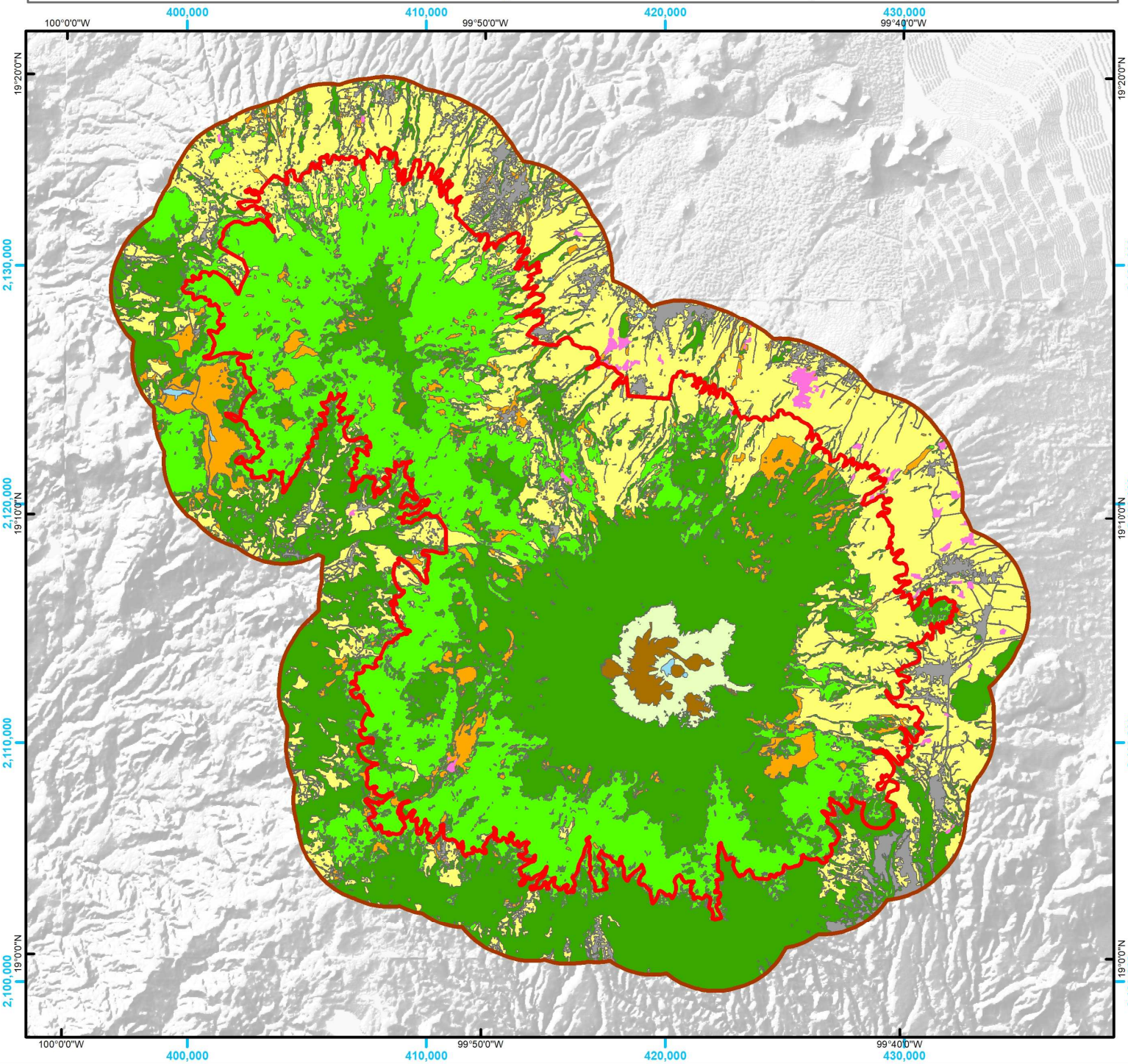
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2030 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"
- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Mina de arena
- Pastizal
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:232,937

Escala gráfica

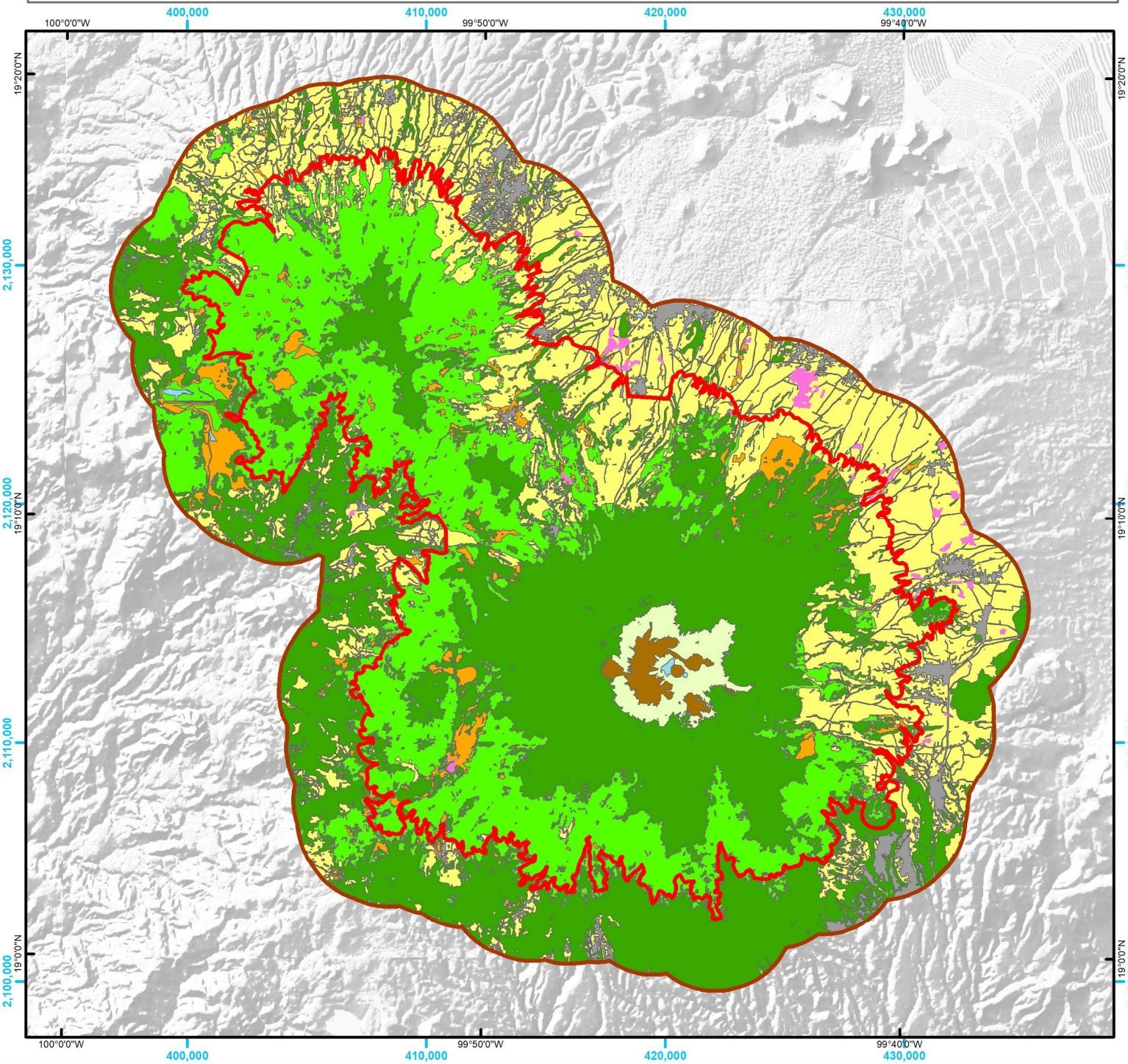
0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2045 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"
- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Mina de arena
- Pastizal
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:232,937

Escala gráfica

0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos

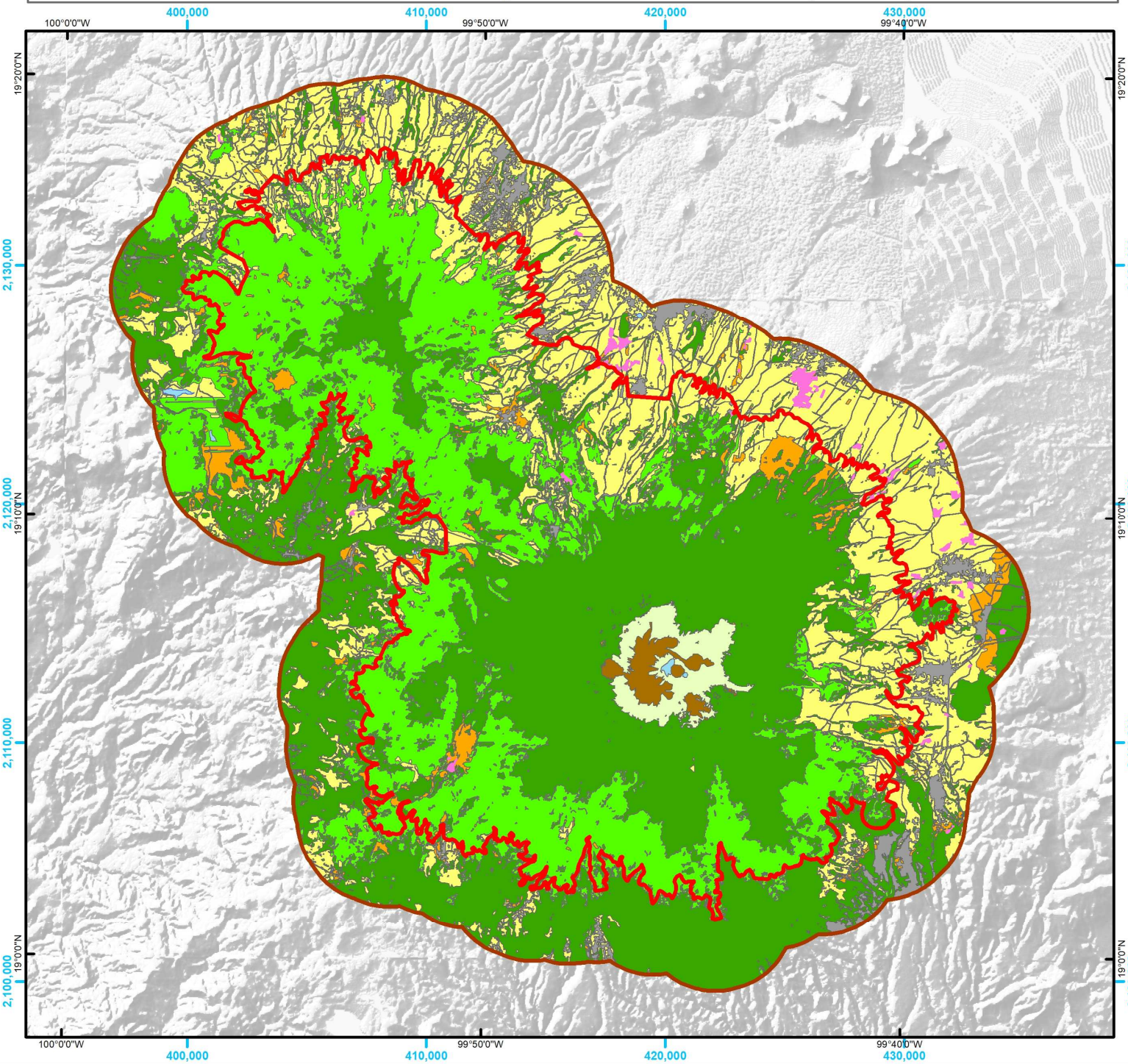
Sistema de referencia:
Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N

Fecha de elaboración

Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Mapa de vegetación y uso de suelo 2060 del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Simbología

- Límite del área de estudio
- Límite del "Área de Protección Flora y Fauna Nevado Toluca"
- Agrícola
- Agua
- Bosque de Coniferas: Oyamel, Ayarin y Cedro
- Bosque de Coniferas: de Pino y Tascate
- Mina de arena
- Pastizal
- Asentamientos humanos



Escala numérica

1:232,937

Escala gráfica

0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12

Kilometros

Datos cartográficos	Fecha de elaboración
Sistema de referencia: Datum geodésico: WGS 84 UTM ZONA 14 N	Abril 2024

Fuente: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico (2022) del INEGI y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos, el límite de Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca fue tomado de la CEPANAF.

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1970 - 1975

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 1975 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9094.50	16.97	9082.14	16.95	16.92	1.49	4.56	0.40	9.12	0.02	10.74	0.02	6.18	0.01
Agua	25.84	0.05	25.84	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	16946.22	31.62	17476.74	32.61	223.68	19.64	754.19	66.22	447.36	0.83	488.93	0.91	265.26	0.49
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18009.33	33.61	18170.89	33.91	2.68	0.24	164.24	14.42	5.36	0.01	83.46	0.16	80.78	0.15
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	590.59	1.10	0.00	0.00	1.52	0.13	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	7463.64	13.93	6798.29	12.69	879.83	77.25	214.48	18.83	428.96	0.80	547.15	1.02	332.68	0.62
Pastizal alpino	1451.98	2.71	1436.10	2.68	15.88	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	7.94	0.01	7.94	0.01
Asentamientos humanos	9.28	0.02	9.28	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**1138.99**	**100.00**	**1138.99**	**100.00**	**890.79**	**1.66**	**1138.99**	**2.13**	**693.59**	**1.29**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1970 - 1980

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 1980 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9094.50	16.97	9072.22	16.93	65.64	3.79	43.36	2.50	86.72	0.16	54.50	0.10	11.14	0.02
Agua	25.84	0.05	25.84	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	16946.22	31.62	17707.97	33.04	243.44	14.05	1005.19	58.02	486.87	0.91	624.31	1.16	380.88	0.71
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18009.33	33.61	18425.65	34.38	1.32	0.08	417.64	24.11	2.64	0.00	209.48	0.39	208.16	0.39
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	7463.64	13.93	6343.05	11.84	1386.47	80.03	265.88	15.35	531.75	0.99	826.17	1.54	560.29	1.05
Pastizal alpino	1451.98	2.71	1416.79	2.64	35.56	2.05	0.36	0.02	0.72	0.00	17.96	0.03	17.60	0.03
Asentamientos humanos	9.28	0.02	9.28	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**1732.42**	**100.00**	**1732.42**	**100.00**	**1108.71**	**2.07**	**1732.42**	**3.23**	**1178.07**	**2.20**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1970 - 1985

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 1985 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9094.50	16.97	9112.02	17.00	139.28	6.07	156.80	6.84	278.56	0.52	148.04	0.28	8.76	0.02
Agua	25.84	0.05	25.84	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	16946.22	31.62	18030.89	33.65	272.16	11.87	1356.83	59.18	544.31	1.02	814.49	1.52	542.33	1.01
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18009.33	33.61	18477.29	34.48	17.92	0.78	485.87	21.19	35.84	0.07	251.90	0.47	233.98	0.44
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	590.59	1.10	0.00	0.00	1.52	0.07	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	7463.64	13.93	5930.74	11.07	1824.26	79.57	291.36	12.71	582.71	1.09	1057.81	1.97	766.45	1.43
Pastizal alpino	1451.98	2.71	1413.23	2.64	39.12	1.71	0.36	0.02	0.72	0.00	19.74	0.04	19.38	0.04
Asentamientos humanos	9.28	0.02	9.28	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**2292.74**	**100.00**	**2292.74**	**100.00**	**1442.14**	**2.69**	**2292.74**	**4.28**	**1571.66**	**2.93**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1970 - 1990

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 1990 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9094.50	16.97	9279.10	17.32	1080.23	15.16	1264.83	17.76	2160.46	4.03	1172.53	2.19	92.30	0.17
Agua	25.84	0.05	25.72	0.05	0.28	0.00	0.16	0.00	0.32	0.00	0.22	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	16946.22	31.62	18387.57	34.31	1380.35	19.38	2821.69	39.61	2760.69	5.15	2101.02	3.92	720.67	1.34
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18009.33	33.61	19483.08	36.36	440.96	6.19	1914.70	26.88	881.91	1.65	1177.83	2.20	736.87	1.38
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	7463.64	13.93	4477.63	8.36	4070.88	57.15	1084.87	15.23	2169.74	4.05	2577.87	4.81	1493.00	2.79
Pastizal alpino	1451.98	2.71	1309.43	2.44	144.16	2.02	1.60	0.02	3.20	0.01	72.88	0.14	71.28	0.13
Asentamientos humanos	9.28	0.02	38.28	0.07	6.80	0.10	35.80	0.50	13.60	0.03	21.30	0.04	14.50	0.03
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7123.65**	**100.00**	**7123.65**	**100.00**	**7989.92**	**14.91**	**7123.65**	**13.29**	**3128.69**	**5.84**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1970 - 1995

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 1995 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9094.50	16.97	9329.62	17.41	1083.63	14.76	1318.75	17.97	2167.26	4.04	1201.19	2.24	117.56	0.22
Agua	25.84	0.05	25.72	0.05	0.28	0.00	0.16	0.00	0.32	0.00	0.22	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	16946.22	31.62	18569.81	34.65	1362.67	18.56	2986.25	40.68	2725.33	5.09	2174.46	4.06	811.79	1.51
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18009.33	33.61	19505.36	36.40	441.20	6.01	1937.22	26.39	882.39	1.65	1189.21	2.22	748.01	1.40
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	7463.64	13.93	4222.60	7.88	4301.55	58.60	1060.51	14.45	2121.02	3.96	2681.03	5.00	1620.52	3.02
Pastizal alpino	1451.98	2.71	1309.43	2.44	144.16	1.96	1.60	0.02	3.20	0.01	72.88	0.14	71.28	0.13
Asentamientos humanos	9.28	0.02	38.28	0.07	6.80	0.09	35.80	0.49	13.60	0.03	21.30	0.04	14.50	0.03
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7340.28**	**100.00**	**7340.28**	**100.00**	**7913.12**	**14.77**	**7340.28**	**13.70**	**3383.72**	**6.31**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1970 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9094.50	16.97	9277.78	17.31	1142.95	14.62	1326.23	16.96	2285.90	4.27	1234.59	2.30	91.64	0.17
Agua	25.84	0.05	25.96	0.05	0.28	0.00	0.40	0.01	0.56	0.00	0.34	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	16946.22	31.62	18828.92	35.14	1464.70	18.73	3347.40	42.82	2929.41	5.47	2406.05	4.49	941.35	1.76
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18009.33	33.61	19582.19	36.54	428.88	5.49	2001.74	25.60	857.75	1.60	1215.31	2.27	786.43	1.47
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	7463.64	13.93	3894.48	7.27	4623.91	59.14	1054.75	13.49	2109.50	3.94	2839.33	5.30	1784.58	3.33
Pastizal alpino	1451.98	2.71	1301.23	2.43	152.04	1.94	1.28	0.02	2.56	0.00	76.66	0.14	75.38	0.14
Asentamientos humanos	9.28	0.02	72.84	0.14	5.32	0.07	68.88	0.88	10.64	0.02	37.10	0.07	31.78	0.06
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	0.22	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7818.08**	**100.00**	**7818.08**	**100.00**	**8196.31**	**15.29**	**7818.08**	**14.59**	**3719.92**	**6.94**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1970 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9094.50	16.97	9262.58	17.28	1166.83	14.79	1334.91	16.92	2333.66	4.35	1250.87	2.33	84.04	0.16
Agua	25.84	0.05	25.96	0.05	0.28	0.00	0.40	0.01	0.56	0.00	0.34	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	16946.22	31.62	18788.88	35.06	1502.14	19.04	3344.80	42.39	3004.29	5.61	2423.47	4.52	921.33	1.72
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18009.33	33.61	19613.23	36.60	420.44	5.33	2024.34	25.65	840.87	1.57	1222.39	2.28	801.95	1.50
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	7463.64	13.93	3907.44	7.29	4644.27	58.86	1088.07	13.79	2176.14	4.06	2866.17	5.35	1778.10	3.32
Pastizal alpino	1451.98	2.71	1301.23	2.43	152.04	1.93	1.28	0.02	2.56	0.00	76.66	0.14	75.38	0.14
Asentamientos humanos	9.28	0.02	84.08	0.16	4.76	0.06	79.56	1.01	9.52	0.02	42.16	0.08	37.40	0.07
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	0.22	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7890.76**	**100.00**	**7890.76**	**100.00**	**8367.59**	**15.61**	**7890.76**	**14.72**	**3706.96**	**6.92**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1970 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9094.50	16.97	8931.87	16.67	1453.30	17.21	1290.67	15.28	2581.33	4.82	1371.99	2.56	81.32	0.15
Agua	25.84	0.05	26.24	0.05	0.28	0.00	0.68	0.01	0.56	0.00	0.48	0.00	0.20	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	16946.22	31.62	19307.24	36.03	1496.70	17.72	3857.72	45.68	2993.41	5.59	2677.21	5.00	1180.51	2.20
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18009.33	33.61	19559.79	36.50	409.24	4.85	1959.70	23.20	818.47	1.53	1184.47	2.21	775.23	1.45
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	7463.64	13.93	3709.92	6.92	4927.35	58.34	1173.63	13.90	2347.26	4.38	3050.49	5.69	1876.86	3.50
Pastizal alpino	1451.98	2.71	1294.43	2.42	158.16	1.87	0.60	0.01	1.20	0.00	79.38	0.15	78.78	0.15
Asentamientos humanos	9.28	0.02	149.36	0.28	0.84	0.01	140.92	1.67	1.68	0.00	70.88	0.13	70.04	0.13
Mina de arena	0.00	0.00	21.96	0.04	0.00	0.00	21.96	0.26	0.00	0.00	10.98	0.02	10.98	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**8445.87**	**100.00**	**8445.87**	**100.00**	**8743.91**	**16.32**	**8445.87**	**15.76**	**4073.92**	**7.60**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1970 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9094.50	16.97	8945.35	16.69	1453.54	17.34	1304.39	15.56	2608.77	4.87	1378.97	2.57	74.58	0.14
Agua	25.84	0.05	26.64	0.05	0.00	0.00	0.80	0.01	0.00	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	16946.22	31.62	18940.60	35.34	1619.66	19.33	3614.04	43.12	3239.33	6.04	2616.85	4.88	997.19	1.86
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18009.33	33.61	19594.91	36.56	404.40	4.83	1989.98	23.74	808.79	1.51	1197.19	2.23	792.79	1.48
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	7463.64	13.93	4020.76	7.50	4749.95	56.67	1307.07	15.60	2614.13	4.88	3028.51	5.65	1721.44	3.21
Pastizal alpino	1451.98	2.71	1299.87	2.43	152.68	1.82	0.56	0.01	1.12	0.00	76.62	0.14	76.06	0.14
Asentamientos humanos	9.28	0.02	147.60	0.28	0.84	0.01	139.16	1.66	1.68	0.00	70.00	0.13	69.16	0.13
Mina de arena	0.00	0.00	25.08	0.05	0.00	0.00	25.08	0.30	0.00	0.00	12.54	0.02	12.54	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**8381.07**	**100.00**	**8381.07**	**100.00**	**9273.82**	**17.31**	**8381.07**	**15.64**	**3744.16**	**6.99**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1970 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9094.50	16.97	8840.39	16.50	1535.94	16.95	1281.83	14.15	2563.65	4.78	1408.89	2.63	127.06	0.24
Agua	25.84	0.05	25.28	0.05	1.56	0.02	1.00	0.01	2.00	0.00	1.28	0.00	0.28	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	16946.22	31.62	20522.46	38.30	1179.63	13.02	4755.87	52.50	2359.26	4.40	2967.75	5.54	1788.12	3.34
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18009.33	33.61	19388.40	36.18	549.71	6.07	1928.78	21.29	1099.43	2.05	1239.25	2.31	689.53	1.29
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	587.91	1.10	2.52	0.03	1.36	0.02	2.72	0.01	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	7463.64	13.93	2762.01	5.15	5613.26	61.96	911.63	10.06	1823.26	3.40	3262.45	6.09	2350.82	4.39
Pastizal alpino	1451.98	2.71	1280.43	2.39	175.68	1.94	4.12	0.05	8.24	0.02	89.90	0.17	85.78	0.16
Asentamientos humanos	9.28	0.02	158.20	0.30	0.84	0.01	149.76	1.65	1.68	0.00	75.30	0.14	74.46	0.14
Mina de arena	0.00	0.00	24.80	0.05	0.00	0.00	24.80	0.27	0.00	0.00	12.40	0.02	12.40	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**9059.14**	**100.00**	**9059.14**	**100.00**	**7860.24**	**14.67**	**9059.14**	**16.90**	**5129.03**	**9.57**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1975 - 1980

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 1980 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9082.14	16.95	9072.22	16.93	48.72	8.02	38.80	6.39	77.60	0.14	43.76	0.08	4.96	0.01
Agua	25.84	0.05	25.84	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17476.74	32.61	17707.97	33.04	25.08	4.13	256.32	42.22	50.16	0.09	140.70	0.26	115.62	0.22
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18170.89	33.91	18425.65	34.38	0.16	0.03	254.92	41.99	0.32	0.00	127.54	0.24	127.38	0.24
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	6798.29	12.69	6343.05	11.84	511.95	84.33	56.72	9.34	113.44	0.21	284.34	0.53	227.62	0.42
Pastizal alpino	1436.10	2.68	1416.79	2.64	19.68	3.24	0.36	0.06	0.72	0.00	10.02	0.02	9.66	0.02
Asentamientos humanos	9.28	0.02	9.28	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**607.11**	**100.00**	**607.11**	**100.00**	**242.24**	**0.45**	**607.11**	**1.13**	**485.99**	**0.91**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1975 - 1985

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 1985 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9082.14	16.95	9112.02	17.00	122.36	8.62	152.24	10.73	244.72	0.46	137.30	0.26	14.94	0.03
Agua	25.84	0.05	25.84	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17476.74	32.61	18030.89	33.65	181.80	12.81	735.95	51.88	363.60	0.68	458.88	0.86	277.08	0.52
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18170.89	33.91	18477.29	34.48	15.24	1.07	321.64	22.67	30.48	0.06	168.44	0.31	153.20	0.29
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	590.59	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6798.29	12.69	5930.74	11.07	1076.03	75.85	208.48	14.70	416.96	0.78	642.25	1.20	433.78	0.81
Pastizal alpino	1436.10	2.68	1413.23	2.64	23.24	1.64	0.36	0.03	0.72	0.00	11.80	0.02	11.44	0.02
Asentamientos humanos	9.28	0.02	9.28	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**1418.67**	**100.00**	**1418.67**	**100.00**	**1056.47**	**1.97**	**1418.67**	**2.65**	**890.43**	**1.66**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1975 - 1990

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 1990 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9082.14	16.95	9279.10	17.32	1072.67	16.27	1269.63	19.25	2145.34	4.00	1171.15	2.19	98.48	0.18
Agua	25.84	0.05	25.72	0.05	0.28	0.00	0.16	0.00	0.32	0.00	0.22	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17476.74	32.61	18387.57	34.31	1476.74	22.39	2387.57	36.20	2953.49	5.51	1932.16	3.61	455.42	0.85
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18170.89	33.91	19483.08	36.36	465.44	7.06	1777.62	26.96	930.87	1.74	1121.53	2.09	656.09	1.22
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	6798.29	12.69	4477.63	8.36	3442.20	52.20	1121.55	17.01	2243.10	4.19	2281.88	4.26	1160.33	2.17
Pastizal alpino	1436.10	2.68	1309.43	2.44	129.00	1.96	2.32	0.04	4.64	0.01	65.66	0.12	63.34	0.12
Asentamientos humanos	9.28	0.02	38.28	0.07	6.80	0.10	35.80	0.54	13.60	0.03	21.30	0.04	14.50	0.03
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**6594.65**	**100.00**	**6594.65**	**100.00**	**8291.35**	**15.47**	**6594.65**	**12.31**	**2448.97**	**4.57**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1975 - 1995

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 1995 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9082.14	16.95	9329.62	17.41	1076.07	15.71	1323.55	19.32	2152.14	4.02	1199.81	2.24	123.74	0.23
Agua	25.84	0.05	25.72	0.05	0.28	0.00	0.16	0.00	0.32	0.00	0.22	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17476.74	32.61	18569.81	34.65	1478.86	21.59	2571.93	37.54	2957.73	5.52	2025.40	3.78	546.53	1.02
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18170.89	33.91	19505.36	36.40	465.68	6.80	1800.14	26.28	931.35	1.74	1132.91	2.11	667.23	1.25
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	6798.29	12.69	4222.60	7.88	3692.16	53.90	1116.47	16.30	2232.94	4.17	2404.31	4.49	1287.85	2.40
Pastizal alpino	1436.10	2.68	1309.43	2.44	129.00	1.88	2.32	0.03	4.64	0.01	65.66	0.12	63.34	0.12
Asentamientos humanos	9.28	0.02	38.28	0.07	6.80	0.10	35.80	0.52	13.60	0.03	21.30	0.04	14.50	0.03
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**6850.37**	**100.00**	**6850.37**	**100.00**	**8292.71**	**15.47**	**6850.37**	**12.78**	**2704.01**	**5.05**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1975 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9082.14	16.95	9277.78	17.31	1133.03	15.79	1328.67	18.52	2266.06	4.23	1230.85	2.30	97.82	0.18
Agua	25.84	0.05	25.96	0.05	0.28	0.00	0.40	0.01	0.56	0.00	0.34	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17476.74	32.61	18828.92	35.14	1502.22	20.94	2854.41	39.79	3004.45	5.61	2178.32	4.06	676.09	1.26
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18170.89	33.91	19582.19	36.54	454.12	6.33	1865.42	26.00	908.23	1.69	1159.77	2.16	705.65	1.32
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	6798.29	12.69	3894.48	7.27	3940.44	54.93	1036.63	14.45	2073.26	3.87	2488.53	4.64	1451.90	2.71
Pastizal alpino	1436.10	2.68	1301.23	2.43	136.88	1.91	2.00	0.03	4.00	0.01	69.44	0.13	67.44	0.13
Asentamientos humanos	9.28	0.02	72.84	0.14	5.32	0.07	68.88	0.96	10.64	0.02	37.10	0.07	31.78	0.06
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	0.24	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7173.80**	**100.00**	**7173.80**	**100.00**	**8267.19**	**15.43**	**7173.80**	**13.39**	**3040.21**	**5.67**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1975 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9082.14	16.95	9262.58	17.28	1159.67	15.99	1340.11	18.48	2319.34	4.33	1249.89	2.33	90.22	0.17
Agua	25.84	0.05	25.96	0.05	0.28	0.00	0.40	0.01	0.56	0.00	0.34	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17476.74	32.61	18788.88	35.06	1543.14	21.28	2855.29	39.38	3086.29	5.76	2199.22	4.10	656.07	1.22
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18170.89	33.91	19613.23	36.60	445.48	6.14	1887.82	26.03	890.95	1.66	1166.65	2.18	721.17	1.35
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	6798.29	12.69	3907.44	7.29	3959.76	54.61	1068.91	14.74	2137.82	3.99	2514.33	4.69	1445.42	2.70
Pastizal alpino	1436.10	2.68	1301.23	2.43	136.88	1.89	2.00	0.03	4.00	0.01	69.44	0.13	67.44	0.13
Asentamientos humanos	9.28	0.02	84.08	0.16	4.76	0.07	79.56	1.10	9.52	0.02	42.16	0.08	37.40	0.07
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	0.24	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7251.48**	**100.00**	**7251.48**	**100.00**	**8448.47**	**15.77**	**7251.48**	**13.53**	**3027.25**	**5.65**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1975 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9082.14	16.95	8931.87	16.67	1442.74	18.30	1292.47	16.39	2584.93	4.82	1367.61	2.55	75.14	0.14
Agua	25.84	0.05	26.24	0.05	0.28	0.00	0.68	0.01	0.56	0.00	0.48	0.00	0.20	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17476.74	32.61	19307.24	36.03	1582.54	20.07	3413.04	43.28	3165.09	5.91	2497.79	4.66	915.25	1.71
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18170.89	33.91	19559.79	36.50	437.64	5.55	1826.54	23.16	875.27	1.63	1132.09	2.11	694.45	1.30
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	6798.29	12.69	3709.92	6.92	4276.88	54.24	1188.51	15.07	2377.02	4.44	2732.69	5.10	1544.18	2.88
Pastizal alpino	1436.10	2.68	1294.43	2.42	143.00	1.81	1.32	0.02	2.64	0.00	72.16	0.13	70.84	0.13
Asentamientos humanos	9.28	0.02	149.36	0.28	0.84	0.01	140.92	1.79	1.68	0.00	70.88	0.13	70.04	0.13
Mina de arena	0.00	0.00	21.96	0.04	0.00	0.00	21.96	0.28	0.00	0.00	10.98	0.02	10.98	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7885.44**	**100.00**	**7885.44**	**100.00**	**9007.19**	**16.81**	**7885.44**	**14.71**	**3381.84**	**6.31**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1975 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9082.14	16.95	8945.35	16.69	1442.98	18.31	1306.19	16.58	2612.37	4.87	1374.59	2.57	68.40	0.13
Agua	25.84	0.05	26.64	0.05	0.00	0.00	0.80	0.01	0.00	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17476.74	32.61	18940.60	35.34	1734.82	22.02	3198.69	40.60	3469.64	6.47	2466.75	4.60	731.93	1.37
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18170.89	33.91	19594.91	36.56	432.80	5.49	1856.82	23.57	865.59	1.62	1144.81	2.14	712.01	1.33
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	6798.29	12.69	4020.76	7.50	4128.64	52.40	1351.11	17.15	2702.21	5.04	2739.87	5.11	1388.77	2.59
Pastizal alpino	1436.10	2.68	1299.87	2.43	137.52	1.75	1.28	0.02	2.56	0.00	69.40	0.13	68.12	0.13
Asentamientos humanos	9.28	0.02	147.60	0.28	0.84	0.01	139.16	1.77	1.68	0.00	70.00	0.13	69.16	0.13
Mina de arena	0.00	0.00	25.08	0.05	0.00	0.00	25.08	0.32	0.00	0.00	12.54	0.02	12.54	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7879.12**	**100.00**	**7879.12**	**100.00**	**9654.06**	**18.01**	**7879.12**	**14.70**	**3052.09**	**5.70**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1975 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9082.14	16.95	8840.39	16.50	1525.38	18.00	1283.63	15.14	2567.25	4.79	1404.51	2.62	120.88	0.23
Agua	25.84	0.05	25.28	0.05	1.56	0.02	1.00	0.01	2.00	0.00	1.28	0.00	0.28	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17476.74	32.61	20522.46	38.30	1251.95	14.77	4297.67	50.70	2503.89	4.67	2774.81	5.18	1522.86	2.84
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18170.89	33.91	19388.40	36.18	577.99	6.82	1795.50	21.18	1155.99	2.16	1186.75	2.21	608.75	1.14
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	587.91	1.10	4.04	0.05	1.36	0.02	2.72	0.01	2.70	0.01	1.34	0.00
Pastizal	6798.29	12.69	2762.01	5.15	4954.19	58.45	917.91	10.83	1835.82	3.43	2936.05	5.48	2018.14	3.77
Pastizal alpino	1436.10	2.68	1280.43	2.39	160.52	1.89	4.84	0.06	9.68	0.02	82.68	0.15	77.84	0.15
Asentamientos humanos	9.28	0.02	158.20	0.30	0.84	0.01	149.76	1.77	1.68	0.00	75.30	0.14	74.46	0.14
Mina de arena	0.00	0.00	24.80	0.05	0.00	0.00	24.80	0.29	0.00	0.00	12.40	0.02	12.40	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**8476.47**	**100.00**	**8476.47**	**100.00**	**8079.04**	**15.08**	**8476.47**	**15.82**	**4436.95**	**8.28**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1980 - 1985

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 1985 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9072.22	16.93	9112.02	17.00	73.64	9.04	113.44	13.92	147.28	0.27	93.54	0.17	19.90	0.04
Agua	25.84	0.05	25.84	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17707.97	33.04	18030.89	33.65	156.72	19.24	479.63	58.87	313.44	0.58	318.18	0.59	161.46	0.30
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18425.65	34.38	18477.29	34.48	16.60	2.04	68.24	8.38	33.20	0.06	42.42	0.08	25.82	0.05
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	590.59	1.10	0.00	0.00	1.52	0.19	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	6343.05	11.84	5930.74	11.07	564.23	69.25	151.92	18.65	303.84	0.57	358.08	0.67	206.16	0.38
Pastizal alpino	1416.79	2.64	1413.23	2.64	3.56	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78	0.00	1.78	0.00
Asentamientos humanos	9.28	0.02	9.28	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**814.75**	**100.00**	**814.75**	**100.00**	**797.75**	**1.49**	**814.75**	**1.52**	**415.88**	**0.78**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1980 - 1990

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 1990 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9072.22	16.93	9279.10	17.32	1031.71	16.92	1238.59	20.32	2063.42	3.85	1135.15	2.12	103.44	0.19
Agua	25.84	0.05	25.72	0.05	0.28	0.00	0.16	0.00	0.32	0.00	0.22	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17707.97	33.04	18387.57	34.31	1491.78	24.47	2171.38	35.62	2983.57	5.57	1831.58	3.42	339.80	0.63
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18425.65	34.38	19483.08	36.36	508.19	8.34	1565.62	25.68	1016.39	1.90	1036.91	1.93	528.71	0.99
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6343.05	11.84	4477.63	8.36	2948.13	48.36	1082.71	17.76	2165.42	4.04	2015.42	3.76	932.71	1.74
Pastizal alpino	1416.79	2.64	1309.43	2.44	109.32	1.79	1.96	0.03	3.92	0.01	55.64	0.10	53.68	0.10
Asentamientos humanos	9.28	0.02	38.28	0.07	6.80	0.11	35.80	0.59	13.60	0.03	21.30	0.04	14.50	0.03
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**6096.22**	**100.00**	**6096.22**	**100.00**	**8246.63**	**15.39**	**6096.22**	**11.38**	**1972.90**	**3.68**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1980 - 1995

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 1995 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9072.22	16.93	9329.62	17.41	1034.79	16.30	1292.19	20.35	2069.58	3.86	1163.49	2.17	128.70	0.24
Agua	25.84	0.05	25.72	0.05	0.28	0.00	0.16	0.00	0.32	0.00	0.22	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17707.97	33.04	18569.81	34.65	1493.90	23.53	2355.74	37.10	2987.81	5.58	1924.82	3.59	430.92	0.80
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18425.65	34.38	19505.36	36.40	507.83	8.00	1587.54	25.00	1015.67	1.90	1047.69	1.96	539.85	1.01
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6343.05	11.84	4222.60	7.88	3197.13	50.35	1076.67	16.96	2153.34	4.02	2136.90	3.99	1060.23	1.98
Pastizal alpino	1416.79	2.64	1309.43	2.44	109.32	1.72	1.96	0.03	3.92	0.01	55.64	0.10	53.68	0.10
Asentamientos humanos	9.28	0.02	38.28	0.07	6.80	0.11	35.80	0.56	13.60	0.03	21.30	0.04	14.50	0.03
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**6350.05**	**100.00**	**6350.05**	**100.00**	**8244.23**	**15.38**	**6350.05**	**11.85**	**2227.94**	**4.16**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1980 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9072.22	16.93	9277.78	17.31	1095.63	16.35	1301.19	19.42	2191.26	4.09	1198.41	2.24	102.78	0.19
Agua	25.84	0.05	25.96	0.05	0.28	0.00	0.40	0.01	0.56	0.00	0.34	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17707.97	33.04	18828.92	35.14	1527.90	22.81	2648.85	39.54	3055.81	5.70	2088.38	3.90	560.47	1.05
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18425.65	34.38	19582.19	36.54	496.27	7.41	1652.82	24.67	992.55	1.85	1074.55	2.01	578.27	1.08
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6343.05	11.84	3894.48	7.27	3456.56	51.60	1007.99	15.05	2015.98	3.76	2232.28	4.17	1224.29	2.28
Pastizal alpino	1416.79	2.64	1301.23	2.43	117.20	1.75	1.64	0.02	3.28	0.01	59.42	0.11	57.78	0.11
Asentamientos humanos	9.28	0.02	72.84	0.14	5.32	0.08	68.88	1.03	10.64	0.02	37.10	0.07	31.78	0.06
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	0.26	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**6699.17**	**100.00**	**6699.17**	**100.00**	**8270.07**	**15.43**	**6699.17**	**12.50**	**2564.13**	**4.78**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1980 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9072.22	16.93	9262.58	17.28	1122.91	16.58	1313.27	19.39	2245.82	4.19	1218.09	2.27	95.18	0.18
Agua	25.84	0.05	25.96	0.05	0.28	0.00	0.40	0.01	0.56	0.00	0.34	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17707.97	33.04	18788.88	35.06	1565.94	23.12	2646.85	39.08	3131.89	5.84	2106.40	3.93	540.45	1.01
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18425.65	34.38	19613.23	36.60	487.63	7.20	1675.22	24.73	975.27	1.82	1081.43	2.02	593.79	1.11
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6343.05	11.84	3907.44	7.29	3474.80	51.30	1039.19	15.34	2078.38	3.88	2257.00	4.21	1217.81	2.27
Pastizal alpino	1416.79	2.64	1301.23	2.43	117.20	1.73	1.64	0.02	3.28	0.01	59.42	0.11	57.78	0.11
Asentamientos humanos	9.28	0.02	84.08	0.16	4.76	0.07	79.56	1.17	9.52	0.02	42.16	0.08	37.40	0.07
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	0.26	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**6773.53**	**100.00**	**6773.53**	**100.00**	**8444.71**	**15.76**	**6773.53**	**12.64**	**2551.17**	**4.76**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1980 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9072.22	16.93	8931.87	16.67	1441.86	19.24	1301.51	17.37	2603.01	4.86	1371.69	2.56	70.18	0.13
Agua	25.84	0.05	26.24	0.05	0.28	0.00	0.68	0.01	0.56	0.00	0.48	0.00	0.20	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17707.97	33.04	19307.24	36.03	1611.78	21.51	3211.05	42.85	3223.57	6.02	2411.41	4.50	799.63	1.49
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18425.65	34.38	19559.79	36.50	480.47	6.41	1614.62	21.55	960.95	1.79	1047.55	1.95	567.07	1.06
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6343.05	11.84	3709.92	6.92	3834.08	51.17	1200.95	16.03	2401.89	4.48	2517.51	4.70	1316.57	2.46
Pastizal alpino	1416.79	2.64	1294.43	2.42	123.68	1.65	1.32	0.02	2.64	0.00	62.50	0.12	61.18	0.11
Asentamientos humanos	9.28	0.02	149.36	0.28	0.84	0.01	140.92	1.88	1.68	0.00	70.88	0.13	70.04	0.13
Mina de arena	0.00	0.00	21.96	0.04	0.00	0.00	21.96	0.29	0.00	0.00	10.98	0.02	10.98	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7493.00**	**100.00**	**7493.00**	**100.00**	**9194.30**	**17.16**	**7493.00**	**13.98**	**2895.85**	**5.40**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1980 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9072.22	16.93	8945.35	16.69	1442.10	19.18	1315.23	17.49	2630.45	4.91	1378.67	2.57	63.44	0.12
Agua	25.84	0.05	26.64	0.05	0.00	0.00	0.80	0.01	0.00	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17707.97	33.04	18940.60	35.34	1772.98	23.58	3005.61	39.97	3545.96	6.62	2389.29	4.46	616.31	1.15
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18425.65	34.38	19594.91	36.56	474.52	6.31	1643.78	21.86	949.03	1.77	1059.15	1.98	584.63	1.09
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6343.05	11.84	4020.76	7.50	3711.20	49.35	1388.91	18.47	2777.81	5.18	2550.05	4.76	1161.15	2.17
Pastizal alpino	1416.79	2.64	1299.87	2.43	118.20	1.57	1.28	0.02	2.56	0.00	59.74	0.11	58.46	0.11
Asentamientos humanos	9.28	0.02	147.60	0.28	0.84	0.01	139.16	1.85	1.68	0.00	70.00	0.13	69.16	0.13
Mina de arena	0.00	0.00	25.08	0.05	0.00	0.00	25.08	0.33	0.00	0.00	12.54	0.02	12.54	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7519.84**	**100.00**	**7519.84**	**100.00**	**9907.50**	**18.49**	**7519.84**	**14.03**	**2566.09**	**4.79**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1980 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9072.22	16.93	8840.39	16.50	1524.86	18.84	1293.03	15.97	2586.05	4.83	1408.95	2.63	115.92	0.22
Agua	25.84	0.05	25.28	0.05	1.56	0.02	1.00	0.01	2.00	0.00	1.28	0.00	0.28	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	17707.97	33.04	20522.46	38.30	1284.55	15.87	4099.04	50.64	2569.09	4.79	2691.79	5.02	1407.25	2.63
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18425.65	34.38	19388.40	36.18	620.83	7.67	1583.58	19.56	1241.67	2.32	1102.21	2.06	481.37	0.90
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	587.91	1.10	2.52	0.03	1.36	0.02	2.72	0.01	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	6343.05	11.84	2762.01	5.15	4517.71	55.82	936.67	11.57	1873.34	3.50	2727.19	5.09	1790.52	3.34
Pastizal alpino	1416.79	2.64	1280.43	2.39	141.20	1.74	4.84	0.06	9.68	0.02	73.02	0.14	68.18	0.13
Asentamientos humanos	9.28	0.02	158.20	0.30	0.84	0.01	149.76	1.85	1.68	0.00	75.30	0.14	74.46	0.14
Mina de arena	0.00	0.00	24.80	0.05	0.00	0.00	24.80	0.31	0.00	0.00	12.40	0.02	12.40	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**8094.08**	**100.00**	**8094.08**	**100.00**	**8286.23**	**15.46**	**8094.08**	**15.10**	**3950.96**	**7.37**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1985 - 1990

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 1990 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9112.02	17.00	9279.10	17.32	979.59	17.84	1146.67	20.88	1959.18	3.66	1063.13	1.98	83.54	0.16
Agua	25.84	0.05	25.72	0.05	0.28	0.01	0.16	0.00	0.32	0.00	0.22	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18030.89	33.65	18387.57	34.31	1434.70	26.13	1791.38	32.63	2869.41	5.35	1613.04	3.01	178.34	0.33
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18477.29	34.48	19483.08	36.36	503.51	9.17	1509.30	27.49	1007.03	1.88	1006.41	1.88	502.89	0.94
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	5930.74	11.07	4477.63	8.36	2458.37	44.77	1005.27	18.31	2010.54	3.75	1731.82	3.23	726.55	1.36
Pastizal alpino	1413.23	2.64	1309.43	2.44	105.76	1.93	1.96	0.04	3.92	0.01	53.86	0.10	51.90	0.10
Asentamientos humanos	9.28	0.02	38.28	0.07	6.80	0.12	35.80	0.65	13.60	0.03	21.30	0.04	14.50	0.03
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**5490.54**	**100.00**	**5490.54**	**100.00**	**7864.00**	**14.67**	**5490.54**	**10.25**	**1558.54**	**2.91**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1985 - 1995

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 1995 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9112.02	17.00	9329.62	17.41	982.67	17.06	1200.27	20.83	1965.34	3.67	1091.47	2.04	108.80	0.20
Agua	25.84	0.05	25.72	0.05	0.28	0.00	0.16	0.00	0.32	0.00	0.22	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18030.89	33.65	18569.81	34.65	1445.46	25.09	1984.38	34.44	2890.93	5.39	1714.92	3.20	269.46	0.50
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18477.29	34.48	19505.36	36.40	503.15	8.73	1531.22	26.58	1006.31	1.88	1017.19	1.90	514.03	0.96
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	5930.74	11.07	4222.60	7.88	2716.01	47.14	1007.87	17.49	2015.74	3.76	1861.94	3.47	854.07	1.59
Pastizal alpino	1413.23	2.64	1309.43	2.44	105.76	1.84	1.96	0.03	3.92	0.01	53.86	0.10	51.90	0.10
Asentamientos humanos	9.28	0.02	38.28	0.07	6.80	0.12	35.80	0.62	13.60	0.03	21.30	0.04	14.50	0.03
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**5761.66**	**100.00**	**5761.66**	**100.00**	**7896.16**	**14.73**	**5761.66**	**10.75**	**1813.58**	**3.38**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1985 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9112.02	17.00	9277.78	17.31	1049.95	16.99	1215.71	19.67	2099.90	3.92	1132.83	2.11	82.88	0.15
Agua	25.84	0.05	25.96	0.05	0.28	0.00	0.40	0.01	0.56	0.00	0.34	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18030.89	33.65	18828.92	35.14	1501.62	24.30	2299.66	37.21	3003.25	5.60	1900.64	3.55	399.02	0.74
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18477.29	34.48	19582.19	36.54	492.07	7.96	1596.98	25.84	984.15	1.84	1044.53	1.95	552.45	1.03
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	5930.74	11.07	3894.48	7.27	3016.37	48.80	980.11	15.86	1960.22	3.66	1998.24	3.73	1018.13	1.90
Pastizal alpino	1413.23	2.64	1301.23	2.43	113.64	1.84	1.64	0.03	3.28	0.01	57.64	0.11	56.00	0.10
Asentamientos humanos	9.28	0.02	72.84	0.14	5.32	0.09	68.88	1.11	10.64	0.02	37.10	0.07	31.78	0.06
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	0.28	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**6180.78**	**100.00**	**6180.78**	**100.00**	**8062.00**	**15.04**	**6180.78**	**11.53**	**2149.78**	**4.01**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1985 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9112.02	17.00	9262.58	17.28	1077.23	17.22	1227.79	19.63	2154.46	4.02	1152.51	2.15	75.28	0.14
Agua	25.84	0.05	25.96	0.05	0.28	0.00	0.40	0.01	0.56	0.00	0.34	0.00	0.06	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18030.89	33.65	18788.88	35.06	1540.22	24.62	2298.22	36.74	3080.45	5.75	1919.22	3.58	379.00	0.71
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18477.29	34.48	19613.23	36.60	483.43	7.73	1619.38	25.89	966.87	1.80	1051.41	1.96	567.97	1.06
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	5930.74	11.07	3907.44	7.29	3034.97	48.51	1011.67	16.17	2023.34	3.78	2023.32	3.78	1011.65	1.89
Pastizal alpino	1413.23	2.64	1301.23	2.43	113.64	1.82	1.64	0.03	3.28	0.01	57.64	0.11	56.00	0.10
Asentamientos humanos	9.28	0.02	84.08	0.16	4.76	0.08	79.56	1.27	9.52	0.02	42.16	0.08	37.40	0.07
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	0.28	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**6256.05**	**100.00**	**6256.05**	**100.00**	**8238.47**	**15.37**	**6256.05**	**11.67**	**2136.82**	**3.99**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1985 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9112.02	17.00	8931.87	16.67	1401.07	19.90	1220.91	17.34	2441.81	4.56	1310.99	2.45	90.08	0.17
Agua	25.84	0.05	26.24	0.05	0.28	0.00	0.68	0.01	0.56	0.00	0.48	0.00	0.20	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18030.89	33.65	19307.24	36.03	1611.22	22.89	2887.57	41.02	3222.45	6.01	2249.40	4.20	638.17	1.19
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18477.29	34.48	19559.79	36.50	478.63	6.80	1561.14	22.18	957.27	1.79	1019.89	1.90	541.25	1.01
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	5930.74	11.07	3709.92	6.92	3425.48	48.66	1204.67	17.11	2409.33	4.50	2315.08	4.32	1110.41	2.07
Pastizal alpino	1413.23	2.64	1294.43	2.42	120.12	1.71	1.32	0.02	2.64	0.00	60.72	0.11	59.40	0.11
Asentamientos humanos	9.28	0.02	149.36	0.28	0.84	0.01	140.92	2.00	1.68	0.00	70.88	0.13	70.04	0.13
Mina de arena	0.00	0.00	21.96	0.04	0.00	0.00	21.96	0.31	0.00	0.00	10.98	0.02	10.98	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7039.17**	**100.00**	**7039.17**	**100.00**	**9035.75**	**16.86**	**7039.17**	**13.14**	**2521.29**	**4.70**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1985 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9112.02	17.00	8945.35	16.69	1400.95	19.73	1234.27	17.39	2468.53	4.61	1317.61	2.46	83.34	0.16
Agua	25.84	0.05	26.64	0.05	0.00	0.00	0.80	0.01	0.00	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18030.89	33.65	18940.60	35.34	1790.10	25.22	2699.81	38.03	3580.20	6.68	2244.96	4.19	454.86	0.85
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18477.29	34.48	19594.91	36.56	472.68	6.66	1590.30	22.40	945.35	1.76	1031.49	1.92	558.81	1.04
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	589.07	1.10	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	5930.74	11.07	4020.76	7.50	3318.17	46.74	1408.19	19.84	2816.37	5.26	2363.18	4.41	954.99	1.78
Pastizal alpino	1413.23	2.64	1299.87	2.43	114.64	1.61	1.28	0.02	2.56	0.00	57.96	0.11	56.68	0.11
Asentamientos humanos	9.28	0.02	147.60	0.28	0.84	0.01	139.16	1.96	1.68	0.00	70.00	0.13	69.16	0.13
Mina de arena	0.00	0.00	25.08	0.05	0.00	0.00	25.08	0.35	0.00	0.00	12.54	0.02	12.54	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7098.89**	**100.00**	**7098.89**	**100.00**	**9814.70**	**18.31**	**7098.89**	**13.25**	**2191.54**	**4.09**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1985 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9112.02	17.00	8840.39	16.50	1484.14	19.51	1212.51	15.94	2425.01	4.53	1348.33	2.52	135.82	0.25
Agua	25.84	0.05	25.28	0.05	1.56	0.02	1.00	0.01	2.00	0.00	1.28	0.00	0.28	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18030.89	33.65	20522.46	38.30	1270.35	16.70	3761.92	49.44	2540.69	4.74	2516.13	4.70	1245.79	2.32
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	18477.29	34.48	19388.40	36.18	618.99	8.14	1530.10	20.11	1237.99	2.31	1074.55	2.01	455.56	0.85
Desprovisto de vegetación	590.59	1.10	587.91	1.10	4.04	0.05	1.36	0.02	2.72	0.01	2.70	0.01	1.34	0.00
Pastizal	5930.74	11.07	2762.01	5.15	4091.00	53.77	922.27	12.12	1844.54	3.44	2506.63	4.68	1584.36	2.96
Pastizal alpino	1413.23	2.64	1280.43	2.39	137.64	1.81	4.84	0.06	9.68	0.02	71.24	0.13	66.40	0.12
Asentamientos humanos	9.28	0.02	158.20	0.30	0.84	0.01	149.76	1.97	1.68	0.00	75.30	0.14	74.46	0.14
Mina de arena	0.00	0.00	24.80	0.05	0.00	0.00	24.80	0.33	0.00	0.00	12.40	0.02	12.40	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**7608.56**	**100.00**	**7608.56**	**100.00**	**8064.32**	**15.05**	**7608.56**	**14.20**	**3576.40**	**6.67**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1990 - 1995

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 1995 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9279.10	17.32	9329.62	17.41	41.12	10.40	91.64	23.18	82.24	0.15	66.38	0.12	25.26	0.05
Agua	25.72	0.05	25.72	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18387.57	34.31	18569.81	34.65	35.48	8.98	217.72	55.07	70.96	0.13	126.60	0.24	91.12	0.17
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19483.08	36.36	19505.36	36.40	5.20	1.32	27.48	6.95	10.40	0.02	16.34	0.03	11.14	0.02
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	4477.63	8.36	4222.60	7.88	313.52	79.31	58.48	14.79	116.96	0.22	186.00	0.35	127.52	0.24
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1309.43	2.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Asentamientos humanos	38.28	0.07	38.28	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mina de arena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**395.32**	**100.00**	**395.32**	**100.00**	**280.56**	**0.52**	**395.32**	**0.74**	**255.04**	**0.48**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1990 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9279.10	17.32	9277.78	17.31	259.80	15.15	258.48	15.07	516.95	0.96	259.14	0.48	0.66	0.00
Agua	25.72	0.05	25.96	0.05	0.00	0.00	0.24	0.01	0.00	0.00	0.12	0.00	0.12	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18387.57	34.31	18828.92	35.14	369.36	21.54	810.71	47.28	738.71	1.38	590.03	1.10	220.68	0.41
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19483.08	36.36	19582.19	36.54	99.28	5.79	198.40	11.57	198.56	0.37	148.84	0.28	49.56	0.09
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	4477.63	8.36	3894.48	7.27	978.11	57.04	394.96	23.03	789.91	1.47	686.53	1.28	291.58	0.54
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1301.23	2.43	8.20	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.01	4.10	0.01
Asentamientos humanos	38.28	0.07	72.84	0.14	0.00	0.00	34.56	2.02	0.00	0.00	17.28	0.03	17.28	0.03
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	1.01	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**1714.74**	**100.00**	**1714.74**	**100.00**	**2244.14**	**4.19**	**1714.74**	**3.20**	**592.67**	**1.11**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1990 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9279.10	17.32	9262.58	17.28	280.48	15.53	263.96	14.61	527.91	0.99	272.22	0.51	8.26	0.02
Agua	25.72	0.05	25.96	0.05	0.00	0.00	0.24	0.01	0.00	0.00	0.12	0.00	0.12	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18387.57	34.31	18788.88	35.06	416.88	23.08	818.19	45.29	833.75	1.56	617.53	1.15	200.66	0.37
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19483.08	36.36	19613.23	36.60	90.32	5.00	220.48	12.21	180.64	0.34	155.40	0.29	65.08	0.12
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	4477.63	8.36	3907.44	7.29	1010.55	55.94	440.36	24.38	880.71	1.64	725.45	1.35	285.10	0.53
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1301.23	2.43	8.20	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.01	4.10	0.01
Asentamientos humanos	38.28	0.07	84.08	0.16	0.00	0.00	45.80	2.54	0.00	0.00	22.90	0.04	22.90	0.04
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	0.96	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**1806.42**	**100.00**	**1806.42**	**100.00**	**2423.01**	**4.52**	**1806.42**	**3.37**	**594.91**	**1.11**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1990 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9279.10	17.32	8931.87	16.67	747.63	20.89	400.40	11.19	800.79	1.49	574.01	1.07	173.62	0.32
Agua	25.72	0.05	26.24	0.05	0.00	0.00	0.52	0.01	0.00	0.00	0.26	0.00	0.26	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18387.57	34.31	19307.24	36.03	810.55	22.65	1730.22	48.34	1621.10	3.03	1270.39	2.37	459.84	0.86
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19483.08	36.36	19559.79	36.50	423.72	11.84	500.43	13.98	847.43	1.58	462.08	0.86	38.36	0.07
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	4477.63	8.36	3709.92	6.92	1582.26	44.21	814.55	22.76	1629.10	3.04	1198.41	2.24	383.86	0.72
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1294.43	2.42	15.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.01	7.50	0.01
Asentamientos humanos	38.28	0.07	149.36	0.28	0.00	0.00	111.08	3.10	0.00	0.00	55.54	0.10	55.54	0.10
Mina de arena	0.00	0.00	21.96	0.04	0.00	0.00	21.96	0.61	0.00	0.00	10.98	0.02	10.98	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**3579.16**	**100.00**	**3579.16**	**100.00**	**4898.43**	**9.14**	**3579.16**	**6.68**	**1129.95**	**2.11**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1990 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9279.10	17.32	8945.35	16.69	756.43	20.15	422.68	11.26	845.35	1.58	589.55	1.10	166.88	0.31
Agua	25.72	0.05	26.64	0.05	0.00	0.00	0.92	0.02	0.00	0.00	0.46	0.00	0.46	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18387.57	34.31	18940.60	35.34	1060.23	28.24	1613.26	42.97	2120.46	3.96	1336.75	2.49	276.52	0.52
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19483.08	36.36	19594.91	36.56	431.68	11.50	543.51	14.48	863.35	1.61	487.59	0.91	55.92	0.10
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	4477.63	8.36	4020.76	7.50	1492.46	39.75	1035.59	27.58	2071.18	3.86	1264.03	2.36	228.44	0.43
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1299.87	2.43	13.44	0.36	3.88	0.10	7.76	0.01	8.66	0.02	4.78	0.01
Asentamientos humanos	38.28	0.07	147.60	0.28	0.00	0.00	109.32	2.91	0.00	0.00	54.66	0.10	54.66	0.10
Mina de arena	0.00	0.00	25.08	0.05	0.00	0.00	25.08	0.67	0.00	0.00	12.54	0.02	12.54	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**3754.24**	**100.00**	**3754.24**	**100.00**	**5908.10**	**11.02**	**3754.24**	**7.01**	**800.19**	**1.49**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1990 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9279.10	17.32	8840.39	16.50	868.19	19.30	429.48	9.55	858.95	1.60	648.83	1.21	219.36	0.41
Agua	25.72	0.05	25.28	0.05	1.56	0.03	1.12	0.02	2.24	0.00	1.34	0.00	0.22	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18387.57	34.31	20522.46	38.30	618.59	13.75	2753.49	61.22	1237.19	2.31	1686.04	3.15	1067.45	1.99
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19483.08	36.36	19388.40	36.18	604.27	13.44	509.59	11.33	1019.19	1.90	556.93	1.04	47.34	0.09
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	587.91	1.10	2.52	0.06	1.36	0.03	2.72	0.01	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	4477.63	8.36	2762.01	5.15	2369.18	52.68	653.55	14.53	1307.11	2.44	1511.36	2.82	857.81	1.60
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1280.43	2.39	33.08	0.74	4.08	0.09	8.16	0.02	18.58	0.03	14.50	0.03
Asentamientos humanos	38.28	0.07	158.20	0.30	0.28	0.01	120.20	2.67	0.56	0.00	60.24	0.11	59.96	0.11
Mina de arena	0.00	0.00	24.80	0.05	0.00	0.00	24.80	0.55	0.00	0.00	12.40	0.02	12.40	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**4497.67**	**100.00**	**4497.67**	**100.00**	**4436.11**	**8.28**	**4497.67**	**8.39**	**2279.62**	**4.25**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1995 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1995 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9329.62	17.41	9277.78	17.31	232.48	16.54	180.64	12.85	361.28	0.67	206.56	0.39	25.92	0.05
Agua	25.72	0.05	25.96	0.05	0.00	0.00	0.24	0.02	0.00	0.00	0.12	0.00	0.12	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18569.81	34.65	18828.92	35.14	366.16	26.05	625.27	44.49	732.31	1.37	495.71	0.93	129.56	0.24
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19505.36	36.40	19582.19	36.54	94.08	6.69	170.92	12.16	188.16	0.35	132.50	0.25	38.42	0.07
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	4222.60	7.88	3894.48	7.27	704.47	50.13	376.36	26.78	752.71	1.40	540.41	1.01	164.06	0.31
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1301.23	2.43	8.20	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.01	4.10	0.01
Asentamientos humanos	38.28	0.07	72.84	0.14	0.00	0.00	34.56	2.46	0.00	0.00	17.28	0.03	17.28	0.03
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	1.24	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**1405.39**	**100.00**	**1405.39**	**100.00**	**2034.46**	**3.80**	**1405.39**	**2.62**	**388.16**	**0.72**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1995 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1995 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9329.62	17.41	9262.58	17.28	245.84	16.61	178.80	12.08	357.60	0.67	212.32	0.40	33.52	0.06
Agua	25.72	0.05	25.96	0.05	0.00	0.00	0.24	0.02	0.00	0.00	0.12	0.00	0.12	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18569.81	34.65	18788.88	35.06	412.40	27.87	631.47	42.67	824.79	1.54	521.93	0.97	109.54	0.20
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19505.36	36.40	19613.23	36.60	85.12	5.75	193.00	13.04	170.24	0.32	139.06	0.26	53.94	0.10
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	4222.60	7.88	3907.44	7.29	728.31	49.21	413.16	27.92	826.31	1.54	570.73	1.07	157.58	0.29
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1301.23	2.43	8.20	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.01	4.10	0.01
Asentamientos humanos	38.28	0.07	84.08	0.16	0.00	0.00	45.80	3.09	0.00	0.00	22.90	0.04	22.90	0.04
Mina de arena	0.00	0.00	17.40	0.03	0.00	0.00	17.40	1.18	0.00	0.00	8.70	0.02	8.70	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**1479.86**	**100.00**	**1479.86**	**100.00**	**2178.94**	**4.07**	**1479.86**	**2.76**	**390.40**	**0.73**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1995 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1995 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9329.62	17.41	8931.87	16.67	714.15	21.61	316.40	9.58	632.79	1.18	515.27	0.96	198.88	0.37
Agua	25.72	0.05	26.24	0.05	0.00	0.00	0.52	0.02	0.00	0.00	0.26	0.00	0.26	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18569.81	34.65	19307.24	36.03	819.07	24.79	1556.50	47.11	1638.14	3.06	1187.79	2.22	368.72	0.69
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19505.36	36.40	19559.79	36.50	421.00	12.74	475.44	14.39	841.99	1.57	448.22	0.84	27.22	0.05
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	4222.60	7.88	3709.92	6.92	1334.95	40.40	822.27	24.89	1644.54	3.07	1078.61	2.01	256.34	0.48
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1294.43	2.42	15.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.01	7.50	0.01
Asentamientos humanos	38.28	0.07	149.36	0.28	0.00	0.00	111.08	3.36	0.00	0.00	55.54	0.10	55.54	0.10
Mina de arena	0.00	0.00	21.96	0.04	0.00	0.00	21.96	0.66	0.00	0.00	10.98	0.02	10.98	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**3304.17**	**100.00**	**3304.17**	**100.00**	**4757.47**	**8.88**	**3304.17**	**6.17**	**925.43**	**1.73**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1995 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1995 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9329.62	17.41	8945.35	16.69	722.95	20.54	338.68	9.62	677.35	1.26	530.81	0.99	192.14	0.36
Agua	25.72	0.05	26.64	0.05	0.00	0.00	0.92	0.03	0.00	0.00	0.46	0.00	0.46	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18569.81	34.65	18940.60	35.34	1088.71	30.93	1459.50	41.46	2177.42	4.06	1274.11	2.38	185.40	0.35
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19505.36	36.40	19594.91	36.56	428.96	12.19	518.51	14.73	857.91	1.60	473.74	0.88	44.78	0.08
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	4222.60	7.88	4020.76	7.50	1265.87	35.96	1064.03	30.23	2128.06	3.97	1164.95	2.17	100.92	0.19
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1299.87	2.43	13.44	0.38	3.88	0.11	7.76	0.01	8.66	0.02	4.78	0.01
Asentamientos humanos	38.28	0.07	147.60	0.28	0.00	0.00	109.32	3.11	0.00	0.00	54.66	0.10	54.66	0.10
Mina de arena	0.00	0.00	25.08	0.05	0.00	0.00	25.08	0.71	0.00	0.00	12.54	0.02	12.54	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**3519.92**	**100.00**	**3519.92**	**100.00**	**5848.50**	**10.91**	**3519.92**	**6.57**	**595.67**	**1.11**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 1995 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1995 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9329.62	17.41	8840.39	16.50	841.47	19.80	352.24	8.29	704.47	1.31	596.85	1.11	244.62	0.46
Agua	25.72	0.05	25.28	0.05	1.56	0.04	1.12	0.03	2.24	0.00	1.34	0.00	0.22	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18569.81	34.65	20522.46	38.30	635.59	14.96	2588.25	60.91	1271.19	2.37	1611.92	3.01	976.33	1.82
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19505.36	36.40	19388.40	36.18	601.55	14.16	484.59	11.40	969.19	1.81	543.07	1.01	58.48	0.11
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	587.91	1.10	2.52	0.06	1.36	0.03	2.72	0.01	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	4222.60	7.88	2762.01	5.15	2133.18	50.20	672.59	15.83	1345.19	2.51	1402.89	2.62	730.29	1.36
Pastizal alpino	1309.43	2.44	1280.43	2.39	33.08	0.78	4.08	0.10	8.16	0.02	18.58	0.03	14.50	0.03
Asentamientos humanos	38.28	0.07	158.20	0.30	0.28	0.01	120.20	2.83	0.56	0.00	60.24	0.11	59.96	0.11
Mina de arena	0.00	0.00	24.80	0.05	0.00	0.00	24.80	0.58	0.00	0.00	12.40	0.02	12.40	0.02
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**4249.24**	**100.00**	**4249.24**	**100.00**	**4303.71**	**8.03**	**4249.24**	**7.93**	**2097.38**	**3.91**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 2000 - 2005

Tipo de cobertura	Total 2000 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9277.78	17.31	9262.58	17.28	61.32	25.59	46.12	19.25	92.24	0.17	53.72	0.10	7.60	0.01
Agua	25.96	0.05	25.96	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18828.92	35.14	18788.88	35.06	107.28	44.77	67.24	28.06	134.48	0.25	87.26	0.16	20.02	0.04
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19582.19	36.54	19613.23	36.60	0.68	0.28	31.72	13.24	1.36	0.00	16.20	0.03	15.52	0.03
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	3894.48	7.27	3907.44	7.29	70.36	29.36	83.32	34.77	140.72	0.26	76.84	0.14	6.48	0.01
Pastizal alpino	1301.23	2.43	1301.23	2.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Asentamientos humanos	72.84	0.14	84.08	0.16	0.00	0.00	11.24	4.69	0.00	0.00	5.62	0.01	5.62	0.01
Mina de arena	17.40	0.03	17.40	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**239.64**	**100.00**	**239.64**	**100.00**	**368.80**	**0.69**	**239.64**	**0.45**	**55.24**	**0.10**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 2000 - 2010

Tipo de cobertura	Total 2000 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9277.78	17.31	8931.87	16.67	570.79	24.83	224.88	9.78	449.76	0.84	397.84	0.74	172.96	0.32
Agua	25.96	0.05	26.24	0.05	0.00	0.00	0.28	0.01	0.00	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18828.92	35.14	19307.24	36.03	586.55	25.52	1064.87	46.32	1173.11	2.19	825.71	1.54	239.16	0.45
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19582.19	36.54	19559.79	36.50	349.64	15.21	327.24	14.24	654.47	1.22	338.44	0.63	11.20	0.02
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	3894.48	7.27	3709.92	6.92	782.63	34.04	598.07	26.02	1196.15	2.23	690.35	1.29	92.28	0.17
Pastizal alpino	1301.23	2.43	1294.43	2.42	6.80	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	0.01	3.40	0.01
Asentamientos humanos	72.84	0.14	149.36	0.28	2.40	0.10	78.92	3.43	4.80	0.01	40.66	0.08	38.26	0.07
Mina de arena	17.40	0.03	21.96	0.04	0.00	0.00	4.56	0.20	0.00	0.00	2.28	0.00	2.28	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**2298.82**	**100.00**	**2298.82**	**100.00**	**3478.28**	**6.49**	**2298.82**	**4.29**	**559.67**	**1.04**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 2000 - 2015

Tipo de cobertura	Total 2000 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9277.78	17.31	8945.35	16.69	584.83	21.41	252.40	9.24	504.79	0.94	418.62	0.78	166.22	0.31
Agua	25.96	0.05	26.64	0.05	0.00	0.00	0.68	0.02	0.00	0.00	0.34	0.00	0.34	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18828.92	35.14	18940.60	35.34	961.03	35.18	1072.71	39.27	1922.06	3.59	1016.87	1.90	55.84	0.10
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19582.19	36.54	19594.91	36.56	359.96	13.18	372.68	13.64	719.91	1.34	366.32	0.68	6.36	0.01
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	3894.48	7.27	4020.76	7.50	814.11	29.80	940.39	34.43	1628.22	3.04	877.25	1.64	63.14	0.12
Pastizal alpino	1301.23	2.43	1299.87	2.43	9.16	0.34	7.80	0.29	15.60	0.03	8.48	0.02	0.68	0.00
Asentamientos humanos	72.84	0.14	147.60	0.28	2.40	0.09	77.16	2.82	4.80	0.01	39.78	0.07	37.38	0.07
Mina de arena	17.40	0.03	25.08	0.05	0.00	0.00	7.68	0.28	0.00	0.00	3.84	0.01	3.84	0.01
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**2731.49**	**100.00**	**2731.49**	**100.00**	**4795.39**	**8.95**	**2731.49**	**5.10**	**333.80**	**0.62**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 2000 - 2020

Tipo de cobertura	Total 2000 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9277.78	17.31	8840.39	16.50	702.83	20.03	265.44	7.56	530.87	0.99	484.13	0.90	218.70	0.41
Agua	25.96	0.05	25.28	0.05	1.56	0.04	0.88	0.03	1.76	0.00	1.22	0.00	0.34	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18828.92	35.14	20522.46	38.30	524.03	14.93	2217.58	63.20	1048.07	1.96	1370.81	2.56	846.77	1.58
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19582.19	36.54	19388.40	36.18	536.75	15.30	342.96	9.77	685.91	1.28	439.86	0.82	96.90	0.18
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	587.91	1.10	2.52	0.07	1.36	0.04	2.72	0.01	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	3894.48	7.27	2762.01	5.15	1713.62	48.84	581.15	16.56	1162.31	2.17	1147.39	2.14	566.23	1.06
Pastizal alpino	1301.23	2.43	1280.43	2.39	24.88	0.71	4.08	0.12	8.16	0.02	14.48	0.03	10.40	0.02
Asentamientos humanos	72.84	0.14	158.20	0.30	2.68	0.08	88.04	2.51	5.36	0.01	45.36	0.08	42.68	0.08
Mina de arena	17.40	0.03	24.80	0.05	0.00	0.00	7.40	0.21	0.00	0.00	3.70	0.01	3.70	0.01
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**3508.88**	**100.00**	**3508.88**	**100.00**	**3445.16**	**6.43**	**3508.88**	**6.55**	**1786.30**	**3.33**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 2005 - 2010

Tipo de cobertura	Total 2005 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9262.58	17.28	8931.87	16.67	515.47	24.20	184.76	8.67	369.52	0.69	350.12	0.65	165.36	0.31
Agua	25.96	0.05	26.24	0.05	0.00	0.00	0.28	0.01	0.00	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18788.88	35.06	19307.24	36.03	495.71	23.27	1014.07	47.61	991.43	1.85	754.89	1.41	259.18	0.48
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19613.23	36.60	19559.79	36.50	362.88	17.04	309.44	14.53	618.87	1.15	336.16	0.63	26.72	0.05
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	3907.44	7.29	3709.92	6.92	745.03	34.98	547.51	25.71	1095.03	2.04	646.27	1.21	98.76	0.18
Pastizal alpino	1301.23	2.43	1294.43	2.42	6.80	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	0.01	3.40	0.01
Asentamientos humanos	84.08	0.16	149.36	0.28	4.04	0.19	69.32	3.25	8.08	0.02	36.68	0.07	32.64	0.06
Mina de arena	17.40	0.03	21.96	0.04	0.00	0.00	4.56	0.21	0.00	0.00	2.28	0.00	2.28	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**2129.94**	**100.00**	**2129.94**	**100.00**	**3082.93**	**5.75**	**2129.94**	**3.97**	**588.47**	**1.10**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 2005 - 2015

Tipo de cobertura	Total 2005 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9262.58	17.28	8945.35	16.69	530.27	20.71	213.04	8.32	426.08	0.80	371.66	0.69	158.62	0.30
Agua	25.96	0.05	26.64	0.05	0.00	0.00	0.68	0.03	0.00	0.00	0.34	0.00	0.34	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18788.88	35.06	18940.60	35.34	869.71	33.97	1021.43	39.89	1739.42	3.25	945.57	1.76	75.86	0.14
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19613.23	36.60	19594.91	36.56	373.20	14.58	354.88	13.86	709.75	1.32	364.04	0.68	9.16	0.02
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	3907.44	7.29	4020.76	7.50	774.03	30.23	887.35	34.66	1548.06	2.89	830.69	1.55	56.66	0.11
Pastizal alpino	1301.23	2.43	1299.87	2.43	9.16	0.36	7.80	0.30	15.60	0.03	8.48	0.02	0.68	0.00
Asentamientos humanos	84.08	0.16	147.60	0.28	4.04	0.16	67.56	2.64	8.08	0.02	35.80	0.07	31.76	0.06
Mina de arena	17.40	0.03	25.08	0.05	0.00	0.00	7.68	0.30	0.00	0.00	3.84	0.01	3.84	0.01
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**2560.41**	**100.00**	**2560.41**	**100.00**	**4446.99**	**8.30**	**2560.41**	**4.78**	**336.92**	**0.63**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 2005 - 2020

Tipo de cobertura	Total 2005 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	9262.58	17.28	8840.39	16.50	652.55	19.45	230.36	6.87	460.72	0.86	441.46	0.82	211.10	0.39
Agua	25.96	0.05	25.28	0.05	1.56	0.05	0.88	0.03	1.76	0.00	1.22	0.00	0.34	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18788.88	35.06	20522.46	38.30	441.92	13.17	2175.50	64.84	883.83	1.65	1308.71	2.44	866.79	1.62
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19613.23	36.60	19388.40	36.18	548.79	16.36	323.96	9.66	647.91	1.21	436.38	0.81	112.42	0.21
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	587.91	1.10	2.52	0.08	1.36	0.04	2.72	0.01	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	3907.44	7.29	2762.01	5.15	1678.70	50.03	533.27	15.89	1066.55	1.99	1105.99	2.06	572.71	1.07
Pastizal alpino	1301.23	2.43	1280.43	2.39	24.88	0.74	4.08	0.12	8.16	0.02	14.48	0.03	10.40	0.02
Asentamientos humanos	84.08	0.16	158.20	0.30	4.32	0.13	78.44	2.34	8.64	0.02	41.38	0.08	37.06	0.07
Mina de arena	17.40	0.03	24.80	0.05	0.00	0.00	7.40	0.22	0.00	0.00	3.70	0.01	3.70	0.01
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**3355.24**	**100.00**	**3355.24**	**100.00**	**3080.29**	**5.75**	**3355.24**	**6.26**	**1815.10**	**3.39**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 2010 - 2015

Tipo de cobertura	Total 2010 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	8931.87	16.67	8945.35	16.69	26.16	3.92	39.64	5.94	52.32	0.10	32.90	0.06	6.74	0.01
Agua	26.24	0.05	26.64	0.05	0.00	0.00	0.40	0.06	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	19307.24	36.03	18940.60	35.34	485.39	72.75	118.76	17.80	237.52	0.44	302.08	0.56	183.32	0.34
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19559.79	36.50	19594.91	36.56	22.00	3.30	57.12	8.56	44.00	0.08	39.56	0.07	17.56	0.03
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	589.07	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	3709.92	6.92	4020.76	7.50	125.48	18.81	436.32	65.40	250.96	0.47	280.90	0.52	155.42	0.29
Pastizal alpino	1294.43	2.42	1299.87	2.43	2.36	0.35	7.80	1.17	4.72	0.01	5.08	0.01	2.72	0.01
Asentamientos humanos	149.36	0.28	147.60	0.28	1.76	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.88	0.00
Mina de arena	21.96	0.04	25.08	0.05	4.04	0.61	7.16	1.07	8.08	0.02	5.60	0.01	1.56	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**667.19**	**100.00**	**667.19**	**100.00**	**597.59**	**1.12**	**667.19**	**1.24**	**368.40**	**0.69**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 2010 - 2020

Tipo de cobertura	Total 2010 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	8931.87	16.67	8840.39	16.50	144.04	9.10	52.56	3.32	105.12	0.20	98.30	0.18	45.74	0.09
Agua	26.24	0.05	25.28	0.05	1.56	0.10	0.60	0.04	1.20	0.00	1.08	0.00	0.48	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	19307.24	36.03	20522.46	38.30	90.12	5.70	1305.35	82.50	180.24	0.34	697.73	1.30	607.61	1.13
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19559.79	36.50	19388.40	36.18	202.24	12.78	30.84	1.95	61.68	0.12	116.54	0.22	85.70	0.16
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	587.91	1.10	2.52	0.16	1.36	0.09	2.72	0.01	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	3709.92	6.92	2762.01	5.15	1118.07	70.67	170.16	10.75	340.32	0.64	644.11	1.20	473.96	0.88
Pastizal alpino	1294.43	2.42	1280.43	2.39	18.08	1.14	4.08	0.26	8.16	0.02	11.08	0.02	7.00	0.01
Asentamientos humanos	149.36	0.28	158.20	0.30	1.52	0.10	10.36	0.65	3.04	0.01	5.94	0.01	4.42	0.01
Mina de arena	21.96	0.04	24.80	0.05	4.04	0.26	6.88	0.43	8.08	0.02	5.46	0.01	1.42	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**1582.18**	**100.00**	**1582.18**	**100.00**	**710.55**	**1.33**	**1582.18**	**2.95**	**1226.91**	**2.29**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo 2015 - 2020

Tipo de cobertura	Total 2015 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	8945.35	16.69	8840.39	16.50	162.28	7.89	57.32	2.79	114.64	0.21	109.80	0.20	52.48	0.10
Agua	26.64	0.05	25.28	0.05	1.56	0.08	0.20	0.01	0.40	0.00	0.88	0.00	0.68	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	18940.60	35.34	20522.46	38.30	136.20	6.62	1718.06	83.50	272.40	0.51	927.13	1.73	790.93	1.48
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	19594.91	36.56	19388.40	36.18	255.72	12.43	49.20	2.39	98.40	0.18	152.46	0.28	103.26	0.19
Desprovisto de vegetación	589.07	1.10	587.91	1.10	2.52	0.12	1.36	0.07	2.72	0.01	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	4020.76	7.50	2762.01	5.15	1471.78	71.53	213.04	10.35	426.08	0.80	842.41	1.57	629.37	1.17
Pastizal alpino	1299.87	2.43	1280.43	2.39	23.64	1.15	4.20	0.20	8.40	0.02	13.92	0.03	9.72	0.02
Asentamientos humanos	147.60	0.28	158.20	0.30	0.28	0.01	10.88	0.53	0.56	0.00	5.58	0.01	5.30	0.01
Mina de arena	25.08	0.05	24.80	0.05	3.60	0.17	3.32	0.16	6.64	0.01	3.46	0.01	0.14	0.00
Total (ha)	**53589.88**	**100.00**	**53589.88**	**100.00**	**2057.58**	**100.00**	**2057.58**	**100.00**	**930.23**	**1.74**	**2057.58**	**3.84**	**1592.46**	**2.97**

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 1975
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.0272%	-12.36	-0.0054%	-2.47
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.6261%	530.51	0.1252%	106.10
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.1794%	161.56	0.0359%	32.31
Desprovisto de vegetación	0.0516%	1.52	0.0103%	0.30
Pastizal	-1.7829%	-665.35	-0.3566%	-133.07
Pastizal alpino	-0.2187%	-15.88	-0.0437%	-3.18
Asentamientos humanos	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 1980
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.0490%	-22.28	-0.0098%	-4.46
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.8990%	761.75	0.1798%	152.35
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.4623%	416.32	0.0925%	83.26
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-3.0028%	-1120.59	-0.6006%	-224.12
Pastizal alpino	-0.4848%	-35.20	-0.0970%	-7.04
Asentamientos humanos	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 1985
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.0385%	17.52	0.0077%	3.50
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.2801%	1084.67	0.2560%	216.93
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.5197%	467.96	0.1039%	93.59
Desprovisto de vegetación	0.0516%	1.52	0.0103%	0.30
Pastizal	-4.1077%	-1532.90	-0.8215%	-306.58
Pastizal alpino	-0.5339%	-38.76	-0.1068%	-7.75
Asentamientos humanos	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 1990
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.4060%	184.60	0.0812%	36.92
Agua	-0.0929%	-0.12	-0.0186%	-0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.7011%	1441.34	0.3402%	288.27
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.6366%	1473.74	0.3273%	294.75
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-8.0015%	-2986.01	-1.6003%	-597.20
Pastizal alpino	-1.9636%	-142.56	-0.3927%	-28.51
Asentamientos humanos	62.5000%	29.00	12.5000%	5.80
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 1995
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.5171%	235.12	0.1034%	47.02
Agua	-0.0929%	-0.12	-0.0186%	-0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.9162%	1623.58	0.3832%	324.72
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.6614%	1496.02	0.3323%	299.20
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-8.6849%	-3241.05	-1.7370%	-648.21
Pastizal alpino	-1.9636%	-142.56	-0.3927%	-28.51
Asentamientos humanos	62.5000%	29.00	12.5000%	5.80
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.4031%	183.28	0.0806%	36.66
Agua	0.0929%	0.12	0.0186%	0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.2220%	1882.70	0.4444%	376.54
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.7467%	1572.86	0.3493%	314.57
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-9.5641%	-3569.16	-1.9128%	-713.83
Pastizal alpino	-2.0766%	-150.76	-0.4153%	-30.15
Asentamientos humanos	136.9828%	63.56	27.3966%	12.71
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.3696%	168.08	0.0739%	33.62
Agua	0.0929%	0.12	0.0186%	0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.1747%	1842.66	0.4349%	368.53
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.7812%	1603.90	0.3562%	320.78
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-9.5294%	-3556.20	-1.9059%	-711.24
Pastizal alpino	-2.0766%	-150.76	-0.4153%	-30.15
Asentamientos humanos	161.2069%	74.80	32.2414%	14.96
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3577%	-162.64	-0.0715%	-32.53
Agua	0.3096%	0.40	0.0619%	0.08
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.7865%	2361.02	0.5573%	472.20
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.7218%	1550.46	0.3444%	310.09
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-10.0587%	-3753.72	-2.0117%	-750.74
Pastizal alpino	-2.1702%	-157.56	-0.4340%	-31.51
Asentamientos humanos	301.8966%	140.08	60.3793%	28.02
Mina de arena	-	21.96	-	4.39

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3280%	-149.16	-0.0656%	-29.83
Agua	0.6192%	0.80	0.1238%	0.16
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.3538%	1994.38	0.4708%	398.88
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.7608%	1585.58	0.3522%	317.12
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-9.2257%	-3442.88	-1.8451%	-688.58
Pastizal alpino	-2.0953%	-152.12	-0.4191%	-30.42
Asentamientos humanos	298.1034%	138.32	59.6207%	27.66
Mina de arena	-	25.08	-	5.02

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.5588%	-254.12	-0.1118%	-50.82
Agua	-0.4334%	-0.56	-0.0867%	-0.11
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	4.2207%	3576.24	0.8441%	715.25
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.5315%	1379.07	0.3063%	275.81
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-12.5988%	-4701.63	-2.5198%	-940.33
Pastizal alpino	-2.3631%	-171.56	-0.4726%	-34.31
Asentamientos humanos	320.9483%	148.92	64.1897%	29.78
Mina de arena	-	24.80	-	4.96

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 1980
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.0218%	-9.92	-0.0044%	-1.98
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.2646%	231.24	0.0529%	46.25
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.2804%	254.76	0.0561%	50.95
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-1.3393%	-455.24	-0.2679%	-91.05
Pastizal alpino	-0.2691%	-19.32	-0.0538%	-3.86
Asentamientos humanos	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 1985
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.0658%	29.88	0.0132%	5.98
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.6342%	554.15	0.1268%	110.83
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.3372%	306.40	0.0674%	61.28
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-2.5523%	-867.55	-0.5105%	-173.51
Pastizal alpino	-0.3186%	-22.88	-0.0637%	-4.58
Asentamientos humanos	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 1990
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.4337%	196.96	0.0867%	39.39
Agua	-0.0929%	-0.12	-0.0186%	-0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.0423%	910.83	0.2085%	182.17
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.4443%	1312.19	0.2889%	262.44
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-6.8272%	-2320.66	-1.3654%	-464.13
Pastizal alpino	-1.7642%	-126.68	-0.3528%	-25.34
Asentamientos humanos	62.5000%	29.00	12.5000%	5.80
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 1995
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.5450%	247.48	0.1090%	49.50
Agua	-0.0929%	-0.12	-0.0186%	-0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.2509%	1093.07	0.2502%	218.61
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.4688%	1334.47	0.2938%	266.89
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-7.5775%	-2575.69	-1.5155%	-515.14
Pastizal alpino	-1.7642%	-126.68	-0.3528%	-25.34
Asentamientos humanos	62.5000%	29.00	12.5000%	5.80
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.4308%	195.64	0.0862%	39.13
Agua	0.0929%	0.12	0.0186%	0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.5474%	1352.19	0.3095%	270.44
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.5534%	1411.31	0.3107%	282.26
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-8.5428%	-2903.81	-1.7086%	-580.76
Pastizal alpino	-1.8784%	-134.88	-0.3757%	-26.98
Asentamientos humanos	136.9828%	63.56	27.3966%	12.71
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.3973%	180.44	0.0795%	36.09
Agua	0.0929%	0.12	0.0186%	0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.5016%	1312.15	0.3003%	262.43
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.5875%	1442.34	0.3175%	288.47
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-8.5046%	-2890.85	-1.7009%	-578.17
Pastizal alpino	-1.8784%	-134.88	-0.3757%	-26.98
Asentamientos humanos	161.2069%	74.80	32.2414%	14.96
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3309%	-150.28	-0.0662%	-30.06
Agua	0.3096%	0.40	0.0619%	0.08
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.0948%	1830.50	0.4190%	366.10
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.5287%	1388.91	0.3057%	277.78
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-9.0857%	-3088.37	-1.8171%	-617.67
Pastizal alpino	-1.9731%	-141.68	-0.3946%	-28.34
Asentamientos humanos	301.8966%	140.08	60.3793%	28.02
Mina de arena	-	21.96	-	4.39

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3012%	-136.80	-0.0602%	-27.36
Agua	0.6192%	0.80	0.1238%	0.16
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.6752%	1463.86	0.3350%	292.77
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.5674%	1424.03	0.3135%	284.81
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-8.1713%	-2777.53	-1.6343%	-555.51
Pastizal alpino	-1.8973%	-136.24	-0.3795%	-27.25
Asentamientos humanos	298.1034%	138.32	59.6207%	27.66
Mina de arena	-	25.08	-	5.02

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.5324%	-241.76	-0.1065%	-48.35
Agua	-0.4334%	-0.56	-0.0867%	-0.11
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	3.4855%	3045.73	0.6971%	609.15
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.3401%	1217.51	0.2680%	243.50
Desprovisto de vegetación	-0.0908%	-2.68	-0.0182%	-0.54
Pastizal	-11.8744%	-4036.28	-2.3749%	-807.26
Pastizal alpino	-2.1681%	-155.68	-0.4336%	-31.14
Asentamientos humanos	320.9483%	148.92	64.1897%	29.78
Mina de arena	-	24.80	-	4.96

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 1985
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.0877%	39.80	0.0175%	7.96
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.3647%	322.92	0.0729%	64.58
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0561%	51.64	0.0112%	10.33
Desprovisto de vegetación	0.0516%	1.52	0.0103%	0.30
Pastizal	-1.3001%	-412.32	-0.2600%	-82.46
Pastizal alpino	-0.0503%	-3.56	-0.0101%	-0.71
Asentamientos humanos	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 1990
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.4561%	206.88	0.0912%	41.38
Agua	-0.0929%	-0.12	-0.0186%	-0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.7676%	679.59	0.1535%	135.92
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1478%	1057.43	0.2296%	211.49
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-5.8818%	-1865.42	-1.1764%	-373.08
Pastizal alpino	-1.5155%	-107.36	-0.3031%	-21.47
Asentamientos humanos	62.5000%	29.00	12.5000%	5.80
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 1995
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.5674%	257.40	0.1135%	51.48
Agua	-0.0929%	-0.12	-0.0186%	-0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.9734%	861.83	0.1947%	172.37
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1720%	1079.71	0.2344%	215.94
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-6.6859%	-2120.46	-1.3372%	-424.09
Pastizal alpino	-1.5155%	-107.36	-0.3031%	-21.47
Asentamientos humanos	62.5000%	29.00	12.5000%	5.80
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.4532%	205.56	0.0906%	41.11
Agua	0.0929%	0.12	0.0186%	0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.2660%	1120.95	0.2532%	224.19
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2554%	1156.55	0.2511%	231.31
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-7.7205%	-2448.57	-1.5441%	-489.71
Pastizal alpino	-1.6313%	-115.56	-0.3263%	-23.11
Asentamientos humanos	136.9828%	63.56	27.3966%	12.71
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.4197%	190.36	0.0839%	38.07
Agua	0.0929%	0.12	0.0186%	0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.2208%	1080.91	0.2442%	216.18
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2891%	1187.59	0.2578%	237.52
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-7.6796%	-2435.61	-1.5359%	-487.12
Pastizal alpino	-1.6313%	-115.56	-0.3263%	-23.11
Asentamientos humanos	161.2069%	74.80	32.2414%	14.96
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3094%	-140.36	-0.0619%	-28.07
Agua	0.3096%	0.40	0.0619%	0.08
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.8063%	1599.26	0.3613%	319.85
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2311%	1134.15	0.2462%	226.83
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-8.3024%	-2633.13	-1.6605%	-526.63
Pastizal alpino	-1.7273%	-122.36	-0.3455%	-24.47
Asentamientos humanos	301.8966%	140.08	60.3793%	28.02
Mina de arena	-	21.96	-	4.39

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.2797%	-126.88	-0.0559%	-25.38
Agua	0.6192%	0.80	0.1238%	0.16
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.3922%	1232.63	0.2784%	246.53
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2692%	1169.27	0.2538%	233.85
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-7.3223%	-2322.30	-1.4645%	-464.46
Pastizal alpino	-1.6505%	-116.92	-0.3301%	-23.38
Asentamientos humanos	298.1034%	138.32	59.6207%	27.66
Mina de arena	-	25.08	-	5.02

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.5111%	-231.84	-0.1022%	-46.37
Agua	-0.4334%	-0.56	-0.0867%	-0.11
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	3.1788%	2814.49	0.6358%	562.90
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.0450%	962.75	0.2090%	192.55
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-11.2912%	-3581.04	-2.2582%	-716.21
Pastizal alpino	-1.9249%	-136.36	-0.3850%	-27.27
Asentamientos humanos	320.9483%	148.92	64.1897%	29.78
Mina de arena	-	24.80	-	4.96

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 1990
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.3667%	167.08	0.0733%	33.42
Agua	-0.0929%	-0.12	-0.0186%	-0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.3956%	356.68	0.0791%	71.34
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.0887%	1005.79	0.2177%	201.16
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-4.9002%	-1453.10	-0.9800%	-290.62
Pastizal alpino	-1.4690%	-103.80	-0.2938%	-20.76
Asentamientos humanos	62.5000%	29.00	12.5000%	5.80
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 1995
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.4776%	217.60	0.0955%	43.52
Agua	-0.0929%	-0.12	-0.0186%	-0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.5978%	538.91	0.1196%	107.78
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1128%	1028.07	0.2226%	205.61
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-5.7603%	-1708.14	-1.1521%	-341.63
Pastizal alpino	-1.4690%	-103.80	-0.2938%	-20.76
Asentamientos humanos	62.5000%	29.00	12.5000%	5.80
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.3638%	165.76	0.0728%	33.15
Agua	0.0929%	0.12	0.0186%	0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.8852%	798.03	0.1770%	159.61
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1960%	1104.91	0.2392%	220.98
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-6.8668%	-2036.26	-1.3734%	-407.25
Pastizal alpino	-1.5850%	-112.00	-0.3170%	-22.40
Asentamientos humanos	136.9828%	63.56	27.3966%	12.71
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.3305%	150.56	0.0661%	30.11
Agua	0.0929%	0.12	0.0186%	0.02
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.8408%	757.99	0.1682%	151.60
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2296%	1135.95	0.2459%	227.19
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-6.8231%	-2023.30	-1.3646%	-404.66
Pastizal alpino	-1.5850%	-112.00	-0.3170%	-22.40
Asentamientos humanos	161.2069%	74.80	32.2414%	14.96
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3954%	-180.16	-0.0791%	-36.03
Agua	0.3096%	0.40	0.0619%	0.08
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.4157%	1276.35	0.2831%	255.27
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1717%	1082.51	0.2343%	216.50
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-7.4892%	-2220.82	-1.4978%	-444.16
Pastizal alpino	-1.6812%	-118.80	-0.3362%	-23.76
Asentamientos humanos	301.8966%	140.08	60.3793%	28.02
Mina de arena	-	21.96	-	4.39

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3658%	-166.68	-0.0732%	-33.34
Agua	0.6192%	0.80	0.1238%	0.16
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.0091%	909.71	0.2018%	181.94
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2097%	1117.63	0.2419%	223.53
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-6.4410%	-1909.98	-1.2882%	-382.00
Pastizal alpino	-1.6043%	-113.36	-0.3209%	-22.67
Asentamientos humanos	298.1034%	138.32	59.6207%	27.66
Mina de arena	-	25.08	-	5.02

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.5962%	-271.64	-0.1192%	-54.33
Agua	-0.4334%	-0.56	-0.0867%	-0.11
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.7637%	2491.57	0.5527%	498.31
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.9862%	911.11	0.1972%	182.22
Desprovisto de vegetación	-0.0908%	-2.68	-0.0182%	-0.54
Pastizal	-10.6858%	-3168.73	-2.1372%	-633.75
Pastizal alpino	-1.8794%	-132.80	-0.3759%	-26.56
Asentamientos humanos	320.9483%	148.92	64.1897%	29.78
Mina de arena	-	24.80	-	4.96

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 1995
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.1089%	50.52	0.0218%	10.10
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.1982%	182.24	0.0396%	36.45
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0229%	22.28	0.0046%	4.46
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.1392%	-255.04	-0.2278%	-51.01
Pastizal alpino	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Asentamientos humanos	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Mina de arena	-	0.00	-	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.0028%	-1.32	-0.0006%	-0.26
Agua	0.1866%	0.24	0.0373%	0.05
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.4801%	441.36	0.0960%	88.27
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.1017%	99.12	0.0203%	19.82
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-2.6047%	-583.15	-0.5209%	-116.63
Pastizal alpino	-0.1252%	-8.20	-0.0250%	-1.64
Asentamientos humanos	18.0564%	34.56	3.6113%	6.91
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.0356%	-16.52	-0.0071%	-3.30
Agua	0.1866%	0.24	0.0373%	0.05
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.4365%	401.32	0.0873%	80.26
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.1336%	130.16	0.0267%	26.03
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-2.5469%	-570.19	-0.5094%	-114.04
Pastizal alpino	-0.1252%	-8.20	-0.0250%	-1.64
Asentamientos humanos	23.9289%	45.80	4.7858%	9.16
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.7484%	-347.24	-0.1497%	-69.45
Agua	0.4044%	0.52	0.0809%	0.10
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.0003%	919.67	0.2001%	183.93
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0788%	76.72	0.0158%	15.34
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-3.4291%	-767.71	-0.6858%	-153.54
Pastizal alpino	-0.2291%	-15.00	-0.0458%	-3.00
Asentamientos humanos	58.0355%	111.08	11.6071%	22.22
Mina de arena	-	21.96	-	4.39

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.7194%	-333.76	-0.1439%	-66.75
Agua	0.7154%	0.92	0.1431%	0.18
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.6015%	553.03	0.1203%	110.61
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.1148%	111.84	0.0230%	22.37
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-2.0407%	-456.88	-0.4081%	-91.38
Pastizal alpino	-0.1460%	-9.56	-0.0292%	-1.91
Asentamientos humanos	57.1160%	109.32	11.4232%	21.86
Mina de arena	-	25.08	-	5.02

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.9456%	-438.72	-0.1891%	-87.74
Agua	-0.3421%	-0.44	-0.0684%	-0.09
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.3221%	2134.90	0.4644%	426.98
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.0972%	-94.68	-0.0194%	-18.94
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-7.6631%	-1715.62	-1.5326%	-343.12
Pastizal alpino	-0.4429%	-29.00	-0.0886%	-5.80
Asentamientos humanos	62.6541%	119.92	12.5308%	23.98
Mina de arena	-	24.80	-	4.96

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1995 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.1111%	-51.84	-0.0222%	-10.37
Agua	0.1866%	0.24	0.0373%	0.05
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.2791%	259.12	0.0558%	51.82
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0788%	76.84	0.0158%	15.37
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.5541%	-328.12	-0.3108%	-65.62
Pastizal alpino	-0.1252%	-8.20	-0.0250%	-1.64
Asentamientos humanos	18.0564%	34.56	3.6113%	6.91
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1995 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.1437%	-67.04	-0.0287%	-13.41
Agua	0.1866%	0.24	0.0373%	0.05
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.2360%	219.08	0.0472%	43.82
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.1106%	107.88	0.0221%	21.58
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.4927%	-315.16	-0.2985%	-63.03
Pastizal alpino	-0.1252%	-8.20	-0.0250%	-1.64
Asentamientos humanos	23.9289%	45.80	4.7858%	9.16
Mina de arena	-	17.40	-	3.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1995 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.8527%	-397.76	-0.1705%	-79.55
Agua	0.4044%	0.52	0.0809%	0.10
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.7942%	737.43	0.1588%	147.49
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0558%	54.44	0.0112%	10.89
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-2.4282%	-512.67	-0.4856%	-102.53
Pastizal alpino	-0.2291%	-15.00	-0.0458%	-3.00
Asentamientos humanos	58.0355%	111.08	11.6071%	22.22
Mina de arena	-	21.96	-	4.39

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1995 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.8238%	-384.28	-0.1648%	-76.86
Agua	0.7154%	0.92	0.1431%	0.18
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.3994%	370.80	0.0799%	74.16
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0918%	89.56	0.0184%	17.91
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-0.9560%	-201.84	-0.1912%	-40.37
Pastizal alpino	-0.1460%	-9.56	-0.0292%	-1.91
Asentamientos humanos	57.1160%	109.32	11.4232%	21.86
Mina de arena	-	25.08	-	5.02

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1995 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.0488%	-489.23	-0.2098%	-97.85
Agua	-0.3421%	-0.44	-0.0684%	-0.09
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.1030%	1952.66	0.4206%	390.53
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.1199%	-116.96	-0.0240%	-23.39
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-6.9179%	-1460.58	-1.3836%	-292.12
Pastizal alpino	-0.4429%	-29.00	-0.0886%	-5.80
Asentamientos humanos	62.6541%	119.92	12.5308%	23.98
Mina de arena	-	24.80	-	4.96

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2000 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.0328%	-15.20	-0.0066%	-3.04
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	-0.0425%	-40.04	-0.0085%	-8.01
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0317%	31.04	0.0063%	6.21
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	0.0666%	12.96	0.0133%	2.59
Pastizal alpino	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Asentamientos humanos	3.0862%	11.24	0.6172%	2.25
Mina de arena	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2000 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.7457%	-345.92	-0.1491%	-69.18
Agua	0.2157%	0.28	0.0431%	0.06
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.5081%	478.31	0.1016%	95.66
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.0229%	-22.40	-0.0046%	-4.48
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-0.9478%	-184.56	-0.1896%	-36.91
Pastizal alpino	-0.1045%	-6.80	-0.0209%	-1.36
Asentamientos humanos	21.0104%	76.52	4.2021%	15.30
Mina de arena	5.2414%	4.56	1.0483%	0.91

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2000 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.7166%	-332.44	-0.1433%	-66.49
Agua	0.5239%	0.68	0.1048%	0.14
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.1186%	111.68	0.0237%	22.34
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0130%	12.72	0.0026%	2.54
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	0.6485%	126.28	0.1297%	25.26
Pastizal alpino	-0.0209%	-1.36	-0.0042%	-0.27
Asentamientos humanos	20.5272%	74.76	4.1054%	14.95
Mina de arena	8.8276%	7.68	1.7655%	1.54

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2000 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.9429%	-437.40	-0.1886%	-87.48
Agua	-0.5239%	-0.68	-0.1048%	-0.14
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.7989%	1693.54	0.3598%	338.71
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.1979%	-193.80	-0.0396%	-38.76
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-5.8158%	-1132.47	-1.1632%	-226.49
Pastizal alpino	-0.3197%	-20.80	-0.0639%	-4.16
Asentamientos humanos	23.4377%	85.36	4.6875%	17.07
Mina de arena	8.5057%	7.40	1.7011%	1.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2005 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.7141%	-330.72	-0.1428%	-66.14
Agua	0.2157%	0.28	0.0431%	0.06
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.5518%	518.35	0.1104%	103.67
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.0545%	-53.44	-0.0109%	-10.69
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.0110%	-197.52	-0.2022%	-39.50
Pastizal alpino	-0.1045%	-6.80	-0.0209%	-1.36
Asentamientos humanos	15.5281%	65.28	3.1056%	13.06
Mina de arena	5.2414%	4.56	1.0483%	0.91

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2005 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.6850%	-317.24	-0.1370%	-63.45
Agua	0.5239%	0.68	0.1048%	0.14
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.1615%	151.72	0.0323%	30.34
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.0187%	-18.32	-0.0037%	-3.66
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	0.5800%	113.32	0.1160%	22.66
Pastizal alpino	-0.0209%	-1.36	-0.0042%	-0.27
Asentamientos humanos	15.1094%	63.52	3.0219%	12.70
Mina de arena	8.8276%	7.68	1.7655%	1.54

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2005 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.9116%	-422.20	-0.1823%	-84.44
Agua	-0.5239%	-0.68	-0.1048%	-0.14
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.8453%	1733.58	0.3691%	346.72
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.2293%	-224.84	-0.0459%	-44.97
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-5.8628%	-1145.43	-1.1726%	-229.09
Pastizal alpino	-0.3197%	-20.80	-0.0639%	-4.16
Asentamientos humanos	17.6308%	74.12	3.5262%	14.82
Mina de arena	8.5057%	7.40	1.7011%	1.48

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2010 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.0302%	13.48	0.0060%	2.70
Agua	0.3049%	0.40	0.0610%	0.08
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	-0.3798%	-366.64	-0.0760%	-73.33
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0359%	35.12	0.0072%	7.02
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	1.6757%	310.84	0.3351%	62.17
Pastizal alpino	0.0841%	5.44	0.0168%	1.09
Asentamientos humanos	-0.2357%	-1.76	-0.0471%	-0.35
Mina de arena	2.8415%	3.12	0.5683%	0.62

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2010 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.2048%	-91.48	-0.0410%	-18.30
Agua	-0.7317%	-0.96	-0.1463%	-0.19
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.2588%	1215.23	0.2518%	243.05
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.1753%	-171.40	-0.0351%	-34.28
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-5.1101%	-947.91	-1.0220%	-189.58
Pastizal alpino	-0.2163%	-14.00	-0.0433%	-2.80
Asentamientos humanos	1.1837%	8.84	0.2367%	1.77
Mina de arena	2.5865%	2.84	0.5173%	0.57

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2015 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.2347%	-104.96	-0.0469%	-20.99
Agua	-1.0210%	-1.36	-0.2042%	-0.27
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.6703%	1581.86	0.3341%	316.37
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.2108%	-206.52	-0.0422%	-41.30
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-6.2612%	-1258.75	-1.2522%	-251.75
Pastizal alpino	-0.2991%	-19.44	-0.0598%	-3.89
Asentamientos humanos	1.4363%	10.60	0.2873%	2.12
Mina de arena	-0.2233%	-0.28	-0.0447%	-0.06

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1970 - 1975

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 1975 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29198.69	31.03	29175.21	31.01	38.36	2.85	14.88	1.11	29.76	0.03	26.62	0.03	11.74	0.01
Agua	35.48	0.04	35.48	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	30852.84	32.79	31556.19	33.54	230.40	17.11	933.75	69.35	460.80	0.49	582.07	0.62	351.68	0.37
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21043.14	22.36	21218.30	22.55	3.60	0.27	178.76	13.28	7.20	0.01	91.18	0.10	87.58	0.09
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	590.59	0.63	0.00	0.00	1.52	0.11	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	10623.49	11.29	9782.82	10.40	1058.27	78.59	217.60	16.16	435.20	0.46	637.93	0.68	420.34	0.45
Pastizal alpino	1451.98	1.54	1436.10	1.53	15.88	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	7.94	0.01	7.94	0.01
Asentamientos humanos	230.56	0.25	230.56	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mina de arena	67.24	0.07	67.24	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**1346.51**	**100.00**	**1346.51**	**100.00**	**932.95**	**0.99**	**1346.51**	**1.43**	**880.03**	**0.94**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1970 - 1980

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 1980 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29198.69	31.03	29185.53	31.02	156.72	6.79	143.56	6.22	287.12	0.31	150.14	0.16	6.58	0.01
Agua	35.48	0.04	35.48	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	30852.84	32.79	31955.23	33.96	260.44	11.29	1362.83	59.06	520.87	0.55	811.63	0.86	551.19	0.59
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21043.14	22.36	21514.49	22.87	2.76	0.12	474.12	20.55	5.52	0.01	238.44	0.25	235.68	0.25
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	10623.49	11.29	9107.94	9.68	1837.42	79.63	321.88	13.95	643.75	0.68	1079.65	1.15	757.77	0.81
Pastizal alpino	1451.98	1.54	1416.79	1.51	35.56	1.54	0.36	0.02	0.72	0.00	17.96	0.02	17.60	0.02
Asentamientos humanos	230.56	0.25	235.32	0.25	0.00	0.00	4.76	0.21	0.00	0.00	2.38	0.00	2.38	0.00
Mina de arena	67.24	0.07	52.64	0.06	14.60	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	7.30	0.01	7.30	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**2307.50**	**100.00**	**2307.50**	**100.00**	**1457.98**	**1.55**	**2307.50**	**2.45**	**1578.50**	**1.68**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1970 - 1985

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 1985 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29198.69	31.03	29253.25	31.09	386.32	11.27	440.88	12.86	772.63	0.82	413.60	0.44	27.28	0.03
Agua	35.48	0.04	35.48	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	30852.84	32.79	32468.30	34.51	326.36	9.52	1941.82	56.63	652.71	0.69	1134.09	1.21	807.73	0.86
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21043.14	22.36	21589.73	22.95	20.00	0.58	566.59	16.52	40.00	0.04	293.30	0.31	273.30	0.29
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	590.59	0.63	0.00	0.00	1.52	0.04	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	10623.49	11.29	8396.71	8.92	2642.49	77.07	415.72	12.12	831.43	0.88	1529.10	1.63	1113.39	1.18
Pastizal alpino	1451.98	1.54	1413.23	1.50	39.12	1.14	0.36	0.01	0.72	0.00	19.74	0.02	19.38	0.02
Asentamientos humanos	230.56	0.25	291.68	0.31	0.00	0.00	61.12	1.78	0.00	0.00	30.56	0.03	30.56	0.03
Mina de arena	67.24	0.07	53.52	0.06	14.60	0.43	0.88	0.03	1.76	0.00	7.74	0.01	6.86	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**3428.88**	**100.00**	**3428.88**	**100.00**	**2299.26**	**2.44**	**3428.88**	**3.64**	**2279.26**	**2.42**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1970 - 1990

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 1990 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29198.69	31.03	28626.30	30.42	3146.33	26.26	2573.93	21.48	5147.87	5.47	2860.13	3.04	286.20	0.30
Agua	35.48	0.04	38.60	0.04	3.96	0.03	7.08	0.06	7.92	0.01	5.52	0.01	1.56	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	30852.84	32.79	33341.13	35.43	2189.66	18.27	4677.95	39.04	4379.31	4.65	3433.80	3.65	1244.15	1.32
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21043.14	22.36	22792.08	24.22	538.23	4.49	2287.18	19.09	1076.47	1.14	1412.71	1.50	874.47	0.93
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	10623.49	11.29	6421.17	6.82	5885.62	49.11	1683.30	14.05	3366.60	3.58	3784.46	4.02	2101.16	2.23
Pastizal alpino	1451.98	1.54	1309.43	1.39	144.16	1.20	1.60	0.01	3.20	0.00	72.88	0.08	71.28	0.08
Asentamientos humanos	230.56	0.25	902.39	0.96	37.40	0.31	709.23	5.92	74.80	0.08	373.32	0.40	335.92	0.36
Mina de arena	67.24	0.07	72.32	0.08	38.12	0.32	43.20	0.36	76.24	0.08	40.66	0.04	2.54	0.00
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**11983.47**	**100.00**	**11983.47**	**100.00**	**14132.41**	**15.02**	**11983.47**	**12.74**	**4917.27**	**5.23**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1970 - 1995

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 1995 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29198.69	31.03	28611.22	30.41	3267.21	26.36	2679.73	21.62	5359.46	5.70	2973.47	3.16	293.74	0.31
Agua	35.48	0.04	40.36	0.04	3.96	0.03	8.84	0.07	7.92	0.01	6.40	0.01	2.44	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	30852.84	32.79	33513.17	35.62	2192.06	17.69	4852.39	39.15	4384.11	4.66	3522.22	3.74	1330.17	1.41
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21043.14	22.36	22813.76	24.25	540.19	4.36	2310.82	18.64	1080.39	1.15	1425.51	1.52	885.31	0.94
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	10623.49	11.29	6215.01	6.61	6148.90	49.61	1740.42	14.04	3480.84	3.70	3944.66	4.19	2204.24	2.34
Pastizal alpino	1451.98	1.54	1309.43	1.39	144.16	1.16	1.60	0.01	3.20	0.00	72.88	0.08	71.28	0.08
Asentamientos humanos	230.56	0.25	913.67	0.97	37.32	0.30	720.43	5.81	74.64	0.08	378.88	0.40	341.56	0.36
Mina de arena	67.24	0.07	86.80	0.09	60.16	0.49	79.72	0.64	120.32	0.13	69.94	0.07	9.78	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**12393.95**	**100.00**	**12393.95**	**100.00**	**14510.89**	**15.42**	**12393.95**	**13.17**	**5138.51**	**5.46**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1970 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29198.69	31.03	28389.86	30.17	3605.04	27.15	2796.21	21.06	5592.42	5.94	3200.63	3.40	404.42	0.43
Agua	35.48	0.04	66.12	0.07	3.96	0.03	34.60	0.26	7.92	0.01	19.28	0.02	15.32	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	30852.84	32.79	33650.29	35.76	2386.42	17.97	5183.87	39.04	4772.83	5.07	3785.14	4.02	1398.73	1.49
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21043.14	22.36	22889.12	24.33	530.23	3.99	2376.22	17.90	1060.47	1.13	1453.22	1.54	922.99	0.98
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	10623.49	11.29	5829.30	6.20	6511.41	49.04	1717.22	12.93	3434.44	3.65	4114.32	4.37	2397.09	2.55
Pastizal alpino	1451.98	1.54	1301.23	1.38	152.04	1.15	1.28	0.01	2.56	0.00	76.66	0.08	75.38	0.08
Asentamientos humanos	230.56	0.25	1202.23	1.28	28.32	0.21	999.99	7.53	56.64	0.06	514.15	0.55	485.83	0.52
Mina de arena	67.24	0.07	175.28	0.19	60.04	0.45	168.08	1.27	120.08	0.13	114.06	0.12	54.02	0.06
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**13277.46**	**100.00**	**13277.46**	**100.00**	**15047.36**	**15.99**	**13277.46**	**14.11**	**5753.78**	**6.12**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1970 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29198.69	31.03	28234.22	30.01	3742.44	27.79	2777.97	20.63	5555.94	5.90	3260.21	3.46	482.23	0.51
Agua	35.48	0.04	71.92	0.08	3.96	0.03	40.40	0.30	7.92	0.01	22.18	0.02	18.22	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	30852.84	32.79	33602.65	35.71	2420.93	17.98	5170.75	38.40	4841.87	5.15	3795.84	4.03	1374.91	1.46
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21043.14	22.36	22929.04	24.37	520.67	3.87	2406.57	17.87	1041.35	1.11	1463.62	1.56	942.95	1.00
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	10623.49	11.29	5842.30	6.21	6540.49	48.57	1759.30	13.07	3518.60	3.74	4149.90	4.41	2390.59	2.54
Pastizal alpino	1451.98	1.54	1301.23	1.38	152.04	1.13	1.28	0.01	2.56	0.00	76.66	0.08	75.38	0.08
Asentamientos humanos	230.56	0.25	1298.07	1.38	24.44	0.18	1091.95	8.11	48.88	0.05	558.19	0.59	533.75	0.57
Mina de arena	67.24	0.07	224.00	0.24	60.04	0.45	216.80	1.61	120.08	0.13	138.42	0.15	78.38	0.08
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**13465.02**	**100.00**	**13465.02**	**100.00**	**15137.20**	**16.09**	**13465.02**	**14.31**	**5896.42**	**6.27**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1970 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29198.69	31.03	26823.00	28.51	4907.95	32.94	2532.25	16.99	5064.51	5.38	3720.10	3.95	1187.85	1.26
Agua	35.48	0.04	74.08	0.08	2.64	0.02	41.24	0.28	5.28	0.01	21.94	0.02	19.30	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	30852.84	32.79	34563.36	36.73	2351.86	15.78	6062.38	40.69	4703.71	5.00	4207.12	4.47	1855.26	1.97
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21043.14	22.36	22795.64	24.23	487.95	3.27	2240.46	15.04	975.91	1.04	1364.21	1.45	876.25	0.93
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	10623.49	11.29	5606.26	5.96	6934.57	46.54	1917.34	12.87	3834.68	4.08	4425.95	4.70	2508.61	2.67
Pastizal alpino	1451.98	1.54	1294.43	1.38	158.16	1.06	0.60	0.00	1.20	0.00	79.38	0.08	78.78	0.08
Asentamientos humanos	230.56	0.25	2087.30	2.22	6.20	0.04	1862.94	12.50	12.40	0.01	934.57	0.99	928.37	0.99
Mina de arena	67.24	0.07	259.36	0.28	51.40	0.34	243.52	1.63	102.80	0.11	147.46	0.16	96.06	0.10
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**14900.72**	**100.00**	**14900.72**	**100.00**	**14700.49**	**15.62**	**14900.72**	**15.84**	**7550.48**	**8.02**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1970 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29198.69	31.03	26801.12	28.48	4963.31	33.36	2565.73	17.25	5131.47	5.45	3764.52	4.00	1198.79	1.27
Agua	35.48	0.04	74.48	0.08	2.36	0.02	41.36	0.28	4.72	0.01	21.86	0.02	19.50	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	30852.84	32.79	34316.60	36.47	2422.73	16.28	5886.50	39.57	4845.47	5.15	4154.62	4.42	1731.88	1.84
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21043.14	22.36	22815.52	24.25	487.39	3.28	2259.78	15.19	974.79	1.04	1373.59	1.46	886.19	0.94
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	10623.49	11.29	5834.58	6.20	6785.57	45.61	1996.66	13.42	3993.32	4.24	4391.11	4.67	2394.45	2.54
Pastizal alpino	1451.98	1.54	1299.87	1.38	152.68	1.03	0.56	0.00	1.12	0.00	76.62	0.08	76.06	0.08
Asentamientos humanos	230.56	0.25	2127.46	2.26	6.20	0.04	1903.10	12.79	12.40	0.01	954.65	1.01	948.45	1.01
Mina de arena	67.24	0.07	233.80	0.25	57.52	0.39	224.08	1.51	115.04	0.12	140.80	0.15	83.28	0.09
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**14877.76**	**100.00**	**14877.76**	**100.00**	**15078.32**	**16.02**	**14877.76**	**15.81**	**7338.60**	**7.80**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1970 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1970 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29198.69	31.03	26102.65	27.74	5650.46	34.57	2554.41	15.63	5108.83	5.43	4102.44	4.36	1548.02	1.65
Agua	35.48	0.04	73.92	0.08	3.92	0.02	42.36	0.26	7.84	0.01	23.14	0.02	19.22	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	30852.84	32.79	35753.63	38.00	2102.58	12.86	7003.37	42.85	4205.16	4.47	4552.97	4.84	2450.39	2.60
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21043.14	22.36	22631.56	24.05	637.75	3.90	2226.18	13.62	1275.51	1.36	1431.97	1.52	794.21	0.84
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	587.91	0.62	2.52	0.02	1.36	0.01	2.72	0.00	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	10623.49	11.29	4660.15	4.95	7707.04	47.16	1743.70	10.67	3487.40	3.71	4725.37	5.02	2981.67	3.17
Pastizal alpino	1451.98	1.54	1280.43	1.36	175.68	1.07	4.12	0.03	8.24	0.01	89.90	0.10	85.78	0.09
Asentamientos humanos	230.56	0.25	2672.41	2.84	6.24	0.04	2448.09	14.98	12.48	0.01	1227.17	1.30	1220.93	1.30
Mina de arena	67.24	0.07	329.84	0.35	57.52	0.35	320.12	1.96	115.04	0.12	188.82	0.20	131.30	0.14
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**16343.71**	**100.00**	**16343.71**	**100.00**	**14223.21**	**15.12**	**16343.71**	**17.37**	**9232.10**	**9.81**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1975 - 1980

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 1980 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29175.21	31.01	29185.53	31.02	118.36	12.07	128.68	13.12	236.72	0.25	123.52	0.13	5.16	0.01
Agua	35.48	0.04	35.48	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	31556.19	33.54	31955.22	33.96	38.44	3.92	437.48	44.60	76.88	0.08	237.96	0.25	199.52	0.21
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21218.30	22.55	21514.49	22.87	0.68	0.07	296.88	30.27	1.36	0.00	148.78	0.16	148.10	0.16
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	9782.82	10.40	9107.94	9.68	787.55	80.29	112.68	11.49	225.36	0.24	450.12	0.48	337.44	0.36
Pastizal alpino	1436.10	1.53	1416.79	1.51	19.68	2.01	0.36	0.04	0.72	0.00	10.02	0.01	9.66	0.01
Asentamientos humanos	230.56	0.25	235.32	0.25	0.00	0.00	4.76	0.49	0.00	0.00	2.38	0.00	2.38	0.00
Mina de arena	67.24	0.07	52.64	0.06	14.60	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00	7.30	0.01	7.30	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**980.83**	**100.00**	**980.83**	**100.00**	**541.03**	**0.58**	**980.83**	**1.04**	**710.31**	**0.75**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1975 - 1985

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 1985 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29175.21	31.01	29253.25	31.09	347.96	14.78	426.00	18.09	695.91	0.74	386.98	0.41	39.02	0.04
Agua	35.48	0.04	35.48	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	31556.19	33.54	32468.30	34.51	233.84	9.93	1145.95	48.66	467.68	0.50	689.89	0.73	456.06	0.48
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21218.30	22.55	21589.73	22.95	16.40	0.70	387.84	16.47	32.80	0.03	202.12	0.21	185.72	0.20
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	590.59	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	9782.82	10.40	8396.71	8.92	1718.90	72.99	332.80	14.13	665.59	0.71	1025.85	1.09	693.05	0.74
Pastizal alpino	1436.10	1.53	1413.23	1.50	23.24	0.99	0.36	0.02	0.72	0.00	11.80	0.01	11.44	0.01
Asentamientos humanos	230.56	0.25	291.68	0.31	0.00	0.00	61.12	2.60	0.00	0.00	30.56	0.03	30.56	0.03
Mina de arena	67.24	0.07	53.52	0.06	14.60	0.62	0.88	0.04	1.76	0.00	7.74	0.01	6.86	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**2354.94**	**100.00**	**2354.94**	**100.00**	**1864.46**	**1.98**	**2354.94**	**2.50**	**1422.71**	**1.51**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1975 - 1990

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 1990 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29175.21	31.01	28626.30	30.42	3121.69	27.59	2572.77	22.74	5145.55	5.47	2847.23	3.03	274.46	0.29
Agua	35.48	0.04	38.60	0.04	3.96	0.04	7.08	0.06	7.92	0.01	5.52	0.01	1.56	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	31556.19	33.54	33341.13	35.43	2322.86	20.53	4107.80	36.31	4645.71	4.94	3215.33	3.42	892.47	0.95
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21218.30	22.55	22792.08	24.22	564.55	4.99	2138.34	18.90	1129.11	1.20	1351.45	1.44	786.89	0.84
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	9782.82	10.40	6421.17	6.82	5094.59	45.03	1732.94	15.32	3465.88	3.68	3413.76	3.63	1680.82	1.79
Pastizal alpino	1436.10	1.53	1309.43	1.39	129.00	1.14	2.32	0.02	4.64	0.00	65.66	0.07	63.34	0.07
Asentamientos humanos	230.56	0.25	902.39	0.96	37.40	0.33	709.23	6.27	74.80	0.08	373.32	0.40	335.92	0.36
Mina de arena	67.24	0.07	72.32	0.08	38.12	0.34	43.20	0.38	76.24	0.08	40.66	0.04	2.54	0.00
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**11313.68**	**100.00**	**11313.68**	**100.00**	**14549.85**	**15.46**	**11313.68**	**12.02**	**4038.76**	**4.29**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1975 - 1995

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 1995 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29175.21	31.01	28611.22	30.41	3243.89	27.57	2679.89	22.78	5359.78	5.70	2961.89	3.15	282.00	0.30
Agua	35.48	0.04	40.36	0.04	3.96	0.03	8.84	0.08	7.92	0.01	6.40	0.01	2.44	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	31556.19	33.54	33513.17	35.62	2346.38	19.94	4303.35	36.57	4692.75	4.99	3324.87	3.53	978.49	1.04
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21218.30	22.55	22813.76	24.25	566.51	4.81	2161.98	18.37	1133.03	1.20	1364.25	1.45	797.73	0.85
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	9782.82	10.40	6215.01	6.61	5377.14	45.70	1809.34	15.38	3618.68	3.85	3593.24	3.82	1783.90	1.90
Pastizal alpino	1436.10	1.53	1309.43	1.39	129.00	1.10	2.32	0.02	4.64	0.00	65.66	0.07	63.34	0.07
Asentamientos humanos	230.56	0.25	913.67	0.97	37.32	0.32	720.43	6.12	74.64	0.08	378.88	0.40	341.56	0.36
Mina de arena	67.24	0.07	86.80	0.09	60.16	0.51	79.72	0.68	120.32	0.13	69.94	0.07	9.78	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**11765.88**	**100.00**	**11765.88**	**100.00**	**15011.76**	**15.95**	**11765.88**	**12.50**	**4260.00**	**4.53**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1975 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29175.21	31.01	28389.86	30.17	3579.24	28.61	2793.89	22.33	5587.78	5.94	3186.57	3.39	392.68	0.42
Agua	35.48	0.04	66.12	0.07	3.96	0.03	34.60	0.28	7.92	0.01	19.28	0.02	15.32	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	31556.19	33.54	33650.29	35.76	2469.45	19.74	4563.55	36.48	4938.91	5.25	3516.50	3.74	1047.05	1.11
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21218.30	22.55	22889.12	24.33	557.31	4.45	2228.14	17.81	1114.63	1.18	1392.73	1.48	835.41	0.89
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	9782.82	10.40	5829.30	6.20	5673.82	45.35	1720.30	13.75	3440.60	3.66	3697.06	3.93	1976.76	2.10
Pastizal alpino	1436.10	1.53	1301.23	1.38	136.88	1.09	2.00	0.02	4.00	0.00	69.44	0.07	67.44	0.07
Asentamientos humanos	230.56	0.25	1202.23	1.28	28.32	0.23	999.99	7.99	56.64	0.06	514.15	0.55	485.83	0.52
Mina de arena	67.24	0.07	175.28	0.19	60.04	0.48	168.08	1.34	120.08	0.13	114.06	0.12	54.02	0.06
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**12510.55**	**100.00**	**12510.55**	**100.00**	**15270.56**	**16.23**	**12510.55**	**13.30**	**4875.27**	**5.18**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1975 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29175.21	31.01	28234.22	30.01	3719.40	29.28	2778.41	21.87	5556.82	5.91	3248.91	3.45	470.50	0.50
Agua	35.48	0.04	71.92	0.08	3.96	0.03	40.40	0.32	7.92	0.01	22.18	0.02	18.22	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	31556.19	33.54	33602.65	35.71	2507.45	19.74	4553.91	35.85	5014.91	5.33	3530.68	3.75	1023.23	1.09
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21218.30	22.55	22929.04	24.37	547.55	4.31	2258.30	17.78	1095.11	1.16	1402.93	1.49	855.37	0.91
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	9782.82	10.40	5842.30	6.21	5701.86	44.89	1761.34	13.87	3522.68	3.74	3731.60	3.97	1970.26	2.09
Pastizal alpino	1436.10	1.53	1301.23	1.38	136.88	1.08	2.00	0.02	4.00	0.00	69.44	0.07	67.44	0.07
Asentamientos humanos	230.56	0.25	1298.07	1.38	24.44	0.19	1091.95	8.60	48.88	0.05	558.19	0.59	533.75	0.57
Mina de arena	67.24	0.07	224.00	0.24	60.04	0.47	216.80	1.71	120.08	0.13	138.42	0.15	78.38	0.08
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**12703.11**	**100.00**	**12703.11**	**100.00**	**15370.40**	**16.34**	**12703.11**	**13.50**	**5017.91**	**5.33**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1975 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29175.21	31.01	26823.00	28.51	4883.27	34.31	2531.05	17.78	5062.11	5.38	3707.16	3.94	1176.11	1.25
Agua	35.48	0.04	74.08	0.08	2.64	0.02	41.24	0.29	5.28	0.01	21.94	0.02	19.30	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	31556.19	33.54	34563.36	36.73	2490.53	17.50	5497.70	38.63	4981.07	5.29	3994.12	4.24	1503.58	1.60
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21218.30	22.55	22795.64	24.23	519.67	3.65	2097.02	14.73	1039.35	1.10	1308.35	1.39	788.67	0.84
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	9782.82	10.40	5606.26	5.96	6134.62	43.10	1958.06	13.76	3916.12	4.16	4046.34	4.30	2088.28	2.22
Pastizal alpino	1436.10	1.53	1294.43	1.38	143.00	1.00	1.32	0.01	2.64	0.00	72.16	0.08	70.84	0.08
Asentamientos humanos	230.56	0.25	2087.30	2.22	6.20	0.04	1862.94	13.09	12.40	0.01	934.57	0.99	928.37	0.99
Mina de arena	67.24	0.07	259.36	0.28	51.40	0.36	243.52	1.71	102.80	0.11	147.46	0.16	96.06	0.10
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**14232.85**	**100.00**	**14232.85**	**100.00**	**15121.76**	**16.07**	**14232.85**	**15.13**	**6671.97**	**7.09**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1975 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29175.21	31.01	26801.12	28.48	4938.75	34.61	2564.65	17.97	5129.31	5.45	3751.70	3.99	1187.05	1.26
Agua	35.48	0.04	74.48	0.08	2.36	0.02	41.36	0.29	4.72	0.01	21.86	0.02	19.50	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	31556.19	33.54	34316.60	36.47	2587.85	18.14	5348.26	37.48	5175.71	5.50	3968.06	4.22	1380.21	1.47
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21218.30	22.55	22815.52	24.25	518.75	3.64	2115.98	14.83	1037.51	1.10	1317.37	1.40	798.61	0.85
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	9782.82	10.40	5834.58	6.20	6017.62	42.18	2069.38	14.50	4138.76	4.40	4043.50	4.30	1974.12	2.10
Pastizal alpino	1436.10	1.53	1299.87	1.38	137.52	0.96	1.28	0.01	2.56	0.00	69.40	0.07	68.12	0.07
Asentamientos humanos	230.56	0.25	2127.46	2.26	6.20	0.04	1903.10	13.34	12.40	0.01	954.65	1.01	948.45	1.01
Mina de arena	67.24	0.07	233.80	0.25	57.52	0.40	224.08	1.57	115.04	0.12	140.80	0.15	83.28	0.09
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**14268.09**	**100.00**	**14268.09**	**100.00**	**15616.00**	**16.60**	**14268.09**	**15.16**	**6460.09**	**6.87**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1975 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1975 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29175.21	31.01	26102.65	27.74	5625.78	35.95	2553.21	16.32	5106.43	5.43	4089.50	4.35	1536.28	1.63
Agua	35.48	0.04	73.92	0.08	3.92	0.03	42.36	0.27	7.84	0.01	23.14	0.02	19.22	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	31556.19	33.54	35753.63	38.00	2224.22	14.21	6421.65	41.04	4448.43	4.73	4322.93	4.59	2098.72	2.23
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21218.30	22.55	22631.56	24.05	669.35	4.28	2082.62	13.31	1338.71	1.42	1375.99	1.46	706.63	0.75
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	587.91	0.62	4.04	0.03	1.36	0.01	2.72	0.00	2.70	0.00	1.34	0.00
Pastizal	9782.82	10.40	4660.15	4.95	6896.89	44.07	1774.22	11.34	3548.44	3.77	4335.55	4.61	2561.33	2.72
Pastizal alpino	1436.10	1.53	1280.43	1.36	160.52	1.03	4.84	0.03	9.68	0.01	82.68	0.09	77.84	0.08
Asentamientos humanos	230.56	0.25	2672.41	2.84	6.24	0.04	2448.09	15.64	12.48	0.01	1227.17	1.30	1220.93	1.30
Mina de arena	67.24	0.07	329.84	0.35	57.52	0.37	320.12	2.05	115.04	0.12	188.82	0.20	131.30	0.14
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**15648.48**	**100.00**	**15648.48**	**100.00**	**14589.77**	**15.51**	**15648.48**	**16.63**	**8353.59**	**8.88**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1980 - 1985

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 1985 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29185.53	31.02	29253.25	31.09	229.60	16.67	297.32	21.59	459.20	0.49	263.46	0.28	33.86	0.04
Agua	35.48	0.04	35.48	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	31955.23	33.96	32468.30	34.51	195.40	14.19	708.47	51.44	390.80	0.42	451.94	0.48	256.54	0.27
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21514.49	22.87	21589.73	22.95	17.24	1.25	92.48	6.71	34.48	0.04	54.86	0.06	37.62	0.04
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	590.59	0.63	0.00	0.00	1.52	0.11	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	9107.94	9.68	8396.71	8.92	931.51	67.63	220.28	15.99	440.56	0.47	575.89	0.61	355.62	0.38
Pastizal alpino	1416.79	1.51	1413.23	1.50	3.56	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78	0.00	1.78	0.00
Asentamientos humanos	235.32	0.25	291.68	0.31	0.00	0.00	56.36	4.09	0.00	0.00	28.18	0.03	28.18	0.03
Mina de arena	52.64	0.06	53.52	0.06	0.00	0.00	0.88	0.06	0.00	0.00	0.44	0.00	0.44	0.00
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**1377.31**	**100.00**	**1377.31**	**100.00**	**1325.03**	**1.41**	**1377.31**	**1.46**	**714.79**	**0.76**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1980 - 1990

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 1990 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29185.53	31.02	28626.30	30.42	3016.93	28.78	2457.69	23.44	4915.39	5.22	2737.31	2.91	279.62	0.30
Agua	35.48	0.04	38.60	0.04	3.96	0.04	7.08	0.07	7.92	0.01	5.52	0.01	1.56	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	31955.23	33.96	33341.13	35.43	2347.90	22.40	3733.80	35.62	4695.79	4.99	3040.85	3.23	692.95	0.74
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21514.49	22.87	22792.08	24.22	611.95	5.84	1889.54	18.02	1223.91	1.30	1250.75	1.33	638.79	0.68
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	9107.94	9.68	6421.17	6.82	4332.47	41.33	1645.70	15.70	3291.41	3.50	2989.09	3.18	1343.39	1.43
Pastizal alpino	1416.79	1.51	1309.43	1.39	109.32	1.04	1.96	0.02	3.92	0.00	55.64	0.06	53.68	0.06
Asentamientos humanos	235.32	0.25	902.39	0.96	37.44	0.36	704.51	6.72	74.88	0.08	370.98	0.39	333.54	0.35
Mina de arena	52.64	0.06	72.32	0.08	23.52	0.22	43.20	0.41	47.04	0.05	33.36	0.04	9.84	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**10483.49**	**100.00**	**10483.49**	**100.00**	**14260.25**	**15.16**	**10483.49**	**11.14**	**3353.36**	**3.56**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1980 - 1995

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 1995 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29185.53	31.02	28611.22	30.41	3147.77	28.74	2573.45	23.50	5146.91	5.47	2860.61	3.04	287.16	0.31
Agua	35.48	0.04	40.36	0.04	3.96	0.04	8.84	0.08	7.92	0.01	6.40	0.01	2.44	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	31955.23	33.96	33513.17	35.62	2371.42	21.65	3929.36	35.88	4742.83	5.04	3150.39	3.35	778.97	0.83
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21514.49	22.87	22813.76	24.25	613.31	5.60	1912.58	17.46	1226.63	1.30	1262.95	1.34	649.63	0.69
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	9107.94	9.68	6215.01	6.61	4623.03	42.21	1730.10	15.80	3460.20	3.68	3176.57	3.38	1446.46	1.54
Pastizal alpino	1416.79	1.51	1309.43	1.39	109.32	1.00	1.96	0.02	3.92	0.00	55.64	0.06	53.68	0.06
Asentamientos humanos	235.32	0.25	913.67	0.97	37.36	0.34	715.71	6.54	74.72	0.08	376.54	0.40	339.18	0.36
Mina de arena	52.64	0.06	86.80	0.09	45.56	0.42	79.72	0.73	91.12	0.10	62.64	0.07	17.08	0.02
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**10951.73**	**100.00**	**10951.73**	**100.00**	**14754.25**	**15.68**	**10951.73**	**11.64**	**3574.60**	**3.80**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1980 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29185.53	31.02	28389.86	30.17	3486.96	29.75	2691.29	22.96	5382.58	5.72	3089.13	3.28	397.84	0.42
Agua	35.48	0.04	66.12	0.07	3.96	0.03	34.60	0.30	7.92	0.01	19.28	0.02	15.32	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	31955.23	33.96	33650.29	35.76	2503.73	21.36	4198.80	35.82	5007.47	5.32	3351.26	3.56	847.53	0.90
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21514.49	22.87	22889.12	24.33	604.11	5.15	1978.74	16.88	1208.23	1.28	1291.43	1.37	687.31	0.73
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	9107.94	9.68	5829.30	6.20	4931.27	42.07	1652.62	14.10	3305.25	3.51	3291.95	3.50	1639.32	1.74
Pastizal alpino	1416.79	1.51	1301.23	1.38	117.20	1.00	1.64	0.01	3.28	0.00	59.42	0.06	57.78	0.06
Asentamientos humanos	235.32	0.25	1202.23	1.28	28.32	0.24	995.23	8.49	56.64	0.06	511.77	0.54	483.45	0.51
Mina de arena	52.64	0.06	175.28	0.19	45.44	0.39	168.08	1.43	90.88	0.10	106.76	0.11	61.32	0.07
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**11721.00**	**100.00**	**11721.00**	**100.00**	**15062.24**	**16.01**	**11721.00**	**12.46**	**4189.88**	**4.45**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1980 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29185.53	31.02	28234.22	30.01	3628.40	30.46	2677.09	22.48	5354.18	5.69	3152.75	3.35	475.66	0.51
Agua	35.48	0.04	71.92	0.08	3.96	0.03	40.40	0.34	7.92	0.01	22.18	0.02	18.22	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	31955.23	33.96	33602.65	35.71	2538.73	21.31	4186.16	35.15	5077.47	5.40	3362.44	3.57	823.71	0.88
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21514.49	22.87	22929.04	24.37	594.35	4.99	2008.90	16.87	1188.71	1.26	1301.63	1.38	707.27	0.75
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	9107.94	9.68	5842.30	6.21	4958.23	41.63	1692.58	14.21	3385.16	3.60	3325.41	3.53	1632.82	1.74
Pastizal alpino	1416.79	1.51	1301.23	1.38	117.20	0.98	1.64	0.01	3.28	0.00	59.42	0.06	57.78	0.06
Asentamientos humanos	235.32	0.25	1298.07	1.38	24.44	0.21	1087.19	9.13	48.88	0.05	555.81	0.59	531.37	0.56
Mina de arena	52.64	0.06	224.00	0.24	45.44	0.38	216.80	1.82	90.88	0.10	131.12	0.14	85.68	0.09
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**11910.76**	**100.00**	**11910.76**	**100.00**	**15156.48**	**16.11**	**11910.76**	**12.66**	**4332.51**	**4.60**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1980 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29185.53	31.02	26823.00	28.51	4887.87	35.76	2525.33	18.48	5050.67	5.37	3706.60	3.94	1181.27	1.26
Agua	35.48	0.04	74.08	0.08	2.64	0.02	41.24	0.30	5.28	0.01	21.94	0.02	19.30	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	31955.23	33.96	34563.36	36.73	2543.21	18.61	5151.35	37.69	5086.43	5.41	3847.28	4.09	1304.07	1.39
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21514.49	22.87	22795.64	24.23	568.71	4.16	1849.86	13.53	1137.43	1.21	1209.29	1.29	640.57	0.68
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	9107.94	9.68	5606.26	5.96	5495.46	40.21	1993.78	14.59	3987.56	4.24	3744.62	3.98	1750.84	1.86
Pastizal alpino	1416.79	1.51	1294.43	1.38	123.68	0.90	1.32	0.01	2.64	0.00	62.50	0.07	61.18	0.07
Asentamientos humanos	235.32	0.25	2087.30	2.22	6.20	0.05	1858.18	13.60	12.40	0.01	932.19	0.99	925.99	0.98
Mina de arena	52.64	0.06	259.36	0.28	40.12	0.29	246.84	1.81	80.24	0.09	143.48	0.15	103.36	0.11
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**13667.90**	**100.00**	**13667.90**	**100.00**	**15362.64**	**16.33**	**13667.90**	**14.53**	**5986.58**	**6.36**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1980 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29185.53	31.02	26801.12	28.48	4944.23	36.06	2559.81	18.67	5119.63	5.44	3752.02	3.99	1192.21	1.27
Agua	35.48	0.04	74.48	0.08	2.36	0.02	41.36	0.30	4.72	0.01	21.86	0.02	19.50	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	31955.23	33.96	34316.60	36.47	2639.41	19.25	5000.79	36.47	5278.82	5.61	3820.10	4.06	1180.69	1.25
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21514.49	22.87	22815.52	24.25	566.99	4.13	1868.02	13.62	1133.99	1.21	1217.51	1.29	650.51	0.69
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	9107.94	9.68	5834.58	6.20	5392.50	39.32	2119.14	15.45	4238.28	4.50	3755.82	3.99	1636.68	1.74
Pastizal alpino	1416.79	1.51	1299.87	1.38	118.20	0.86	1.28	0.01	2.56	0.00	59.74	0.06	58.46	0.06
Asentamientos humanos	235.32	0.25	2127.46	2.26	6.20	0.05	1898.34	13.84	12.40	0.01	952.27	1.01	946.07	1.01
Mina de arena	52.64	0.06	233.80	0.25	42.92	0.31	224.08	1.63	85.84	0.09	133.50	0.14	90.58	0.10
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**13712.82**	**100.00**	**13712.82**	**100.00**	**15876.23**	**16.87**	**13712.82**	**14.57**	**5774.70**	**6.14**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1980 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1980 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29185.53	31.02	26102.65	27.74	5632.26	37.31	2549.37	16.89	5098.75	5.42	4090.82	4.35	1541.44	1.64
Agua	35.48	0.04	73.92	0.08	3.92	0.03	42.36	0.28	7.84	0.01	23.14	0.02	19.22	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	31955.23	33.96	35753.63	38.00	2284.98	15.13	6083.38	40.29	4569.95	4.86	4184.18	4.45	1899.20	2.02
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21514.49	22.87	22631.56	24.05	718.39	4.76	1835.46	12.16	1436.78	1.53	1276.93	1.36	558.53	0.59
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	587.91	0.62	2.52	0.02	1.36	0.01	2.72	0.00	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	9107.94	9.68	4660.15	4.95	6265.17	41.50	1817.38	12.04	3634.76	3.86	4041.28	4.30	2223.90	2.36
Pastizal alpino	1416.79	1.51	1280.43	1.36	141.20	0.94	4.84	0.03	9.68	0.01	73.02	0.08	68.18	0.07
Asentamientos humanos	235.32	0.25	2672.41	2.84	6.24	0.04	2443.33	16.18	12.48	0.01	1224.79	1.30	1218.55	1.30
Mina de arena	52.64	0.06	329.84	0.35	42.92	0.28	320.12	2.12	85.84	0.09	181.52	0.19	138.60	0.15
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**15097.60**	**100.00**	**15097.60**	**100.00**	**14858.80**	**15.79**	**15097.60**	**16.05**	**7668.20**	**8.15**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1985 - 1990

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 1990 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29253.25	31.09	28626.30	30.42	2858.73	30.26	2231.78	23.62	4463.55	4.74	2545.25	2.71	313.48	0.33
Agua	35.48	0.04	38.60	0.04	3.96	0.04	7.08	0.07	7.92	0.01	5.52	0.01	1.56	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	32468.30	34.51	33341.13	35.43	2283.58	24.17	3156.41	33.41	4567.15	4.85	2719.99	2.89	436.42	0.46
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21589.73	22.95	22792.08	24.22	613.99	6.50	1816.34	19.22	1227.99	1.31	1215.17	1.29	601.17	0.64
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	8396.71	8.92	6421.17	6.82	3513.72	37.19	1538.18	16.28	3076.37	3.27	2525.95	2.68	987.77	1.05
Pastizal alpino	1413.23	1.50	1309.43	1.39	105.76	1.12	1.96	0.02	3.92	0.00	53.86	0.06	51.90	0.06
Asentamientos humanos	291.68	0.31	902.39	0.96	43.36	0.46	654.07	6.92	86.72	0.09	348.72	0.37	305.36	0.32
Mina de arena	53.52	0.06	72.32	0.08	23.68	0.25	42.48	0.45	47.36	0.05	33.08	0.04	9.40	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**9448.30**	**100.00**	**9448.30**	**100.00**	**13480.98**	**14.33**	**9448.30**	**10.04**	**2707.81**	**2.88**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1985 - 1995

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 1995 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29253.25	31.09	28611.22	30.41	2990.29	30.09	2348.26	23.63	4696.51	4.99	2669.27	2.84	321.02	0.34
Agua	35.48	0.04	40.36	0.04	3.96	0.04	8.84	0.09	7.92	0.01	6.40	0.01	2.44	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	32468.30	34.51	33513.17	35.62	2319.78	23.34	3364.64	33.85	4639.55	4.93	2842.21	3.02	522.43	0.56
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21589.73	22.95	22813.76	24.25	615.35	6.19	1839.38	18.51	1230.71	1.31	1227.37	1.30	612.01	0.65
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	8396.71	8.92	6215.01	6.61	3812.92	38.36	1631.22	16.41	3262.45	3.47	2722.07	2.89	1090.85	1.16
Pastizal alpino	1413.23	1.50	1309.43	1.39	105.76	1.06	1.96	0.02	3.92	0.00	53.86	0.06	51.90	0.06
Asentamientos humanos	291.68	0.31	913.67	0.97	43.28	0.44	665.27	6.69	86.56	0.09	354.28	0.38	311.00	0.33
Mina de arena	53.52	0.06	86.80	0.09	46.44	0.47	79.72	0.80	92.88	0.10	63.08	0.07	16.64	0.02
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**9939.30**	**100.00**	**9939.30**	**100.00**	**14020.49**	**14.90**	**9939.30**	**10.56**	**2929.05**	**3.11**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1985 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29253.25	31.09	28389.86	30.17	3336.33	30.90	2472.93	22.91	4945.87	5.26	2904.63	3.09	431.70	0.46
Agua	35.48	0.04	66.12	0.07	3.96	0.04	34.60	0.32	7.92	0.01	19.28	0.02	15.32	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	32468.30	34.51	33650.29	35.76	2481.53	22.99	3663.52	33.94	4963.07	5.27	3072.53	3.27	590.99	0.63
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21589.73	22.95	22889.12	24.33	605.83	5.61	1905.22	17.65	1211.67	1.29	1255.53	1.33	649.69	0.69
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	8396.71	8.92	5829.30	6.20	4173.64	38.66	1606.22	14.88	3212.45	3.41	2889.93	3.07	1283.71	1.36
Pastizal alpino	1413.23	1.50	1301.23	1.38	113.64	1.05	1.64	0.02	3.28	0.00	57.64	0.06	56.00	0.06
Asentamientos humanos	291.68	0.31	1202.23	1.28	32.80	0.30	943.35	8.74	65.60	0.07	488.07	0.52	455.28	0.48
Mina de arena	53.52	0.06	175.28	0.19	46.32	0.43	168.08	1.56	92.64	0.10	107.20	0.11	60.88	0.06
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**10795.57**	**100.00**	**10795.57**	**100.00**	**14502.49**	**15.41**	**10795.57**	**11.47**	**3544.32**	**3.77**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1985 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29253.25	31.09	28234.22	30.01	3478.32	31.66	2459.29	22.39	4918.59	5.23	2968.81	3.16	509.51	0.54
Agua	35.48	0.04	71.92	0.08	3.96	0.04	40.40	0.37	7.92	0.01	22.18	0.02	18.22	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	32468.30	34.51	33602.65	35.71	2517.29	22.92	3651.64	33.24	5034.59	5.35	3084.47	3.28	567.17	0.60
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21589.73	22.95	22929.04	24.37	596.07	5.43	1935.38	17.62	1192.15	1.27	1265.73	1.35	669.65	0.71
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	8396.71	8.92	5842.30	6.21	4199.00	38.22	1644.58	14.97	3289.17	3.50	2921.79	3.11	1277.21	1.36
Pastizal alpino	1413.23	1.50	1301.23	1.38	113.64	1.03	1.64	0.01	3.28	0.00	57.64	0.06	56.00	0.06
Asentamientos humanos	291.68	0.31	1298.07	1.38	28.92	0.26	1035.31	9.42	57.84	0.06	532.11	0.57	503.19	0.53
Mina de arena	53.52	0.06	224.00	0.24	46.32	0.42	216.80	1.97	92.64	0.10	131.56	0.14	85.24	0.09
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**10985.04**	**100.00**	**10985.04**	**100.00**	**14596.17**	**15.51**	**10985.04**	**11.67**	**3686.96**	**3.92**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1985 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29253.25	31.09	26823.00	28.51	4795.07	37.12	2364.82	18.31	4729.63	5.03	3579.94	3.80	1215.13	1.29
Agua	35.48	0.04	74.08	0.08	2.64	0.02	41.24	0.32	5.28	0.01	21.94	0.02	19.30	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	32468.30	34.51	34563.36	36.73	2567.33	19.88	4662.39	36.09	5134.67	5.46	3614.86	3.84	1047.53	1.11
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21589.73	22.95	22795.64	24.23	574.87	4.45	1780.78	13.79	1149.75	1.22	1177.83	1.25	602.95	0.64
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	8396.71	8.92	5606.26	5.96	4803.83	37.19	2013.38	15.59	4026.76	4.28	3408.60	3.62	1395.23	1.48
Pastizal alpino	1413.23	1.50	1294.43	1.38	120.12	0.93	1.32	0.01	2.64	0.00	60.72	0.06	59.40	0.06
Asentamientos humanos	291.68	0.31	2087.30	2.22	10.68	0.08	1806.30	13.98	21.36	0.02	908.49	0.97	897.81	0.95
Mina de arena	53.52	0.06	259.36	0.28	41.00	0.32	246.84	1.91	82.00	0.09	143.92	0.15	102.92	0.11
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**12917.06**	**100.00**	**12917.06**	**100.00**	**15152.08**	**16.10**	**12917.06**	**13.73**	**5341.02**	**5.68**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1985 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29253.25	31.09	26801.12	28.48	4854.07	37.35	2401.93	18.48	4803.87	5.11	3628.00	3.86	1226.07	1.30
Agua	35.48	0.04	74.48	0.08	2.36	0.02	41.36	0.32	4.72	0.01	21.86	0.02	19.50	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	32468.30	34.51	34316.60	36.47	2683.37	20.65	4531.67	34.87	5366.74	5.70	3607.52	3.83	924.15	0.98
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21589.73	22.95	22815.52	24.25	573.47	4.41	1799.26	13.84	1146.95	1.22	1186.37	1.26	612.89	0.65
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	589.07	0.63	1.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00
Pastizal	8396.71	8.92	5834.58	6.20	4712.51	36.26	2150.38	16.54	4300.75	4.57	3431.44	3.65	1281.07	1.36
Pastizal alpino	1413.23	1.50	1299.87	1.38	114.64	0.88	1.28	0.01	2.56	0.00	57.96	0.06	56.68	0.06
Asentamientos humanos	291.68	0.31	2127.46	2.26	11.92	0.09	1847.70	14.22	23.84	0.03	929.81	0.99	917.89	0.98
Mina de arena	53.52	0.06	233.80	0.25	43.80	0.34	224.08	1.72	87.60	0.09	133.94	0.14	90.14	0.10
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**12997.66**	**100.00**	**12997.66**	**100.00**	**15737.04**	**16.73**	**12997.66**	**13.81**	**5129.15**	**5.45**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1985 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1985 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	29253.25	31.09	26102.65	27.74	5545.38	38.70	2394.77	16.71	4789.55	5.09	3970.08	4.22	1575.30	1.67
Agua	35.48	0.04	73.92	0.08	3.92	0.03	42.36	0.30	7.84	0.01	23.14	0.02	19.22	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	32468.30	34.51	35753.63	38.00	2300.90	16.06	5586.22	38.98	4601.79	4.89	3943.56	4.19	1642.66	1.75
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	21589.73	22.95	22631.56	24.05	724.55	5.06	1766.38	12.33	1449.10	1.54	1245.47	1.32	520.91	0.55
Desprovisto de vegetación	590.59	0.63	587.91	0.62	4.04	0.03	1.36	0.01	2.72	0.00	2.70	0.00	1.34	0.00
Pastizal	8396.71	8.92	4660.15	4.95	5559.42	38.79	1822.86	12.72	3645.72	3.87	3691.14	3.92	1868.28	1.99
Pastizal alpino	1413.23	1.50	1280.43	1.36	137.64	0.96	4.84	0.03	9.68	0.01	71.24	0.08	66.40	0.07
Asentamientos humanos	291.68	0.31	2672.41	2.84	10.72	0.07	2391.45	16.69	21.44	0.02	1201.09	1.28	1190.37	1.27
Mina de arena	53.52	0.06	329.84	0.35	43.80	0.31	320.12	2.23	87.60	0.09	181.96	0.19	138.16	0.15
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**14330.37**	**100.00**	**14330.37**	**100.00**	**14615.45**	**15.53**	**14330.37**	**15.23**	**7022.65**	**7.46**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1990 - 1995

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 1995 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28626.30	30.42	28611.22	30.41	186.88	27.94	171.80	25.68	343.60	0.37	179.34	0.19	7.54	0.01
Agua	38.60	0.04	40.36	0.04	0.00	0.00	1.76	0.26	0.00	0.00	0.88	0.00	0.88	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	33341.13	35.43	33513.17	35.62	66.20	9.90	238.24	35.61	132.40	0.14	152.22	0.16	86.02	0.09
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22792.08	24.22	22813.76	24.25	6.96	1.04	28.64	4.28	13.92	0.01	17.80	0.02	10.84	0.01
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6421.17	6.82	6215.01	6.61	382.56	57.19	176.40	26.37	352.80	0.37	279.48	0.30	103.08	0.11
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1309.43	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Asentamientos humanos	902.39	0.96	913.67	0.97	0.00	0.00	11.28	1.69	0.00	0.00	5.64	0.01	5.64	0.01
Mina de arena	72.32	0.08	86.80	0.09	26.36	3.94	40.84	6.10	52.72	0.06	33.60	0.04	7.24	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**668.95**	**100.00**	**668.95**	**100.00**	**895.43**	**0.95**	**668.95**	**0.71**	**221.24**	**0.24**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1990 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28626.30	30.42	28389.86	30.17	799.23	28.84	562.79	20.30	1125.59	1.20	681.01	0.72	118.22	0.13
Agua	38.60	0.04	66.12	0.07	0.00	0.00	27.52	0.99	0.00	0.00	13.76	0.01	13.76	0.01
Bosque de coníferas de pino y táscate	33341.13	35.43	33650.29	35.76	635.63	22.93	944.79	34.09	1271.27	1.35	790.21	0.84	154.58	0.16
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22792.08	24.22	22889.12	24.33	113.04	4.08	210.08	7.58	226.08	0.24	161.56	0.17	48.52	0.05
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6421.17	6.82	5829.30	6.20	1186.23	42.80	594.35	21.44	1188.71	1.26	890.29	0.95	295.94	0.31
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1301.23	1.38	8.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.00	4.10	0.00
Asentamientos humanos	902.39	0.96	1202.23	1.28	0.48	0.02	300.32	10.83	0.96	0.00	150.40	0.16	149.92	0.16
Mina de arena	72.32	0.08	175.28	0.19	28.92	1.04	131.88	4.76	57.84	0.06	80.40	0.09	51.48	0.05
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**2771.73**	**100.00**	**2771.73**	**100.00**	**3870.44**	**4.11**	**2771.73**	**2.95**	**836.51**	**0.89**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1990 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28626.30	30.42	28234.22	30.01	975.75	31.90	583.67	19.08	1167.35	1.24	779.71	0.83	196.04	0.21
Agua	38.60	0.04	71.92	0.08	0.00	0.00	33.32	1.09	0.00	0.00	16.66	0.02	16.66	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	33341.13	35.43	33602.65	35.71	700.47	22.90	961.99	31.45	1400.95	1.49	831.23	0.88	130.76	0.14
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22792.08	24.22	22929.04	24.37	104.16	3.40	241.12	7.88	208.32	0.22	172.64	0.18	68.48	0.07
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6421.17	6.82	5842.30	6.21	1241.47	40.58	662.59	21.66	1325.19	1.41	952.03	1.01	289.44	0.31
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1301.23	1.38	8.20	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.00	4.10	0.00
Asentamientos humanos	902.39	0.96	1298.07	1.38	0.16	0.01	395.84	12.94	0.32	0.00	198.00	0.21	197.84	0.21
Mina de arena	72.32	0.08	224.00	0.24	28.92	0.95	180.60	5.90	57.84	0.06	104.76	0.11	75.84	0.08
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**3059.13**	**100.00**	**3059.13**	**100.00**	**4159.96**	**4.42**	**3059.13**	**3.25**	**979.15**	**1.04**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1990 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28626.30	30.42	26823.00	28.51	2872.33	39.76	1069.03	14.80	2138.06	2.27	1970.68	2.09	901.65	0.96
Agua	38.60	0.04	74.08	0.08	0.16	0.00	35.64	0.49	0.32	0.00	17.90	0.02	17.74	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	33341.13	35.43	34563.36	36.73	1463.58	20.26	2685.81	37.17	2927.17	3.11	2074.70	2.20	611.11	0.65
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22792.08	24.22	22795.64	24.23	582.67	8.06	586.23	8.11	1165.35	1.24	584.45	0.62	1.78	0.00
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6421.17	6.82	5606.26	5.96	2249.02	31.13	1434.10	19.85	2868.21	3.05	1841.56	1.96	407.46	0.43
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1294.43	1.38	15.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.01	7.50	0.01
Asentamientos humanos	902.39	0.96	2087.30	2.22	13.88	0.19	1198.79	16.59	27.76	0.03	606.33	0.64	592.45	0.63
Mina de arena	72.32	0.08	259.36	0.28	28.36	0.39	215.40	2.98	56.72	0.06	121.88	0.13	93.52	0.10
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**7225.00**	**100.00**	**7225.00**	**100.00**	**9183.58**	**9.76**	**7225.00**	**7.68**	**2633.21**	**2.80**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1990 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28626.30	30.42	26801.12	28.48	2943.65	39.47	1118.47	15.00	2236.94	2.38	2031.06	2.16	912.59	0.97
Agua	38.60	0.04	74.48	0.08	0.44	0.01	36.32	0.49	0.88	0.00	18.38	0.02	17.94	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	33341.13	35.43	34316.60	36.47	1658.34	22.24	2633.81	35.32	3316.69	3.52	2146.08	2.28	487.73	0.52
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22792.08	24.22	22815.52	24.25	606.67	8.13	630.11	8.45	1213.35	1.29	618.39	0.66	11.72	0.01
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6421.17	6.82	5834.58	6.20	2181.38	29.25	1594.78	21.38	3189.57	3.39	1888.08	2.01	293.30	0.31
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1299.87	1.38	13.44	0.18	3.88	0.05	7.76	0.01	8.66	0.01	4.78	0.01
Asentamientos humanos	902.39	0.96	2127.46	2.26	15.48	0.21	1240.55	16.63	30.96	0.03	628.01	0.67	612.53	0.65
Mina de arena	72.32	0.08	233.80	0.25	38.56	0.52	200.04	2.68	77.12	0.08	119.30	0.13	80.74	0.09
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**7457.96**	**100.00**	**7457.96**	**100.00**	**10073.25**	**10.71**	**7457.96**	**7.93**	**2421.33**	**2.57**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1990 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1990 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28626.30	30.42	26102.65	27.74	3720.32	40.69	1196.67	13.09	2393.33	2.54	2458.49	2.61	1261.83	1.34
Agua	38.60	0.04	73.92	0.08	1.88	0.02	37.20	0.41	3.76	0.00	19.54	0.02	17.66	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	33341.13	35.43	35753.63	38.00	1384.87	15.15	3797.36	41.53	2769.73	2.94	2591.11	2.75	1206.25	1.28
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22792.08	24.22	22631.56	24.05	772.59	8.45	612.07	6.69	1224.15	1.30	692.33	0.74	80.26	0.09
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	587.91	0.62	2.52	0.03	1.36	0.01	2.72	0.00	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	6421.17	6.82	4660.15	4.95	3175.41	34.73	1414.39	15.47	2828.77	3.01	2294.90	2.44	880.51	0.94
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1280.43	1.36	33.08	0.36	4.08	0.04	8.16	0.01	18.58	0.02	14.50	0.02
Asentamientos humanos	902.39	0.96	2672.41	2.84	14.12	0.15	1784.14	19.51	28.24	0.03	899.13	0.96	885.01	0.94
Mina de arena	72.32	0.08	329.84	0.35	38.32	0.42	295.84	3.24	76.64	0.08	167.08	0.18	128.76	0.14
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**9143.10**	**100.00**	**9143.10**	**100.00**	**9335.50**	**9.92**	**9143.10**	**9.72**	**4475.35**	**4.76**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1995 - 2000

Tipo de cobertura	Total 1995 (ha)	%	Total 2000 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28611.22	30.41	28389.86	30.17	665.71	29.33	444.36	19.58	888.71	0.94	555.03	0.59	110.68	0.12
Agua	40.36	0.04	66.12	0.07	0.00	0.00	25.76	1.14	0.00	0.00	12.88	0.01	12.88	0.01
Bosque de coníferas de pino y táscate	33513.17	35.62	33650.29	35.76	602.27	26.54	739.39	32.58	1204.55	1.28	670.83	0.71	68.56	0.07
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22813.76	24.25	22889.12	24.33	106.08	4.67	181.44	7.99	212.16	0.23	143.76	0.15	37.68	0.04
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6215.01	6.61	5829.30	6.20	884.15	38.96	498.43	21.96	996.87	1.06	691.29	0.73	192.86	0.20
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1301.23	1.38	8.20	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.00	4.10	0.00
Asentamientos humanos	913.67	0.97	1202.23	1.28	0.48	0.02	289.04	12.74	0.96	0.00	144.76	0.15	144.28	0.15
Mina de arena	86.80	0.09	175.28	0.19	2.56	0.11	91.04	4.01	5.12	0.01	46.80	0.05	44.24	0.05
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**2269.46**	**100.00**	**2269.46**	**100.00**	**3308.37**	**3.52**	**2269.46**	**2.41**	**615.27**	**0.65**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1995 - 2005

Tipo de cobertura	Total 1995 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28611.22	30.41	28234.22	30.01	841.95	33.02	464.96	18.23	929.91	0.99	653.45	0.69	188.50	0.20
Agua	40.36	0.04	71.92	0.08	0.00	0.00	31.56	1.24	0.00	0.00	15.78	0.02	15.78	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	33513.17	35.62	33602.65	35.71	665.87	26.11	755.35	29.62	1331.75	1.42	710.61	0.76	44.74	0.05
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22813.76	24.25	22929.04	24.37	97.20	3.81	212.48	8.33	194.40	0.21	154.84	0.16	57.64	0.06
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6215.01	6.61	5842.30	6.21	933.87	36.63	561.15	22.01	1122.31	1.19	747.51	0.79	186.36	0.20
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1301.23	1.38	8.20	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.00	4.10	0.00
Asentamientos humanos	913.67	0.97	1298.07	1.38	0.16	0.01	384.56	15.08	0.32	0.00	192.36	0.20	192.20	0.20
Mina de arena	86.80	0.09	224.00	0.24	2.56	0.10	139.76	5.48	5.12	0.01	71.16	0.08	68.60	0.07
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**2549.81**	**100.00**	**2549.81**	**100.00**	**3583.80**	**3.81**	**2549.81**	**2.71**	**757.91**	**0.81**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1995 - 2010

Tipo de cobertura	Total 1995 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28611.22	30.41	26823.00	28.51	2747.01	40.41	958.79	14.10	1917.58	2.04	1852.90	1.97	894.11	0.95
Agua	40.36	0.04	74.08	0.08	0.16	0.00	33.88	0.50	0.32	0.00	17.02	0.02	16.86	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	33513.17	35.62	34563.36	36.73	1452.34	21.37	2502.53	36.81	2904.69	3.09	1977.44	2.10	525.09	0.56
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22813.76	24.25	22795.64	24.23	578.19	8.51	560.07	8.24	1120.15	1.19	569.13	0.60	9.06	0.01
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6215.01	6.61	5606.26	5.96	1985.90	29.21	1377.15	20.26	2754.29	2.93	1681.52	1.79	304.38	0.32
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1294.43	1.38	15.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.01	7.50	0.01
Asentamientos humanos	913.67	0.97	2087.30	2.22	14.96	0.22	1188.59	17.49	29.92	0.03	601.77	0.64	586.81	0.62
Mina de arena	86.80	0.09	259.36	0.28	4.16	0.06	176.72	2.60	8.32	0.01	90.44	0.10	86.28	0.09
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**6797.73**	**100.00**	**6797.73**	**100.00**	**8735.27**	**9.28**	**6797.73**	**7.22**	**2430.09**	**2.58**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1995 - 2015

Tipo de cobertura	Total 1995 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28611.22	30.41	26801.12	28.48	2826.49	39.88	1016.39	14.34	2032.78	2.16	1921.44	2.04	905.05	0.96
Agua	40.36	0.04	74.48	0.08	0.44	0.01	34.56	0.49	0.88	0.00	17.50	0.02	17.06	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	33513.17	35.62	34316.60	36.47	1667.30	23.52	2470.73	34.86	3334.61	3.54	2069.02	2.20	401.72	0.43
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22813.76	24.25	22815.52	24.25	602.19	8.50	603.95	8.52	1204.39	1.28	603.07	0.64	0.88	0.00
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	6215.01	6.61	5834.58	6.20	1944.46	27.44	1564.02	22.07	3128.05	3.32	1754.24	1.86	190.22	0.20
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1299.87	1.38	13.44	0.19	3.88	0.05	7.76	0.01	8.66	0.01	4.78	0.01
Asentamientos humanos	913.67	0.97	2127.46	2.26	16.60	0.23	1230.39	17.36	33.20	0.04	623.49	0.66	606.89	0.64
Mina de arena	86.80	0.09	233.80	0.25	16.52	0.23	163.52	2.31	33.04	0.04	90.02	0.10	73.50	0.08
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**7087.45**	**100.00**	**7087.45**	**100.00**	**9774.70**	**10.39**	**7087.45**	**7.53**	**2200.10**	**2.34**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 1995 - 2020

Tipo de cobertura	Total 1995 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28611.22	30.41	26102.65	27.74	3596.32	41.10	1087.75	12.43	2175.50	2.31	2342.04	2.49	1254.29	1.33
Agua	40.36	0.04	73.92	0.08	1.88	0.02	35.44	0.41	3.76	0.00	18.66	0.02	16.78	0.02
Bosque de coníferas de pino y táscate	33513.17	35.62	35753.63	38.00	1381.31	15.79	3621.76	41.39	2762.61	2.94	2501.53	2.66	1120.23	1.19
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22813.76	24.25	22631.56	24.05	768.11	8.78	585.91	6.70	1171.83	1.25	677.01	0.72	91.10	0.10
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	587.91	0.62	2.52	0.03	1.36	0.02	2.72	0.00	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	6215.01	6.61	4660.15	4.95	2935.37	33.55	1380.51	15.78	2761.01	2.93	2157.94	2.29	777.43	0.83
Pastizal alpino	1309.43	1.39	1280.43	1.36	33.08	0.38	4.08	0.05	8.16	0.01	18.58	0.02	14.50	0.02
Asentamientos humanos	913.67	0.97	2672.41	2.84	15.20	0.17	1773.94	20.27	30.40	0.03	894.57	0.95	879.37	0.93
Mina de arena	86.80	0.09	329.84	0.35	16.28	0.19	259.32	2.96	32.56	0.03	137.80	0.15	121.52	0.13
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**8750.07**	**100.00**	**8750.07**	**100.00**	**8948.55**	**9.51**	**8750.07**	**9.30**	**4275.80**	**4.54**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 2000 - 2005

Tipo de cobertura	Total 2000 (ha)	%	Total 2005 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28389.86	30.17	28234.22	30.01	250.16	49.38	94.52	18.66	189.04	0.20	172.34	0.18	77.82	0.08
Agua	66.12	0.07	71.92	0.08	0.00	0.00	5.80	1.14	0.00	0.00	2.90	0.00	2.90	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	33650.29	35.76	33602.65	35.71	152.24	30.05	104.60	20.65	209.20	0.22	128.42	0.14	23.82	0.03
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22889.12	24.33	22929.04	24.37	0.76	0.15	40.68	8.03	1.52	0.00	20.72	0.02	19.96	0.02
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	5829.30	6.20	5842.30	6.21	103.40	20.41	116.40	22.98	206.80	0.22	109.90	0.12	6.50	0.01
Pastizal alpino	1301.23	1.38	1301.23	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Asentamientos humanos	1202.23	1.28	1298.07	1.38	0.00	0.00	95.84	18.92	0.00	0.00	47.92	0.05	47.92	0.05
Mina de arena	175.28	0.19	224.00	0.24	0.00	0.00	48.72	9.62	0.00	0.00	24.36	0.03	24.36	0.03
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**506.55**	**100.00**	**506.55**	**100.00**	**606.55**	**0.64**	**506.55**	**0.54**	**203.28**	**0.22**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 2000 - 2010

Tipo de cobertura	Total 2000 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28389.86	30.17	26823.00	28.51	2250.34	44.01	683.47	13.37	1366.95	1.45	1466.90	1.56	783.43	0.83
Agua	66.12	0.07	74.08	0.08	0.92	0.02	8.88	0.17	1.84	0.00	4.90	0.01	3.98	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	33650.29	35.76	34563.36	36.73	1054.51	20.62	1967.58	38.48	2109.02	2.24	1511.04	1.61	456.54	0.49
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22889.12	24.33	22795.64	24.23	498.55	9.75	405.08	7.92	810.15	0.86	451.82	0.48	46.74	0.05
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	5829.30	6.20	5606.26	5.96	1277.43	24.98	1054.39	20.62	2108.78	2.24	1165.91	1.24	111.52	0.12
Pastizal alpino	1301.23	1.38	1294.43	1.38	6.80	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	0.00	3.40	0.00
Asentamientos humanos	1202.23	1.28	2087.30	2.22	22.32	0.44	907.39	17.75	44.64	0.05	464.86	0.49	442.54	0.47
Mina de arena	175.28	0.19	259.36	0.28	2.12	0.04	86.20	1.69	4.24	0.00	44.16	0.05	42.04	0.04
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**5112.99**	**100.00**	**5112.99**	**100.00**	**6445.61**	**6.85**	**5112.99**	**5.43**	**1890.18**	**2.01**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 2000 - 2015

Tipo de cobertura	Total 2000 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28389.86	30.17	26801.12	28.48	2336.02	41.19	747.27	13.18	1494.54	1.59	1541.64	1.64	794.37	0.84
Agua	66.12	0.07	74.48	0.08	1.20	0.02	9.56	0.17	2.40	0.00	5.38	0.01	4.18	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	33650.29	35.76	34316.60	36.47	1388.07	24.47	2054.38	36.22	2776.13	2.95	1721.22	1.83	333.16	0.35
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22889.12	24.33	22815.52	24.25	523.67	9.23	450.08	7.94	900.15	0.96	486.87	0.52	36.80	0.04
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	5829.30	6.20	5834.58	6.20	1351.23	23.82	1356.51	23.92	2702.45	2.87	1353.87	1.44	2.64	0.00
Pastizal alpino	1301.23	1.38	1299.87	1.38	9.16	0.16	7.80	0.14	15.60	0.02	8.48	0.01	0.68	0.00
Asentamientos humanos	1202.23	1.28	2127.46	2.26	24.92	0.44	950.15	16.75	49.84	0.05	487.53	0.52	462.62	0.49
Mina de arena	175.28	0.19	233.80	0.25	37.36	0.66	95.88	1.69	74.72	0.08	66.62	0.07	29.26	0.03
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**5671.62**	**100.00**	**5671.62**	**100.00**	**8015.84**	**8.52**	**5671.62**	**6.03**	**1663.70**	**1.77**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 2000 - 2020

Tipo de cobertura	Total 2000 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28389.86	30.17	26102.65	27.74	3135.49	42.42	848.27	11.48	1696.54	1.80	1991.88	2.12	1143.61	1.22
Agua	66.12	0.07	73.92	0.08	3.24	0.04	11.04	0.15	6.48	0.01	7.14	0.01	3.90	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	33650.29	35.76	35753.63	38.00	1104.03	14.94	3207.37	43.39	2208.06	2.35	2155.70	2.29	1051.67	1.12
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22889.12	24.33	22631.56	24.05	695.11	9.40	437.56	5.92	875.11	0.93	566.33	0.60	128.78	0.14
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	587.91	0.62	2.52	0.03	1.36	0.02	2.72	0.00	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	5829.30	6.20	4660.15	4.95	2363.10	31.97	1193.95	16.15	2387.89	2.54	1778.52	1.89	584.57	0.62
Pastizal alpino	1301.23	1.38	1280.43	1.36	24.88	0.34	4.08	0.06	8.16	0.01	14.48	0.02	10.40	0.01
Asentamientos humanos	1202.23	1.28	2672.41	2.84	24.32	0.33	1494.50	20.22	48.64	0.05	759.41	0.81	735.09	0.78
Mina de arena	175.28	0.19	329.84	0.35	38.52	0.52	193.08	2.61	77.04	0.08	115.80	0.12	77.28	0.08
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**7391.20**	**100.00**	**7391.20**	**100.00**	**7310.64**	**7.77**	**7391.20**	**7.86**	**3735.88**	**3.97**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 2005 - 2010

Tipo de cobertura	Total 2005 (ha)	%	Total 2010 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28234.22	30.01	26823.00	28.51	2050.38	42.76	639.15	13.33	1278.31	1.36	1344.77	1.43	705.61	0.75
Agua	71.92	0.08	74.08	0.08	1.36	0.03	3.52	0.07	2.72	0.00	2.44	0.00	1.08	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	33602.65	35.71	34563.36	36.73	933.99	19.48	1894.70	39.51	1867.98	1.99	1414.35	1.50	480.35	0.51
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22929.04	24.37	22795.64	24.23	520.55	10.86	387.16	8.07	774.31	0.82	453.86	0.48	66.70	0.07
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	5842.30	6.21	5606.26	5.96	1238.23	25.82	1002.19	20.90	2004.38	2.13	1120.21	1.19	118.02	0.13
Pastizal alpino	1301.23	1.38	1294.43	1.38	6.80	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	0.00	3.40	0.00
Asentamientos humanos	1298.07	1.38	2087.30	2.22	34.92	0.73	824.15	17.19	69.84	0.07	429.54	0.46	394.62	0.42
Mina de arena	224.00	0.24	259.36	0.28	9.20	0.19	44.56	0.93	18.40	0.02	26.88	0.03	17.68	0.02
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**4795.43**	**100.00**	**4795.43**	**100.00**	**6015.94**	**6.39**	**4795.43**	**5.10**	**1787.46**	**1.90**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 2005 - 2015

Tipo de cobertura	Total 2005 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28234.22	30.01	26801.12	28.48	2139.46	39.82	706.35	13.15	1412.71	1.50	1422.91	1.51	716.55	0.76
Agua	71.92	0.08	74.48	0.08	1.64	0.03	4.20	0.08	3.28	0.00	2.92	0.00	1.28	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	33602.65	35.71	34316.60	36.47	1269.11	23.62	1983.06	36.91	2538.21	2.70	1626.08	1.73	356.98	0.38
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22929.04	24.37	22815.52	24.25	545.75	10.16	432.24	8.04	864.47	0.92	488.99	0.52	56.76	0.06
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	5842.30	6.21	5834.58	6.20	1312.03	24.42	1304.31	24.28	2608.61	2.77	1308.17	1.39	3.86	0.00
Pastizal alpino	1301.23	1.38	1299.87	1.38	9.16	0.17	7.80	0.15	15.60	0.02	8.48	0.01	0.68	0.00
Asentamientos humanos	1298.07	1.38	2127.46	2.26	38.00	0.71	867.39	16.14	76.00	0.08	452.70	0.48	414.70	0.44
Mina de arena	224.00	0.24	233.80	0.25	57.68	1.07	67.48	1.26	115.36	0.12	62.58	0.07	4.90	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**5372.82**	**100.00**	**5372.82**	**100.00**	**7634.24**	**8.11**	**5372.82**	**5.71**	**1555.70**	**1.65**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 2005 - 2020

Tipo de cobertura	Total 2005 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	28234.22	30.01	26102.65	27.74	2936.21	41.36	804.63	11.33	1609.26	1.71	1870.42	1.99	1065.79	1.13
Agua	71.92	0.08	73.92	0.08	3.68	0.05	5.68	0.08	7.36	0.01	4.68	0.00	1.00	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	33602.65	35.71	35753.63	38.00	996.71	14.04	3147.69	44.34	1993.42	2.12	2072.20	2.20	1075.49	1.14
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22929.04	24.37	22631.56	24.05	715.95	10.09	418.48	5.89	836.95	0.89	567.21	0.60	148.74	0.16
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	587.91	0.62	2.52	0.04	1.36	0.02	2.72	0.00	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	5842.30	6.21	4660.15	4.95	2320.14	32.68	1137.99	16.03	2275.98	2.42	1729.06	1.84	591.07	0.63
Pastizal alpino	1301.23	1.38	1280.43	1.36	24.88	0.35	4.08	0.06	8.16	0.01	14.48	0.02	10.40	0.01
Asentamientos humanos	1298.07	1.38	2672.41	2.84	36.72	0.52	1411.07	19.88	73.44	0.08	723.89	0.77	687.17	0.73
Mina de arena	224.00	0.24	329.84	0.35	62.36	0.88	168.20	2.37	124.72	0.13	115.28	0.12	52.92	0.06
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**7099.17**	**100.00**	**7099.17**	**100.00**	**6932.01**	**7.37**	**7099.17**	**7.54**	**3633.16**	**3.86**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 2010 - 2015

Tipo de cobertura	Total 2010 (ha)	%	Total 2015 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	26823.00	28.51	26801.12	28.48	217.44	16.72	195.56	15.03	391.12	0.42	206.50	0.22	10.94	0.01
Agua	74.08	0.08	74.48	0.08	0.28	0.02	0.68	0.05	0.56	0.00	0.48	0.00	0.20	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	34563.36	36.73	34316.60	36.47	560.35	43.08	313.60	24.11	627.19	0.67	436.98	0.46	123.38	0.13
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22795.64	24.23	22815.52	24.25	53.36	4.10	73.24	5.63	106.72	0.11	63.30	0.07	9.94	0.01
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	589.07	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	5606.26	5.96	5834.58	6.20	333.12	25.61	561.43	43.16	666.23	0.71	447.28	0.48	114.16	0.12
Pastizal alpino	1294.43	1.38	1299.87	1.38	2.36	0.18	7.80	0.60	4.72	0.01	5.08	0.01	2.72	0.00
Asentamientos humanos	2087.30	2.22	2127.46	2.26	59.16	4.55	99.32	7.64	118.32	0.13	79.24	0.08	20.08	0.02
Mina de arena	259.36	0.28	233.80	0.25	74.68	5.74	49.12	3.78	98.24	0.10	61.90	0.07	12.78	0.01
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**1300.75**	**100.00**	**1300.75**	**100.00**	**2013.10**	**2.14**	**1300.75**	**1.38**	**294.20**	**0.31**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 2010 - 2020

Tipo de cobertura	Total 2010 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	26823.00	28.51	26102.65	27.74	964.19	32.35	243.84	8.18	487.67	0.52	604.01	0.64	360.18	0.38
Agua	74.08	0.08	73.92	0.08	2.32	0.08	2.16	0.07	4.32	0.00	2.24	0.00	0.08	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	34563.36	36.73	35753.63	38.00	317.40	10.65	1507.66	50.59	634.79	0.67	912.53	0.97	595.13	0.63
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22795.64	24.23	22631.56	24.05	213.96	7.18	49.88	1.67	99.76	0.11	131.92	0.14	82.04	0.09
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	587.91	0.62	2.52	0.08	1.36	0.05	2.72	0.00	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	5606.26	5.96	4660.15	4.95	1366.15	45.84	420.04	14.09	840.07	0.89	893.09	0.95	473.06	0.50
Pastizal alpino	1294.43	1.38	1280.43	1.36	18.08	0.61	4.08	0.14	8.16	0.01	11.08	0.01	7.00	0.01
Asentamientos humanos	2087.30	2.22	2672.41	2.84	16.44	0.55	601.55	20.18	32.88	0.03	309.00	0.33	292.56	0.31
Mina de arena	259.36	0.28	329.84	0.35	79.16	2.66	149.64	5.02	158.32	0.17	114.40	0.12	35.24	0.04
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**2980.21**	**100.00**	**2980.21**	**100.00**	**2268.70**	**2.41**	**2980.21**	**3.17**	**1845.86**	**1.96**

Matriz cruzda del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca del periodo con limite de 3 kilometros 2015 - 2020

Tipo de cobertura	Total 2015 (ha)	%	Total 2020 (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Intercambio (ha)	%	Cambio Total (ha)	%	Cambio Neto (ha)	%
Agrícola	26801.12	28.48	26102.65	27.74	969.07	27.81	270.60	7.77	541.19	0.58	619.83	0.66	349.24	0.37
Agua	74.48	0.08	73.92	0.08	2.60	0.07	2.04	0.06	4.08	0.00	2.32	0.00	0.28	0.00
Bosque de coníferas de pino y táscate	34316.60	36.47	35753.63	38.00	466.52	13.39	1903.54	54.64	933.03	0.99	1185.03	1.26	718.51	0.76
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	22815.52	24.25	22631.56	24.05	282.96	8.12	99.00	2.84	198.00	0.21	190.98	0.20	91.98	0.10
Desprovisto de vegetación	589.07	0.63	587.91	0.62	2.52	0.07	1.36	0.04	2.72	0.00	1.94	0.00	0.58	0.00
Pastizal	5834.58	6.20	4660.15	4.95	1688.94	48.48	514.51	14.77	1029.03	1.09	1101.73	1.17	587.21	0.62
Pastizal alpino	1299.87	1.38	1280.43	1.36	23.64	0.68	4.20	0.12	8.40	0.01	13.92	0.01	9.72	0.01
Asentamientos humanos	2127.46	2.26	2672.41	2.84	27.72	0.80	572.67	16.44	55.44	0.06	300.20	0.32	272.48	0.29
Mina de arena	233.80	0.25	329.84	0.35	20.08	0.58	116.12	3.33	40.16	0.04	68.10	0.07	48.02	0.05
Total (ha)	**94092.49**	**100.00**	**94092.49**	**100.00**	**3484.04**	**100.00**	**3484.04**	**100.00**	**2812.05**	**2.99**	**3484.04**	**3.70**	**2078.02**	**2.21**

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 1975
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.0161%	-23.48	-0.0032%	-4.70
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.4559%	703.35	0.0912%	140.67
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.1665%	175.16	0.0333%	35.03
Desprovisto de vegetación	0.0516%	1.52	0.0103%	0.30
Pastizal	-1.5827%	-840.67	-0.3165%	-168.13
Pastizal alpino	-0.2187%	-15.88	-0.0437%	-3.18
Asentamientos humanos	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Mina de arena	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 1980
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.0090%	-13.16	-0.0018%	-2.63
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.7146%	1102.39	0.1429%	220.48
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.4480%	471.36	0.0896%	94.27
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-2.8532%	-1515.54	-0.5706%	-303.11
Pastizal alpino	-0.4848%	-35.20	-0.0970%	-7.04
Asentamientos humanos	0.4129%	4.76	0.0826%	0.95
Mina de arena	-4.3427%	-14.60	-0.8685%	-2.92

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 1985
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.0374%	54.56	0.0075%	10.91
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.0472%	1615.46	0.2094%	323.09
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.5195%	546.59	0.1039%	109.32
Desprovisto de vegetación	0.0516%	1.52	0.0103%	0.30
Pastizal	-4.1922%	-2226.78	-0.8384%	-445.36
Pastizal alpino	-0.5339%	-38.76	-0.1068%	-7.75
Asentamientos humanos	5.3019%	61.12	1.0604%	12.22
Mina de arena	-4.0809%	-13.72	-0.8162%	-2.74

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 1990
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3921%	-572.39	-0.0784%	-114.48
Agua	1.7587%	3.12	0.3517%	0.62
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.6130%	2488.29	0.3226%	497.66
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.6622%	1748.94	0.3324%	349.79
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-7.9114%	-4202.32	-1.5823%	-840.46
Pastizal alpino	-1.9636%	-142.56	-0.3927%	-28.51
Asentamientos humanos	58.2790%	671.83	11.6558%	134.37
Mina de arena	1.5110%	5.08	0.3022%	1.02

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 1995
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.4024%	-587.47	-0.0805%	-117.49
Agua	2.7508%	4.88	0.5502%	0.98
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.7245%	2660.33	0.3449%	532.07
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.6828%	1770.62	0.3366%	354.12
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-8.2995%	-4408.47	-1.6599%	-881.69
Pastizal alpino	-1.9636%	-142.56	-0.3927%	-28.51
Asentamientos humanos	59.2575%	683.11	11.8515%	136.62
Mina de arena	5.8180%	19.56	1.1636%	3.91

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.5540%	-808.83	-0.1108%	-161.77
Agua	17.2717%	30.64	3.4543%	6.13
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.8134%	2797.45	0.3627%	559.49
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.7545%	1845.98	0.3509%	369.20
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-9.0256%	-4794.19	-1.8051%	-958.84
Pastizal alpino	-2.0766%	-150.76	-0.4153%	-30.15
Asentamientos humanos	84.2887%	971.67	16.8577%	194.33
Mina de arena	32.1356%	108.04	6.4271%	21.61

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.6606%	-964.47	-0.1321%	-192.89
Agua	20.5411%	36.44	4.1082%	7.29
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.7825%	2749.81	0.3565%	549.96
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.7924%	1885.90	0.3585%	377.18
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-9.0012%	-4781.19	-1.8002%	-956.24
Pastizal alpino	-2.0766%	-150.76	-0.4153%	-30.15
Asentamientos humanos	92.6024%	1067.51	18.5205%	213.50
Mina de arena	46.6270%	156.76	9.3254%	31.35

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.6273%	-2375.70	-0.3255%	-475.14
Agua	21.7587%	38.60	4.3517%	7.72
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.4053%	3710.52	0.4811%	742.10
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.6656%	1752.50	0.3331%	350.50
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-9.4455%	-5017.23	-1.8891%	-1003.45
Pastizal alpino	-2.1702%	-157.56	-0.4340%	-31.51
Asentamientos humanos	161.0652%	1856.74	32.2130%	371.35
Mina de arena	57.1446%	192.12	11.4289%	38.42

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.6422%	-2397.57	-0.3284%	-479.51
Agua	21.9842%	39.00	4.3968%	7.80
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.2453%	3463.76	0.4491%	692.75
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.6845%	1772.38	0.3369%	354.48
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-9.0157%	-4788.91	-1.8031%	-957.78
Pastizal alpino	-2.0953%	-152.12	-0.4191%	-30.42
Asentamientos humanos	164.5489%	1896.90	32.9098%	379.38
Mina de arena	49.5419%	166.56	9.9084%	33.31

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1970 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-2.1207%	-3096.05	-0.4241%	-619.21
Agua	21.6685%	38.44	4.3337%	7.69
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	3.1769%	4900.79	0.6354%	980.16
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.5097%	1588.42	0.3019%	317.68
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-11.2267%	-5963.34	-2.2453%	-1192.67
Pastizal alpino	-2.3631%	-171.56	-0.4726%	-34.31
Asentamientos humanos	211.8217%	2441.85	42.3643%	488.37
Mina de arena	78.1083%	262.60	15.6217%	52.52

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 1980
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.0071%	10.32	0.0014%	2.06
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.2529%	399.04	0.0506%	79.81
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.2792%	296.20	0.0558%	59.24
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-1.3797%	-674.87	-0.2759%	-134.97
Pastizal alpino	-0.2691%	-19.32	-0.0538%	-3.86
Asentamientos humanos	0.4129%	4.76	0.0826%	0.95
Mina de arena	-4.3427%	-14.60	-0.8685%	-2.92

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 1985
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.0535%	78.04	0.0107%	15.61
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.5781%	912.11	0.1156%	182.42
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.3501%	371.44	0.0700%	74.29
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-2.8338%	-1386.11	-0.5668%	-277.22
Pastizal alpino	-0.3186%	-22.88	-0.0637%	-4.58
Asentamientos humanos	5.3019%	61.12	1.0604%	12.22
Mina de arena	-4.0809%	-13.72	-0.8162%	-2.74

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 1990
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3763%	-548.91	-0.0753%	-109.78
Agua	1.7587%	3.12	0.3517%	0.62
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.1313%	1784.94	0.2263%	356.99
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.4834%	1573.78	0.2967%	314.76
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-6.8725%	-3361.64	-1.3745%	-672.33
Pastizal alpino	-1.7642%	-126.68	-0.3528%	-25.34
Asentamientos humanos	58.2790%	671.83	11.6558%	134.37
Mina de arena	1.5110%	5.08	0.3022%	1.02

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 1995
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3866%	-563.99	-0.0773%	-112.80
Agua	2.7508%	4.88	0.5502%	0.98
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.2403%	1956.98	0.2481%	391.40
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.5039%	1595.46	0.3008%	319.09
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-7.2940%	-3567.80	-1.4588%	-713.56
Pastizal alpino	-1.7642%	-126.68	-0.3528%	-25.34
Asentamientos humanos	59.2575%	683.11	11.8515%	136.62
Mina de arena	5.8180%	19.56	1.1636%	3.91

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.5384%	-785.35	-0.1077%	-157.07
Agua	17.2717%	30.64	3.4543%	6.13
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.3272%	2094.10	0.2654%	418.82
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.5749%	1670.82	0.3150%	334.16
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-8.0826%	-3953.52	-1.6165%	-790.70
Pastizal alpino	-1.8784%	-134.88	-0.3757%	-26.98
Asentamientos humanos	84.2887%	971.67	16.8577%	194.33
Mina de arena	32.1356%	108.04	6.4271%	21.61

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.6451%	-940.99	-0.1290%	-188.20
Agua	20.5411%	36.44	4.1082%	7.29
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.2970%	2046.46	0.2594%	409.29
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.6125%	1710.74	0.3225%	342.15
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-8.0560%	-3940.52	-1.6112%	-788.10
Pastizal alpino	-1.8784%	-134.88	-0.3757%	-26.98
Asentamientos humanos	92.6024%	1067.51	18.5205%	213.50
Mina de arena	46.6270%	156.76	9.3254%	31.35

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.6125%	-2352.22	-0.3225%	-470.44
Agua	21.7587%	38.60	4.3517%	7.72
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.9059%	3007.17	0.3812%	601.43
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.4868%	1577.34	0.2974%	315.47
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-8.5386%	-4176.56	-1.7077%	-835.31
Pastizal alpino	-1.9731%	-141.68	-0.3946%	-28.34
Asentamientos humanos	161.0652%	1856.74	32.2130%	371.35
Mina de arena	57.1446%	192.12	11.4289%	38.42

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.6275%	-2374.10	-0.3255%	-474.82
Agua	21.9842%	39.00	4.3968%	7.80
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.7495%	2760.41	0.3499%	552.08
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.5055%	1597.22	0.3011%	319.44
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-8.0718%	-3948.24	-1.6144%	-789.65
Pastizal alpino	-1.8973%	-136.24	-0.3795%	-27.25
Asentamientos humanos	164.5489%	1896.90	32.9098%	379.38
Mina de arena	49.5419%	166.56	9.9084%	33.31

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1975 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-2.1063%	-3072.57	-0.4213%	-614.51
Agua	21.6685%	38.44	4.3337%	7.69
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.6603%	4197.44	0.5321%	839.49
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.3321%	1413.27	0.2664%	282.65
Desprovisto de vegetación	-0.0908%	-2.68	-0.0182%	-0.54
Pastizal	-10.4728%	-5122.67	-2.0946%	-1024.53
Pastizal alpino	-2.1681%	-155.68	-0.4336%	-31.14
Asentamientos humanos	211.8217%	2441.85	42.3643%	488.37
Mina de arena	78.1083%	262.60	15.6217%	52.52

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 1985
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	0.0464%	67.72	0.0093%	13.54
Agua	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.3211%	513.07	0.0642%	102.61
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0699%	75.24	0.0140%	15.05
Desprovisto de vegetación	0.0516%	1.52	0.0103%	0.30
Pastizal	-1.5618%	-711.23	-0.3124%	-142.25
Pastizal alpino	-0.0503%	-3.56	-0.0101%	-0.71
Asentamientos humanos	4.7901%	56.36	0.9580%	11.27
Mina de arena	0.3343%	0.88	0.0669%	0.18

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 1990
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3832%	-559.23	-0.0766%	-111.85
Agua	1.7587%	3.12	0.3517%	0.62
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.8674%	1385.91	0.1735%	277.18
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1877%	1277.59	0.2375%	255.52
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-5.8998%	-2686.77	-1.1800%	-537.35
Pastizal alpino	-1.5155%	-107.36	-0.3031%	-21.47
Asentamientos humanos	56.6956%	667.07	11.3391%	133.41
Mina de arena	7.4772%	19.68	1.4954%	3.94

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 1995
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.3936%	-574.31	-0.0787%	-114.86
Agua	2.7508%	4.88	0.5502%	0.98
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.9751%	1557.94	0.1950%	311.59
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2078%	1299.27	0.2416%	259.85
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-6.3525%	-2892.93	-1.2705%	-578.59
Pastizal alpino	-1.5155%	-107.36	-0.3031%	-21.47
Asentamientos humanos	57.6543%	678.35	11.5309%	135.67
Mina de arena	12.9787%	34.16	2.5957%	6.83

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.5453%	-795.67	-0.1091%	-159.13
Agua	17.2717%	30.64	3.4543%	6.13
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.0609%	1695.06	0.2122%	339.01
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2779%	1374.63	0.2556%	274.93
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-7.1995%	-3278.65	-1.4399%	-655.73
Pastizal alpino	-1.6313%	-115.56	-0.3263%	-23.11
Asentamientos humanos	82.1792%	966.91	16.4358%	193.38
Mina de arena	46.5957%	122.64	9.3191%	24.53

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.6519%	-951.31	-0.1304%	-190.26
Agua	20.5411%	36.44	4.1082%	7.29
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.0311%	1647.42	0.2062%	329.48
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.3150%	1414.55	0.2630%	282.91
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-7.1710%	-3265.65	-1.4342%	-653.13
Pastizal alpino	-1.6313%	-115.56	-0.3263%	-23.11
Asentamientos humanos	90.3247%	1062.75	18.0649%	212.55
Mina de arena	65.1064%	171.36	13.0213%	34.27

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.6190%	-2362.54	-0.3238%	-472.51
Agua	21.7587%	38.60	4.3517%	7.72
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.6324%	2608.13	0.3265%	521.63
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1910%	1281.15	0.2382%	256.23
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-7.6893%	-3501.68	-1.5379%	-700.34
Pastizal alpino	-1.7273%	-122.36	-0.3455%	-24.47
Asentamientos humanos	157.4027%	1851.98	31.4805%	370.40
Mina de arena	78.5410%	206.72	15.7082%	41.34

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.6340%	-2384.42	-0.3268%	-476.88
Agua	21.9842%	39.00	4.3968%	7.80
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.4779%	2361.38	0.2956%	472.28
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2094%	1301.03	0.2419%	260.21
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-7.1879%	-3273.37	-1.4376%	-654.67
Pastizal alpino	-1.6505%	-116.92	-0.3301%	-23.38
Asentamientos humanos	160.8159%	1892.14	32.1632%	378.43
Mina de arena	68.8298%	181.16	13.7660%	36.23

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1980 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-2.1126%	-3082.89	-0.4225%	-616.58
Agua	21.6685%	38.44	4.3337%	7.69
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.3773%	3798.40	0.4755%	759.68
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.0384%	1117.07	0.2077%	223.41
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-9.7668%	-4447.79	-1.9534%	-889.56
Pastizal alpino	-1.9249%	-136.36	-0.3850%	-27.27
Asentamientos humanos	207.1324%	2437.09	41.4265%	487.42
Mina de arena	105.3191%	277.20	21.0638%	55.44

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 1990
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.4286%	-626.95	-0.0857%	-125.39
Agua	1.7587%	3.12	0.3517%	0.62
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.5377%	872.83	0.1075%	174.57
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1138%	1202.35	0.2228%	240.47
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-4.7055%	-1975.54	-0.9411%	-395.11
Pastizal alpino	-1.4690%	-103.80	-0.2938%	-20.76
Asentamientos humanos	41.8760%	610.71	8.3752%	122.14
Mina de arena	7.0254%	18.80	1.4051%	3.76

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 1995
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.4389%	-642.03	-0.0878%	-128.41
Agua	2.7508%	4.88	0.5502%	0.98
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.6436%	1044.87	0.1287%	208.97
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1339%	1224.03	0.2268%	244.81
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-5.1966%	-2181.70	-1.0393%	-436.34
Pastizal alpino	-1.4690%	-103.80	-0.2938%	-20.76
Asentamientos humanos	42.6495%	621.99	8.5299%	124.40
Mina de arena	12.4365%	33.28	2.4873%	6.66

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.5903%	-863.39	-0.1181%	-172.68
Agua	17.2717%	30.64	3.4543%	6.13
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.7281%	1181.99	0.1456%	236.40
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2037%	1299.39	0.2407%	259.88
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-6.1153%	-2567.41	-1.2231%	-513.48
Pastizal alpino	-1.5850%	-112.00	-0.3170%	-22.40
Asentamientos humanos	62.4355%	910.55	12.4871%	182.11
Mina de arena	45.5007%	121.76	9.1001%	24.35

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.6967%	-1019.03	-0.1393%	-203.81
Agua	20.5411%	36.44	4.1082%	7.29
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.6987%	1134.35	0.1397%	226.87
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.2407%	1339.31	0.2481%	267.86
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-6.0843%	-2554.41	-1.2169%	-510.88
Pastizal alpino	-1.5850%	-112.00	-0.3170%	-22.40
Asentamientos humanos	69.0071%	1006.39	13.8014%	201.28
Mina de arena	63.7070%	170.48	12.7414%	34.10

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.6615%	-2430.25	-0.3323%	-486.05
Agua	21.7587%	38.60	4.3517%	7.72
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.2905%	2095.06	0.2581%	419.01
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1171%	1205.91	0.2234%	241.18
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-6.6465%	-2790.45	-1.3293%	-558.09
Pastizal alpino	-1.6812%	-118.80	-0.3362%	-23.76
Asentamientos humanos	123.1240%	1795.62	24.6248%	359.12
Mina de arena	76.9208%	205.84	15.3842%	41.17

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.6765%	-2452.13	-0.3353%	-490.43
Agua	21.9842%	39.00	4.3968%	7.80
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.1385%	1848.30	0.2277%	369.66
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	1.1355%	1225.79	0.2271%	245.16
Desprovisto de vegetación	-0.0515%	-1.52	-0.0103%	-0.30
Pastizal	-6.1027%	-2562.13	-1.2205%	-512.43
Pastizal alpino	-1.6043%	-113.36	-0.3209%	-22.67
Asentamientos humanos	125.8777%	1835.78	25.1755%	367.16
Mina de arena	67.3692%	180.28	13.4738%	36.06

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1985 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-2.1540%	-3150.61	-0.4308%	-630.12
Agua	21.6685%	38.44	4.3337%	7.69
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	2.0237%	3285.33	0.4047%	657.07
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.9651%	1041.83	0.1930%	208.37
Desprovisto de vegetación	-0.0908%	-2.68	-0.0182%	-0.54
Pastizal	-8.9001%	-3736.56	-1.7800%	-747.31
Pastizal alpino	-1.8794%	-132.80	-0.3759%	-26.56
Asentamientos humanos	163.2447%	2380.74	32.6489%	476.15
Mina de arena	103.2586%	276.32	20.6517%	55.26

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 1995
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.0105%	-15.08	-0.0021%	-3.02
Agua	0.9119%	1.76	0.1824%	0.35
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.1032%	172.04	0.0206%	34.41
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0190%	21.68	0.0038%	4.34
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-0.6421%	-206.16	-0.1284%	-41.23
Pastizal alpino	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Asentamientos humanos	0.2500%	11.28	0.0500%	2.26
Mina de arena	4.0044%	14.48	0.8009%	2.90

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.1652%	-236.44	-0.0330%	-47.29
Agua	14.2591%	27.52	2.8518%	5.50
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.1855%	309.16	0.0371%	61.83
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0852%	97.04	0.0170%	19.41
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.8435%	-591.87	-0.3687%	-118.37
Pastizal alpino	-0.1252%	-8.20	-0.0250%	-1.64
Asentamientos humanos	6.6454%	299.84	1.3291%	59.97
Mina de arena	28.4735%	102.96	5.6947%	20.59

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.2739%	-392.08	-0.0548%	-78.42
Agua	17.2642%	33.32	3.4528%	6.66
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.1569%	261.52	0.0314%	52.30
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.1202%	136.96	0.0240%	27.39
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.8030%	-578.87	-0.3606%	-115.77
Pastizal alpino	-0.1252%	-8.20	-0.0250%	-1.64
Asentamientos humanos	8.7695%	395.68	1.7539%	79.14
Mina de arena	41.9469%	151.68	8.3894%	30.34

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.2599%	-1803.30	-0.2520%	-360.66
Agua	18.3834%	35.48	3.6767%	7.10
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.7332%	1222.23	0.1466%	244.45
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0031%	3.56	0.0006%	0.71
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-2.5382%	-814.91	-0.5076%	-162.98
Pastizal alpino	-0.2291%	-15.00	-0.0458%	-3.00
Asentamientos humanos	26.2615%	1184.91	5.2523%	236.98
Mina de arena	51.7257%	187.04	10.3451%	37.41

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.2752%	-1825.18	-0.2550%	-365.04
Agua	18.5907%	35.88	3.7181%	7.18
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.5851%	975.47	0.1170%	195.09
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0206%	23.44	0.0041%	4.69
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.8271%	-586.59	-0.3654%	-117.32
Pastizal alpino	-0.1460%	-9.56	-0.0292%	-1.91
Asentamientos humanos	27.1516%	1225.07	5.4303%	245.01
Mina de arena	44.6571%	161.48	8.9314%	32.30

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1990 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.7632%	-2523.65	-0.3526%	-504.73
Agua	18.3005%	35.32	3.6601%	7.06
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.4472%	2412.49	0.2894%	482.50
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.1409%	-160.52	-0.0282%	-32.10
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-5.4850%	-1761.02	-1.0970%	-352.20
Pastizal alpino	-0.4429%	-29.00	-0.0886%	-5.80
Asentamientos humanos	39.2296%	1770.02	7.8459%	354.00
Mina de arena	71.2168%	257.52	14.2434%	51.50

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1995 - 2000
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.1547%	-221.36	-0.0309%	-44.27
Agua	12.7651%	25.76	2.5530%	5.15
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.0818%	137.12	0.0164%	27.42
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0661%	75.36	0.0132%	15.07
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.2412%	-385.72	-0.2482%	-77.14
Pastizal alpino	-0.1252%	-8.20	-0.0250%	-1.64
Asentamientos humanos	6.3164%	288.56	1.2633%	57.71
Mina de arena	20.3871%	88.48	4.0774%	17.70

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1995 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.2635%	-377.00	-0.0527%	-75.40
Agua	15.6392%	31.56	3.1278%	6.31
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.0534%	89.48	0.0107%	17.90
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.1011%	115.28	0.0202%	23.06
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.1994%	-372.72	-0.2399%	-74.54
Pastizal alpino	-0.1252%	-8.20	-0.0250%	-1.64
Asentamientos humanos	8.4143%	384.40	1.6829%	76.88
Mina de arena	31.6129%	137.20	6.3226%	27.44

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1995 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.2500%	-1788.22	-0.2500%	-357.64
Agua	16.7096%	33.72	3.3419%	6.74
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.6267%	1050.19	0.1253%	210.04
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.0159%	-18.12	-0.0032%	-3.62
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.9590%	-608.75	-0.3918%	-121.75
Pastizal alpino	-0.2291%	-15.00	-0.0458%	-3.00
Asentamientos humanos	25.6904%	1173.63	5.1381%	234.73
Mina de arena	39.7604%	172.56	7.9521%	34.51

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1995 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.2653%	-1810.10	-0.2531%	-362.02
Agua	16.9078%	34.12	3.3816%	6.82
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.4795%	803.43	0.0959%	160.69
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0015%	1.76	0.0003%	0.35
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-1.2242%	-380.44	-0.2448%	-76.09
Pastizal alpino	-0.1460%	-9.56	-0.0292%	-1.91
Asentamientos humanos	26.5695%	1213.79	5.3139%	242.76
Mina de arena	33.8710%	147.00	6.7742%	29.40

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 1995 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.7536%	-2508.57	-0.3507%	-501.71
Agua	16.6303%	33.56	3.3261%	6.71
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.3371%	2240.46	0.2674%	448.09
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.1597%	-182.20	-0.0319%	-36.44
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-5.0036%	-1554.86	-1.0007%	-310.97
Pastizal alpino	-0.4429%	-29.00	-0.0886%	-5.80
Asentamientos humanos	38.4984%	1758.74	7.6997%	351.75
Mina de arena	56.0000%	243.04	11.2000%	48.61

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2000 - 2005
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.1096%	-155.64	-0.0219%	-31.13
Agua	1.7544%	5.80	0.3509%	1.16
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	-0.0283%	-47.64	-0.0057%	-9.53
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0349%	39.92	0.0070%	7.98
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	0.0446%	13.00	0.0089%	2.60
Pastizal alpino	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Asentamientos humanos	1.5944%	95.84	0.3189%	19.17
Mina de arena	5.5591%	48.72	1.1118%	9.74

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2000 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.1038%	-1566.86	-0.2208%	-313.37
Agua	2.4077%	7.96	0.4815%	1.59
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.5427%	913.07	0.1085%	182.61
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.0817%	-93.48	-0.0163%	-18.70
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-0.7652%	-223.04	-0.1530%	-44.61
Pastizal alpino	-0.1045%	-6.80	-0.0209%	-1.36
Asentamientos humanos	14.7238%	885.07	2.9448%	177.01
Mina de arena	9.5938%	84.08	1.9188%	16.82

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2000 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.1192%	-1588.74	-0.2238%	-317.75
Agua	2.5287%	8.36	0.5057%	1.67
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.3960%	666.31	0.0792%	133.26
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.0643%	-73.60	-0.0129%	-14.72
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	0.0181%	5.28	0.0036%	1.06
Pastizal alpino	-0.0209%	-1.36	-0.0042%	-0.27
Asentamientos humanos	15.3919%	925.23	3.0784%	185.05
Mina de arena	6.6773%	58.52	1.3355%	11.70

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2000 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.6113%	-2287.22	-0.3223%	-457.44
Agua	2.3593%	7.80	0.4719%	1.56
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.2501%	2103.34	0.2500%	420.67
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.2250%	-257.56	-0.0450%	-51.51
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-4.0113%	-1169.15	-0.8023%	-233.83
Pastizal alpino	-0.3197%	-20.80	-0.0639%	-4.16
Asentamientos humanos	24.4577%	1470.18	4.8915%	294.04
Mina de arena	17.6358%	154.56	3.5272%	30.91

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2005 - 2010
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.9997%	-1411.23	-0.1999%	-282.25
Agua	0.6007%	2.16	0.1201%	0.43
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.5718%	960.71	0.1144%	192.14
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.1164%	-133.40	-0.0233%	-26.68
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-0.8080%	-236.04	-0.1616%	-47.21
Pastizal alpino	-0.1045%	-6.80	-0.0209%	-1.36
Asentamientos humanos	12.1601%	789.23	2.4320%	157.85
Mina de arena	3.1571%	35.36	0.6314%	7.07

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2005 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.0152%	-1433.10	-0.2030%	-286.62
Agua	0.7119%	2.56	0.1424%	0.51
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.4249%	713.95	0.0850%	142.79
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.0990%	-113.52	-0.0198%	-22.70
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	-0.0264%	-7.72	-0.0053%	-1.54
Pastizal alpino	-0.0209%	-1.36	-0.0042%	-0.27
Asentamientos humanos	12.7789%	829.39	2.5558%	165.88
Mina de arena	0.8750%	9.80	0.1750%	1.96

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2005 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-1.5099%	-2131.58	-0.3020%	-426.32
Agua	0.5562%	2.00	0.1112%	0.40
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	1.2802%	2150.98	0.2560%	430.20
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.2595%	-297.48	-0.0519%	-59.50
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-4.0469%	-1182.15	-0.8094%	-236.43
Pastizal alpino	-0.3197%	-20.80	-0.0639%	-4.16
Asentamientos humanos	21.1753%	1374.35	4.2351%	274.87
Mina de arena	9.4500%	105.84	1.8900%	21.17

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2010 - 2015
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.0163%	-21.88	-0.0033%	-4.38
Agua	0.1080%	0.40	0.0216%	0.08
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	-0.1428%	-246.76	-0.0286%	-49.35
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	0.0174%	19.88	0.0035%	3.98
Desprovisto de vegetación	0.0000%	0.00	0.0000%	0.00
Pastizal	0.8145%	228.32	0.1629%	45.66
Pastizal alpino	0.0841%	5.44	0.0168%	1.09
Asentamientos humanos	0.3848%	40.16	0.0770%	8.03
Mina de arena	-1.9710%	-25.56	-0.3942%	-5.11

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2010 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.5371%	-720.35	-0.1074%	-144.07
Agua	-0.0432%	-0.16	-0.0086%	-0.03
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.6887%	1190.27	0.1377%	238.05
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.1440%	-164.08	-0.0288%	-32.82
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-3.3752%	-946.11	-0.6750%	-189.22
Pastizal alpino	-0.2163%	-14.00	-0.0433%	-2.80
Asentamientos humanos	5.6064%	585.11	1.1213%	117.02
Mina de arena	5.4349%	70.48	1.0870%	14.10

Tasa de cambio y transformación de coberturas del periodo 2015 - 2020
del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca con limite de 3 kilometros

Tipo de cobertura	Tasa de cambio del periodo	Aumento o descenso del periodo (ha)	Tasa de cambio anual	Aumento o descenso anual (ha)
Agrícola	-0.5212%	-698.47	-0.1042%	-139.69
Agua	-0.1504%	-0.56	-0.0301%	-0.11
Bosque de Coníferas de Pino y Táscate	0.8375%	1437.02	0.1675%	287.40
Bosque de Coníferas Oyamel, Ayarín y Cedro	-0.1613%	-183.96	-0.0323%	-36.79
Desprovisto de vegetación	-0.0394%	-1.16	-0.0079%	-0.23
Pastizal	-4.0257%	-1174.43	-0.8051%	-234.89
Pastizal alpino	-0.2991%	-19.44	-0.0598%	-3.89
Asentamientos humanos	5.1231%	544.95	1.0246%	108.99
Mina de arena	8.2156%	96.04	1.6431%	19.21

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de agricultura entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Agricultura										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Agricultura	2015	-104.96										
	2010	-91.48	13.48									
	2005	-422.20	-317.24	-330.72								
	2000	-437.40	-332.44	-345.92	-15.20							
	1995	-489.23	-384.28	-397.76	-67.04	-51.84						
	1990	-438.72	-333.76	-347.24	-16.52	-1.32	50.52					
	1985	-271.64	-166.68	-180.16	150.56	165.76	217.60	167.08				
	1980	-231.84	-126.88	-140.36	190.36	205.56	257.40	206.88	39.80			
	1975	-241.76	-136.80	-150.28	180.44	195.64	247.48	196.96	29.88	-9.92		
	1970	-254.12	-149.16	-162.64	168.08	183.28	235.12	184.60	17.52	-22.28	-12.36	
	Total (ha)	**-2,983.33**	**-1,933.74**	**-2,055.06**	**590.67**	**697.07**	**1,008.11**	**755.51**	**87.20**	**-32.20**	**-12.36**	Σ **-3,878.12**
	Cambio promedio por período (ha)	**-298.33**	**-214.86**	**-256.88**	**84.38**	**116.18**	**201.62**	**188.88**	**29.07**	**-16.10**	**-12.36**	
	Mediana por período (ha)	-262.88	-166.68	-255.44	150.56	174.52	235.12	190.78	29.88	-16.10	-12.36	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					**-3,878.12**
	Valor Max (ha)	-91.48	13.48	-140.36	190.36	205.56	257.40	206.88	39.80	-9.92	-12.36	Σ **659.35**
	Valor Min (ha)	-489.23	-384.28	-397.76	-67.04	-51.84	50.52	167.08	17.52	-22.28	-12.36	Σ **-1,189.67**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**65.94**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**-118.97**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de cuerpos de agua entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Cuerpos de agua										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Cuerpos de agua	2015	-1.36										
	2010	-0.96	0.40									
	2005	-0.68	0.68	0.28								
	2000	-0.68	0.68	0.28	0.00							
	1995	-0.44	0.92	0.52	0.24	0.24						
	1990	-0.44	0.92	0.52	0.24	0.24	0.00					
	1985	-0.56	0.80	0.40	0.12	0.12	-0.12	-0.12				
	1980	-0.56	0.80	0.40	0.12	0.12	-0.12	-0.12	0.00			
	1975	-0.56	0.80	0.40	0.12	0.12	-0.12	-0.12	0.00	0.00		
	1970	-0.56	0.80	0.40	0.12	0.12	-0.12	-0.12	0.00	0.00	0.00	
	Total (ha)	**-6.80**	**6.80**	**3.20**	**0.96**	**0.96**	**-0.48**	**-0.48**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	Σ **4.16**
	Cambio promedio por período (ha)	**-0.68**	**0.76**	**0.40**	**0.14**	**0.16**	**-0.10**	**-0.12**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	
	Mediana por período (ha)	-0.56	0.80	0.40	0.12	0.12	-0.12	-0.12	0.00	0.00	0.00	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					**4.16**
	Valor Max (ha)	-0.44	0.92	0.52	0.24	0.24	0.00	-0.12	0.00	0.00	0.00	Σ **1.36**
	Valor Min (ha)	-1.36	0.40	0.28	0.00	0.12	-0.12	-0.12	0.00	0.00	0.00	Σ **-0.80**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**0.14**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**-0.08**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de pino y táscate entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Bosque de coníferas de pino y táscate										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Bosque de coníferas de pino y táscate	2015	1,581.86										
	2010	1,215.23	-366.64									
	2005	1,733.58	151.72	518.35								
	2000	1,693.54	111.68	478.31	-40.04							
	1995	1,952.66	370.80	737.43	219.08	259.12						
	1990	2,134.90	553.03	919.67	401.32	441.36	182.24					
	1985	2,491.57	909.71	1,276.35	757.99	798.03	538.91	356.68				
	1980	2,814.49	1,232.63	1,599.26	1,080.91	1,120.95	861.83	679.59	322.92			
	1975	3,045.73	1,463.86	1,830.50	1,312.15	1,352.19	1,093.07	910.83	554.15	231.24		
	1970	3,576.24	1,994.38	2,361.02	1,842.66	1,882.70	1,623.58	1,441.34	1,084.67	761.75	530.51	
	Total (ha)	**22,239.81**	**6,421.17**	**9,720.90**	**5,574.06**	**5,854.34**	**4,299.63**	**3,388.44**	**1,961.74**	**992.99**	**530.51**	Σ **60,983.60**
	Cambio promedio por período (ha)	**2,223.98**	**713.46**	**1,215.11**	**796.29**	**975.72**	**859.93**	**847.11**	**653.91**	**496.49**	**530.51**	
	Mediana por período (ha)	2,043.78	553.03	1,098.01	757.99	959.49	861.83	795.21	554.15	496.49	530.51	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					**60,983.60**
	Valor Max (ha)	3,576.24	1,994.38	2,361.02	1,842.66	1,882.70	1,623.58	1,441.34	1,084.67	761.75	530.51	Σ **17,098.86**
	Valor Min (ha)	1,215.23	-366.64	478.31	-40.04	259.12	182.24	356.68	322.92	231.24	530.51	Σ **3,169.57**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**1,709.89**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**316.96**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	2015	-206.52										
	2010	-171.40	35.12									
	2005	-224.84	-18.32	-53.44								
	2000	-193.80	12.72	-22.40	31.04							
	1995	-116.96	89.56	54.44	107.88	76.84						
	1990	-94.68	111.84	76.72	130.16	99.12	22.28					
	1985	911.11	1,117.63	1,082.51	1,135.95	1,104.91	1,028.07	1,005.79				
	1980	962.75	1,169.27	1,134.15	1,187.59	1,156.55	1,079.71	1,057.43	51.64			
	1975	1,217.51	1,424.03	1,388.91	1,442.34	1,411.31	1,334.47	1,312.19	306.40	254.76		
	1970	1,379.07	1,585.58	1,550.46	1,603.90	1,572.86	1,496.02	1,473.74	467.96	416.32	161.56	
	Total (ha)	**3,462.24**	**5,527.42**	**5,211.35**	**5,638.86**	**5,421.58**	**4,960.55**	**4,849.15**	**825.99**	**671.07**	**161.56**	**Σ 36,729.77**
	Cambio promedio por período (ha)	**346.22**	**614.16**	**651.42**	**805.55**	**903.60**	**992.11**	**1,212.29**	**275.33**	**335.54**	**161.56**	
	Mediana por período (ha)	-105.82	111.84	579.61	1,135.95	1,130.73	1,079.71	1,184.81	306.40	335.54	161.56	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					**36,729.77**
	Valor Max (ha)	1,379.07	1,585.58	1,550.46	1,603.90	1,572.86	1,496.02	1,473.74	467.96	416.32	161.56	**Σ 11,707.48**
	Valor Min (ha)	-224.84	-18.32	-53.44	31.04	76.84	22.28	1,005.79	51.64	254.76	161.56	**Σ 1,307.31**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**1,170.75**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**130.73**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del área desprovista de vegetación entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Área desprovista de vegetación										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Área desprovista de vegetación	2015	-1.16										
	2010	-1.16	0.00									
	2005	-1.16	0.00	0.00								
	2000	-1.16	0.00	0.00	0.00							
	1995	-1.16	0.00	0.00	0.00	0.00						
	1990	-1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
	1985	-2.68	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52				
	1980	-1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52			
	1975	-2.68	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52	0.00	-1.52		
	1970	-1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52	0.00	1.52	
	Total (ha)	**-14.64**	**-3.04**	**-3.04**	**-3.04**	**-3.04**	**-3.04**	**-3.04**	**3.04**	**-1.52**	**1.52**	**Σ -29.84**
	Cambio promedio por período (ha)	**-1.46**	**-0.34**	**-0.38**	**-0.43**	**-0.51**	**-0.61**	**-0.76**	**1.01**	**-0.76**	**1.52**	
	Mediana por período (ha)	-1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.76	1.52	-0.76	1.52	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					**-29.84**
	Valor Max (ha)	-1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52	0.00	1.52	**Σ 1.88**
	Valor Min (ha)	-2.68	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52	0.00	-1.52	1.52	**Σ -11.80**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**0.19**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**-1.18**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de pastizal entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Pastizal										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Pastizal	2015	-1,258.75										
	2010	-947.91	310.84									
	2005	-1,145.43	113.32	-197.52								
	2000	-1,132.47	126.28	-184.56	12.96							
	1995	-1,460.58	-201.84	-512.67	-315.16	-328.12						
	1990	-1,715.62	-456.88	-767.71	-570.19	-583.15	-255.04					
	1985	-3,168.73	-1,909.98	-2,220.82	-2,023.30	-2,036.26	-1,708.14	-1,453.10				
	1980	-3,581.04	-2,322.30	-2,633.13	-2,435.61	-2,448.57	-2,120.46	-1,865.42	-412.32			
	1975	-4,036.28	-2,777.53	-3,088.37	-2,890.85	-2,903.81	-2,575.69	-2,320.66	-867.55	-455.24		
	1970	-4,701.63	-3,442.88	-3,753.72	-3,556.20	-3,569.16	-3,241.05	-2,986.01	-1,532.90	-1,120.59	-665.35	
	Total (ha)	**-23,148.44**	**-10,560.97**	**-13,358.50**	**-11,778.36**	**-11,869.08**	**-9,900.38**	**-8,625.19**	**-2,812.77**	**-1,575.82**	**-665.35**	**Σ -94,294.85**
	Cambio promedio por período (ha)	**-2,314.84**	**-1,173.44**	**-1,669.81**	**-1,682.62**	**-1,978.18**	**-1,980.08**	**-2,156.30**	**-937.59**	**-787.91**	**-665.35**	
	Mediana por período (ha)	-1,588.10	-456.88	-1,494.26	-2,023.30	-2,242.42	-2,120.46	-2,093.04	-867.55	-787.91	-665.35	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					**-94,294.85**
	Valor Max (ha)	-947.91	310.84	-184.56	12.96	-328.12	-255.04	-1,453.10	-412.32	-455.24	-665.35	**Σ -4,377.83**
	Valor Min (ha)	-4,701.63	-3,442.88	-3,753.72	-3,556.20	-3,569.16	-3,241.05	-2,986.01	-1,532.90	-1,120.59	-665.35	**Σ -28,569.50**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**-437.78**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**-2,856.95**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de pastizal alpino entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Pastizal alpino										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Pastizal alpino	2015	-19.44										
	2010	-14.00	5.44									
	2005	-20.80	-1.36	-6.80								
	2000	-20.80	-1.36	-6.80	0.00							
	1995	-29.00	-9.56	-15.00	-8.20	-8.20						
	1990	-29.00	-9.56	-15.00	-8.20	-8.20	0.00					
	1985	-132.80	-113.36	-118.80	-112.00	-112.00	-103.80	-103.80				
	1980	-136.36	-116.92	-122.36	-115.56	-115.56	-107.36	-107.36	-3.56			
	1975	-155.68	-136.24	-141.68	-134.88	-134.88	-126.68	-126.68	-22.88	-19.32		
	1970	-171.56	-152.12	-157.56	-150.76	-150.76	-142.56	-142.56	-38.76	-35.20	-15.88	
	Total (ha)	**-729.43**	**-535.03**	**-583.99**	**-529.59**	**-529.59**	**-480.39**	**-480.39**	**-65.20**	**-54.52**	**-15.88**	**Σ -4,004.04**
	Cambio promedio por período (ha)	**-72.94**	**-59.45**	**-73.00**	**-75.66**	**-88.27**	**-96.08**	**-120.10**	**-21.73**	**-27.26**	**-15.88**	
	Mediana por período (ha)	-29.00	-9.56	-66.90	-112.00	-113.78	-107.36	-117.02	-22.88	-27.26	-15.88	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					**-4,004.04**
	Valor Max (ha)	-14.00	5.44	-6.80	0.00	-8.20	0.00	-103.80	-3.56	-19.32	-15.88	**Σ -166.12**
	Valor Min (ha)	-171.56	-152.12	-157.56	-150.76	-150.76	-142.56	-142.56	-38.76	-35.20	-15.88	**Σ -1,157.71**
											Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período	**-16.61**
											Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período	**-115.77**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de asentamientos humanos entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Asentamientos humanos										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Asentamientos humanos	2015	10.60										
	2010	8.84	-1.76									
	2005	74.12	63.52	65.28								
	2000	85.36	74.76	76.52	11.24							
	1995	119.92	109.32	111.08	45.80	34.56						
	1990	119.92	109.32	111.08	45.80	34.56	0.00					
	1985	148.92	138.32	140.08	74.80	63.56	29.00	29.00				
	1980	148.92	138.32	140.08	74.80	63.56	29.00	29.00	0.00			
	1975	148.92	138.32	140.08	74.80	63.56	29.00	29.00	0.00	0.00		
	1970	148.92	138.32	140.08	74.80	63.56	29.00	29.00	0.00	0.00	0.00	
	Total (ha)	**1,014.43**	**908.43**	**924.27**	**402.04**	**323.36**	**116.00**	**116.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**Σ 3,804.52**
	Cambio promedio por período (ha)	**101.44**	**100.94**	**115.53**	**57.43**	**53.89**	**23.20**	**29.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	
	Mediana por período (ha)	119.92	109.32	125.58	74.80	63.56	29.00	29.00	0.00	0.00	0.00	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					**3,804.52**
	Valor Max (ha)	148.92	138.32	140.08	74.80	63.56	29.00	29.00	0.00	0.00	0.00	**Σ 623.67**
	Valor Min (ha)	8.84	-1.76	65.28	11.24	34.56	0.00	29.00	0.00	0.00	0.00	**Σ 147.16**
											Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período	**62.37**
											Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período	**14.72**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de minas de arena entre períodos del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Minas de arena										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Minas de arena	2015	-0.28										
	2010	2.84	3.12									
	2005	7.40	7.68	4.56								
	2000	7.40	7.68	4.56	0.00							
	1995	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40						
	1990	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00					
	1985	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00				
	1980	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00	0.00			
	1975	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00		
	1970	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Total (ha)	**166.16**	**168.96**	**140.88**	**104.40**	**104.40**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**Σ 684.79**
	Cambio promedio por período (ha)	**16.62**	**18.77**	**17.61**	**14.91**	**17.40**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	
	Mediana por período (ha)	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del período					**684.79**
	Valor Max (ha)	24.80	25.08	21.96	17.40	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**Σ 106.64**
	Valor Min (ha)	-0.28	3.12	4.56	0.00	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**Σ 24.80**
											Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período	**10.66**
											Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período	**2.48**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de agricultura entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Agricultura										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Agricultura	2015	-593.51										
	2010	-628.87	-35.36									
	2005	-1,709.38	-1,115.87	-1,080.51								
	2000	-1,849.82	-1,256.31	-1,220.95	-140.44							
	1995	-2,019.34	-1,425.83	-1,390.47	-309.96	-169.52						
	1990	-2,084.94	-1,491.42	-1,456.06	-375.56	-235.12	-65.60					
	1985	-2,878.97	-2,285.46	-2,250.10	-1,169.59	-1,029.15	-859.63	-794.03				
	1980	-2,851.05	-2,257.54	-2,222.18	-1,141.67	-1,001.23	-831.71	-766.11	27.92			
	1975	-2,830.81	-2,237.30	-2,201.94	-1,121.43	-980.99	-811.47	-745.87	48.16	20.24		
	1970	-2,841.93	-2,248.42	-2,213.06	-1,132.55	-992.11	-822.59	-756.99	37.04	9.12	-11.12	
	Total (ha)	**-20,288.63**	**-14,353.49**	**-14,035.25**	**-5,391.18**	**-4,408.11**	**-3,391.00**	**-3,063.01**	**113.12**	**29.36**	**-11.12**	**Σ -64,799.32**
Cambio promedio por período (ha)		**-2,028.86**	**-1,594.83**	**-1,754.41**	**-770.17**	**-734.69**	**-678.20**	**-765.75**	**37.71**	**14.68**	**-11.12**	
Mediana por período (ha)		-2,052.14	-1,491.42	-1,829.00	-1,121.43	-986.55	-822.59	-761.55	37.04	14.68	-11.12	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					**-64,799.32**
Valor Max (ha)		-593.51	-35.36	-1,080.51	-140.44	-169.52	-65.60	-745.87	48.16	20.24	-11.12	**Σ -2,773.53**
Valor Min (ha)		-2,878.97	-2,285.46	-2,250.10	-1,169.59	-1,029.15	-859.63	-794.03	27.92	9.12	-11.12	**Σ -11,241.00**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**-277.35**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**-1,124.10**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de cuerpos de agua entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Cuerpos de agua										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Cuerpos de agua	2015	0.80										
	2010	0.80	0.00									
	2005	2.68	1.88	1.88								
	2000	8.48	7.68	7.68	5.80							
	1995	34.00	33.20	33.20	31.32	25.52						
	1990	35.76	34.96	34.96	33.08	27.28	1.76					
	1985	39.00	38.20	38.20	36.32	30.52	5.00	3.24				
	1980	39.00	38.20	38.20	36.32	30.52	5.00	3.24	0.00			
	1975	39.00	38.20	38.20	36.32	30.52	5.00	3.24	0.00	0.00		
	1970	39.00	38.20	38.20	36.32	30.52	5.00	3.24	0.00	0.00	0.00	
	Total (ha)	**238.52**	**230.52**	**230.52**	**215.48**	**174.88**	**21.76**	**12.96**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**Σ 1,124.63**
Cambio promedio por período (ha)		**23.85**	**25.61**	**28.81**	**30.78**	**29.15**	**4.35**	**3.24**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	
Mediana por período (ha)		34.88	34.96	36.58	36.32	30.52	5.00	3.24	0.00	0.00	0.00	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					**1,124.63**
Valor Max (ha)		39.00	38.20	38.20	36.32	30.52	5.00	3.24	0.00	0.00	0.00	**Σ 190.48**
Valor Min (ha)		0.80	0.00	1.88	5.80	25.52	1.76	3.24	0.00	0.00	0.00	**Σ 39.00**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**19.05**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**3.90**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de pino y táscate entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Bosque de coníferas de pino y táscate										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Bosque de coníferas de pino y táscate	2015	-144.84										
	2010	-24.96	119.88									
	2005	417.40	562.23	442.36								
	2000	409.80	554.63	434.76	-7.60							
	1995	287.80	432.64	312.76	-129.60	-122.00						
	1990	277.60	422.44	302.56	-139.80	-132.20	-10.20					
	1985	793.75	938.59	818.71	376.36	383.96	505.95	516.15				
	1980	983.91	1,128.75	1,008.87	566.51	574.11	696.11	706.31	190.16			
	1975	1,151.71	1,296.55	1,176.67	734.31	741.91	863.91	874.11	357.96	167.80		
	1970	1,324.55	1,469.38	1,349.51	907.15	914.75	1,036.75	1,046.95	530.79	340.64	172.84	
	Total (ha)	**5,476.70**	**6,925.09**	**5,846.18**	**2,307.34**	**2,360.54**	**3,092.53**	**3,143.53**	**1,078.91**	**508.43**	**172.84**	**Σ 30,912.08**
Cambio promedio por período (ha)		**547.67**	**769.45**	**730.77**	**329.62**	**393.42**	**618.51**	**785.88**	**359.64**	**254.22**	**172.84**	
Mediana por período (ha)		413.60	562.23	630.53	376.36	479.03	696.11	790.21	357.96	254.22	172.84	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					**30,912.08**
Valor Max (ha)		1,324.55	1,469.38	1,349.51	907.15	914.75	1,036.75	1,046.95	530.79	340.64	172.84	**Σ 9,093.30**
Valor Min (ha)		-144.84	119.88	302.56	-139.80	-132.20	-10.20	516.15	190.16	167.80	172.84	**Σ 1,042.35**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**909.33**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**104.23**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias del bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Bosque de coníferas de oyamel, ayarín y cedro	2015	22.56										
	2010	7.32	-15.24									
	2005	-72.64	-95.20	-79.96								
	2000	-63.76	-86.32	-71.08	8.88							
	1995	-65.24	-87.80	-72.56	7.40	-1.48						
	1990	-65.84	-88.40	-73.16	6.80	-2.08	-0.60					
	1985	130.72	108.16	123.40	203.36	194.48	195.96	196.56				
	1980	154.32	131.76	147.00	226.96	218.08	219.56	220.16	23.60			
	1975	195.76	173.20	188.44	268.40	259.52	261.00	261.60	65.04	41.44		
	1970	209.36	186.80	202.04	282.00	273.12	274.60	275.20	78.64	55.04	13.60	
	Total (ha)	**452.56**	**226.96**	**364.12**	**1,003.79**	**941.63**	**950.51**	**953.51**	**167.28**	**96.48**	**13.60**	**Σ 5,170.43**
	Cambio promedio por período (ha)	**45.26**	**25.22**	**45.51**	**143.40**	**156.94**	**190.10**	**238.38**	**55.76**	**48.24**	**13.60**	
	Mediana por período (ha)	14.94	-15.24	26.16	203.36	206.28	219.56	240.88	65.04	48.24	13.60	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					**5,170.43**
	Valor Max (ha)	209.36	186.80	202.04	282.00	273.12	274.60	275.20	78.64	55.04	13.60	**Σ 1,850.38**
	Valor Min (ha)	-72.64	-95.20	-79.96	6.80	-2.08	-0.60	196.56	23.60	41.44	13.60	**Σ 31.52**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**185.04**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**3.15**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de pastizal entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Pastizal										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Pastizal	2015	84.32										
	2010	1.80	-82.52									
	2005	-36.72	-121.04	-38.52								
	2000	-36.68	-121.00	-38.48	0.04							
	1995	-94.28	-178.60	-96.08	-57.56	-57.60						
	1990	-45.40	-129.72	-47.20	-8.68	-8.72	48.88					
	1985	-567.83	-652.15	-569.63	-531.11	-531.15	-473.56	-522.43				
	1980	-866.75	-951.07	-868.55	-830.03	-830.07	-772.47	-821.35	-298.92			
	1975	-1,086.39	-1,170.71	-1,088.19	-1,049.67	-1,049.71	-992.11	-1,040.99	-518.55	-219.64		
	1970	-1,261.71	-1,346.03	-1,263.51	-1,224.99	-1,225.03	-1,167.43	-1,216.31	-693.87	-394.96	-175.32	
	Total (ha)	**-3,909.64**	**-4,752.83**	**-4,010.16**	**-3,702.00**	**-3,702.28**	**-3,356.68**	**-3,601.08**	**-1,511.34**	**-614.59**	**-175.32**	**Σ -29,335.93**
	Cambio promedio por período (ha)	**-390.96**	**-528.09**	**-501.27**	**-528.86**	**-617.05**	**-671.34**	**-900.27**	**-503.78**	**-307.30**	**-175.32**	
	Mediana por período (ha)	-69.84	-178.60	-332.86	-531.11	-680.61	-772.47	-931.17	-518.55	-307.30	-175.32	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					**-29,335.93**
	Valor Max (ha)	84.32	-82.52	-38.48	0.04	-8.72	48.88	-522.43	-298.92	-219.64	-175.32	**Σ -1,212.79**
	Valor Min (ha)	-1,261.71	-1,346.03	-1,263.51	-1,224.99	-1,225.03	-1,167.43	-1,216.31	-693.87	-394.96	-175.32	**Σ -9,969.14**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**-121.28**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**-996.91**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de asentamientos humanos entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Asentamientos humanos										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Asentamientos humanos	2015	534.35										
	2010	576.27	41.92									
	2005	1,300.23	765.87	723.95								
	2000	1,384.83	850.47	808.55	84.60							
	1995	1,638.82	1,104.47	1,062.55	338.60	254.00						
	1990	1,650.10	1,115.75	1,073.83	349.88	265.28	11.28					
	1985	2,231.82	1,697.46	1,655.54	931.59	846.99	592.99	581.71				
	1980	2,288.18	1,753.82	1,711.90	987.95	903.35	649.35	638.07	56.36			
	1975	2,292.94	1,758.58	1,716.66	992.71	908.11	654.11	642.83	61.12	4.76		
	1970	2,292.94	1,758.58	1,716.66	992.71	908.11	654.11	642.83	61.12	4.76	0.00	
	Total (ha)	**16,190.47**	**10,846.93**	**10,469.65**	**4,678.03**	**4,085.84**	**2,561.85**	**2,505.45**	**178.60**	**9.52**	**0.00**	**Σ 51,526.34**
	Cambio promedio por período (ha)	**1,619.05**	**1,205.21**	**1,308.71**	**668.29**	**680.97**	**512.37**	**626.36**	**59.53**	**4.76**	**0.00**	
	Mediana por período (ha)	1,644.46	1,115.75	1,364.69	931.59	875.17	649.35	640.45	61.12	4.76	0.00	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					**51,526.34**
	Valor Max (ha)	2,292.94	1,758.58	1,716.66	992.71	908.11	654.11	642.83	61.12	4.76	0.00	**Σ 9,031.83**
	Valor Min (ha)	534.35	41.92	723.95	84.60	254.00	11.28	581.71	56.36	4.76	0.00	**Σ 2,292.94**
							Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período					**903.18**
							Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período					**229.29**

Matriz de comportamiento de pérdidas y ganancias de minas de arena entre períodos de los 3 kilómetros de buffer fuera del Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca.

		Minas de arena										
	Período	2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980	1975	
Minas de arena	2015	96.32										
	2010	67.64	-28.68									
	2005	98.44	2.12	30.80								
	2000	147.16	50.84	79.52	48.72							
	1995	218.24	121.92	150.60	119.80	71.08						
	1990	232.72	136.40	165.08	134.28	85.56	14.48					
	1985	251.52	155.20	183.88	153.08	104.36	33.28	18.80				
	1980	252.40	156.08	184.76	153.96	105.24	34.16	19.68	0.88			
	1975	237.80	141.48	170.16	139.36	90.64	19.56	5.08	-13.72	-14.60		
	1970	237.80	141.48	170.16	139.36	90.64	19.56	5.08	-13.72	-14.60	0.00	
	Total (ha)	**1,840.02**	**876.83**	**1,134.95**	**888.55**	**547.51**	**121.04**	**48.64**	**-26.56**	**-29.20**	**0.00**	**Σ 5,401.78**
	Cambio promedio por período (ha)	**184.00**	**97.43**	**141.87**	**126.94**	**91.25**	**24.21**	**12.16**	**-8.85**	**-14.60**	**0.00**	
	Mediana por período (ha)	225.48	136.40	167.62	139.36	90.64	19.56	11.94	-13.72	-14.60	0.00	
							Indica cambio o tendencia de pérdida o ganancia del multi-período					**5,401.78**
	Valor Max (ha)	252.40	156.08	184.76	153.96	105.24	34.16	19.68	0.88	-14.60	0.00	**Σ 892.55**
	Valor Min (ha)	67.64	-28.68	30.80	48.72	71.08	14.48	5.08	-13.72	-14.60	0.00	**Σ 180.80**
									Ganancia o pérdida máxima estimada para el próximo período			**89.26**
									Ganancia o pérdida mínima estimada para el próximo período			**18.08**