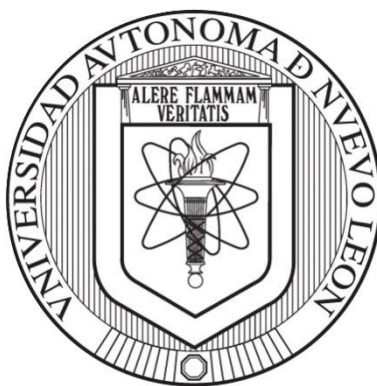


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS



Evaluación de Riesgo por Incendios en el Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”, Nuevo León, México, y Propuestas de Estrategias de Prevención Óptimas empleando un Metamodelo de Aprendizaje Autónomo.

POR

Pedro Adrián Ibarra Elizondo

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN CONSERVACIÓN, FAUNA SILVESTRE Y
SUSTENTABILIDAD

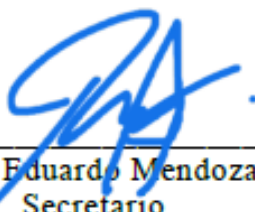
2025

EVALUACIÓN DE RIESGO POR INCENDIOS EN EL PARQUE NACIONAL
“CUMBRES DE MONTERREY”, NUEVO LEÓN, MÉXICO, Y PROPUESTAS
DE ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN ÓPTIMAS EMPLEANDO UN
METAMODELO DE APRENDIZAJE AUTÓNOMO.

Comité de Tesis



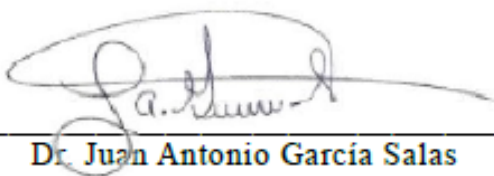
Dra. Susana Favela Lara
Directora



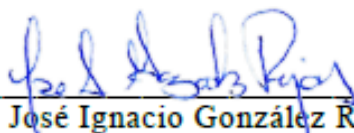
Dr. Roberto Eduardo Mendoza Alfaro
Secretario



Dra. Alina Olalla Kerstupp
Vocal I



Dr. Juan Antonio García Salas
Vocal II



Dr. José Ignacio González Rojas
Vocal III



Dra. Katiushka Arevalo Nino
Subdirectora de Posgrado
DIRECCIÓN
DE POSGRADO



EVALUACIÓN DE RIESGO POR INCENDIOS EN EL PARQUE NACIONAL
“CUMBRES DE MONTERREY”, NUEVO LEÓN, MÉXICO, Y PROPUESTAS
DE ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN ÓPTIMAS EMPLEANDO UN
METAMODELO DE APRENDIZAJE AUTÓNOMO.

Dirección de Tesis



Dra. Susana Favela Lara
Directora



Mtr. Gabriel Gerardo Mata Flores
Asesor Externo

AVISO DERECHOS DE AUTOR

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta Tesis está protegido, el uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo mencionando al autor o autores.

AGRADECIMIENTOS

La investigación resultante es un reflejo del apoyo recibido principalmente por los cuerpos académico y administrativo de la **Facultad de Ciencias Biológicas** de la **Universidad Autónoma de Nuevo León**, valorando sus esfuerzos para la formación académica y profesional del autor; además de los patrocinios otorgados por la **Comisión Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)**, ahora **Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)**, que sustentaron por dos años la ejecución de las actividades del proyecto.

De manera específica, se extiende este reconocimiento a los integrantes del **Departamento de Ecología** y al **laboratorio de Paleobiología** que concedieron el uso de sus espacios y equipos de cómputo, además de facilitar el material didáctico-científico que fungió como base para el establecimiento del presente proyecto.

Igualmente, corresponde este agradecimiento de forma especial a la **Dra. Susana Favela Lara**, **Dr. Roberto Eduardo Mendoza Alfaro**, **Dra. Alina Olalla Kerstupp**, **Dr. Juan Antonio García Salas**, **Dr. Hidalgo Rodríguez Vela†**, **Dr. José Ignacio González Rojas** y al **M.C. Gabriel Gerardo Mata Flores**, por su interés, tutoría, retroalimentación y consejos a lo largo de la elaboración de esta investigación.

Finalmente, no se ignoran los esfuerzos en conjunto de todos los académicos, ingenieros y científicos en los trabajos y métodos que inspiraron el tópico de esta tesis.

DEDICATORIAS

Que de mi sudor, sangre y lágrimas tras mi esfuerzo se rescate el inmenso cariño con el que dedico este trabajo y demás logros que obtuve a lo largo de mi formación a:

Mi madre y padre, Diana Laura Elizondo Fuentes y Luis Carlos Ibarra Serna†, mis pilares fundamentales en la vida a quienes les guardo un profundo respeto y que siempre llevaré en mi corazón.

Mi hermana, Natalia, que a pesar de ser uno tan distinto del otro, nos complementamos, y nos demostramos nuestro orgullo y apoyo a nuestra manera.

Mi abuela y abuelo, Socorro y Rogelio, que con tanto afecto me han recibido entre sus brazos envolviéndome con su cariño incondicional y que siguen apoyando mis ideales.

Mis amigos más cercanos, Adriana, Andréé, Christian, Cuauhtémoc, Daniel H., Daniel R., Eduardo, Enrique, Felipe, Héctor, Hugo, Iván, Raúl y Rubén, que en estos años hemos construido amistad tan noble, en la cual he de preservar las memorias vividas con todos por siempre. Donde, a pesar de las temporales ausencias o conflictos, seguimos fortaleciéndonos y amparándonos mutuamente.

Mis compañeros, y amigos también, de mi formación profesional, Adrián, Carlos, Cecilia, Fanti, Magalli, Nora, Rafael, Samantha y Valeria, que me han aceptado a pesar de mi excentricidad y me siguen dando el aliento que necesito para continuar.

Mis maestros, tutores y asesores de la carrera, en especial la Dra. Susana Favela Lara y el Dr. Hidalgo Rodríguez Vela†, quienes me han inspirado y forjado en el académico, científico y profesional que soy ahora.

Y a todos aquellos que me han remarcado su apoyo incondicional en mi vida.

“Ignis aurum probat”

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
1. PARQUE NACIONAL “CUMBRES DE MONTERREY”	3
1.1 Aprovechamiento	3
1.2 Problemáticas	4
2. PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS	9
2.1 Métodos y algoritmos	9
2.2 Sistemas	10
2.3 Legislación	11
2.4 Protocolos, programas y manuales	13
JUSTIFICACIÓN	14
OBJETIVOS.....	15
METODOLOGÍA	16
1. ÁREA DE ESTUDIO.....	16
1.1. Localización	16
1.2. Aspectos físicos	16
1.3. Aspectos biológicos.....	19
1.4. Aspectos sociodemográficos	21
2. REGISTROS DE INCENDIOS	22
3. PREDICTORES	23
3.1. Climáticos	23
3.2. Topográficos	24
3.3. Hídricos	24
3.4. Ecosistémicos.....	24
3.5. Demográficos.....	25
4. CONSTRUCCIÓN DE LAS BASES DE DATOS.....	25
5. MODELOS BASE	26
5.1. Regresión Logística Estándar	26
5.2. Árbol de decisión.....	26
5.3. Máquinas de Vectores Soporte (SVM)	27
5.4. k-Vecinos Cercanos (KNN)	28
5.5. Regresión Multinomial	29
5.6. Bosques Aleatorios (RF)	30
5.7. Refuerzo de Gradientes Extremo (XGBoost)	30
6. ENTRENAMIENTO, PRÁCTICA Y EVALUACIÓN DE SUBMODELOS	32
7. IMPORTANCIA DE PREDICTORES	33
7.1. Ganancia.....	33
7.2. Curvas de respuesta	34
8. CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DEL METAMODELO.....	34
9. EVALUACIÓN ESPACIAL Y ESTRATEGIAS	36

RESULTADOS.....	38
1. REGISTROS DE INCENDIOS	38
2. VARIACIÓN GEOESPACIAL DE LOS PREDICTORES.....	39
3. BASES DE DATOS.....	46
4. MODELOS BASE Y SUBMODELOS	47
4.1. Evaluación estadística del 2013.....	47
4.2. Evaluación estadística del 2014.....	47
4.3. Evaluación estadística del 2016.....	48
4.4. Evaluación estadística del 2019.....	48
4.5. Evaluación estadística del 2020.....	49
4.6. Evaluación estadística del 2021.....	49
4.7. Evaluación estadística del 2022.....	50
5. IMPORTANCIA DE PREDICTORES	50
5.1. Ganancia.....	50
5.2. Curvas de respuestas de 2013.....	53
5.3. Curvas de respuestas de 2014.....	54
5.4. Curvas de respuestas de 2016.....	55
5.5. Curvas de respuestas de 2019.....	56
5.6. Curvas de respuestas de 2020.....	57
5.7. Curvas de respuestas de 2021.....	58
5.8. Curvas de respuestas de 2022.....	59
6. METAMODELOS.....	60
6.1. Metamodelo del 2013.....	60
6.2. Metamodelo del 2014.....	60
6.3. Metamodelo del 2016.....	61
6.4. Metamodelo del 2019.....	62
6.5. Metamodelo del 2020.....	62
6.6. Metamodelo del 2021.....	63
6.7. Metamodelo del 2022.....	63
7. VULNERABILIDAD A INCENDIOS.....	64
8. EVALUACIÓN ESPACIAL	65
8.1. Subzona 1	67
8.2. Subzona 2	68
8.3. Subzona 3	69
8.4. Subzona 4	70
8.5. Subzona 5	71
9. PROPUESTAS	72
DISCUSIÓN	75
CONCLUSIÓN	79
PERSPECTIVAS.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Título de Tabla	Página
1	Cobertura de uso de suelo y vegetación del PNCM	19
2	Estadísticos para valoración y selección de mejores submodelos	33
3	Disposición de la información para cada BD construida en cada año	46
4	Evaluación de los mejores candidatos para cada modelo en el año 2013	47
5	Evaluación de los mejores candidatos para cada modelo en el año 2014	47
6	Evaluación de los mejores candidatos para cada modelo en el año 2016	48
7	Evaluación de los mejores candidatos para cada modelo en el año 2019	48
8	Evaluación de los mejores candidatos para cada modelo en el año 2020	49
9	Evaluación de los mejores candidatos para cada modelo en el año 2021	49
10	Evaluación de los mejores candidatos para cada modelo en el año 2022	50
11	Coeficientes para el establecimiento del metamodelo del año 2013	60
12	Evaluación del metamodelo construido para el año 2013.	60
13	Coeficientes para el establecimiento del metamodelo del año 2014	61
14	Evaluación del metamodelo construido para el año 2014	61
15	Coeficientes para el establecimiento del metamodelo del año 2016	61
16	Evaluación del metamodelo construido para el año 2016	61
17	Coeficientes para el establecimiento del metamodelo del año 2019	62
18	Evaluación del metamodelo construido para el año 2019	62
19	Coeficientes para el establecimiento del metamodelo del año 2020	62
20	Evaluación del metamodelo construido para el año 2020	63
21	Coeficientes para el establecimiento del metamodelo del año 2021	63
22	Evaluación del metamodelo construido para el año 2021	63
23	Coeficientes para el establecimiento del metamodelo del año 2022	64
24	Evaluación del metamodelo construido para el año 2022	64
25	Extensión de las áreas susceptibles al interior del PNCM	65
26	Niveles de vulnerabilidad por año de permanencia y extensión al interior del PNCM	66
27	Acciones propuestas por ejercicios en distintos plazos para la prevención/control de incendios en el PNCM	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título de Figura	Página
1	Cañón de La Huasteca, y ribera del Río Santa Catarina en 1940	3
2	Tasa de cambio del suelo y vegetación en el PNCM entre 2000 - 2018	4
3	Barrenador Mexicano y Muérdago Enano	5
4	Mamíferos exótico-invasores presentes en regiones del PNCM.	6
5	“El PNCM padece el más grande incendio de su historia...”	7
6	Superficie afectada por incendios en el PNCM entre 1940 - 2020	8
7	Riesgo por incendios de la costa mediterránea de España en 1985	9
8	Susceptibilidad a incendios forestales al norte de Marruecos	10
9	Portada del documento Programa de Manejo del Fuego	13
10	Delimitación del territorio del PNCM	16
11	Elevación del PNCM	17
12	Climatología del PNCM	18
13	Sistemas hídricos del PNCM	18
14	Uso de suelo y vegetación del PNCM	20
15	División política municipal en el PNCM	21
16	Áreas geoestadísticas básicas en el PNCM	22
17	Proceso de construcción de los algoritmos base y el metamodelo	36
18	Reportes de incendios ocurridos al interior del PNCM entre 2013 – 2022	38
19	Aportación a los registros de incendios por catálogo de las BDs	39
20	Dinámica de la Temperatura Superficial del Suelo (LST) en el PNCM	40
21	Variación de la Temperatura Superficial del Suelo (LST) en el PNCM	40
22	Dinámica del Índice de Humedad (NDMI) en el PNCM	41
23	Variación del Índice de Humedad (NDMI) en el PNCM	41
24	Inclinación de las pendientes en el PNCM	42
25	Orientación de laderas en el PNCM	42
26	Proximidad a cuerpos hídricos en el PNCM	43
27	Principales usos y tipos de vegetación en el PNCM	44
28	Dinámica del Índice de Vegetación (NDVI) en el PNCM	44
29	Variación del Índice de Vegetación (NDVI) en el PNCM	45
30	Proximidad a localidades en el PNCM	45
31	Proximidad rutas de turismo en el PNCM	46

32	Ganancia de los predictores de los modelos base desde 2013 a 2019	51
33	Ganancia de los predictores de los modelos base desde 2020 a 2022	52
34	Dependencias parciales en los modelos base del año 2013	53
35	Dependencias parciales en los modelos base del año 2014	54
36	Dependencias parciales en los modelos base del año 2016	55
37	Dependencias parciales en los modelos base del año 2019	56
38	Dependencias parciales en los modelos base del año 2020	57
39	Dependencias parciales en los modelos base del año 2021	58
40	Dependencias parciales en los modelos base del año 2022	59
41	Susceptibilidad ante incendios al interior del PNCM	65
42	Permanencia de sitios susceptibles ante incendios al interior del PNCM	66
43	Subzona 1 para la propuesta de estrategias contra incendios en el PNCM	67
44	Subzona 2 para la propuesta de estrategias contra incendios en el PNCM	68
45	Subzona 3 para la propuesta de estrategias contra incendios en el PNCM	69
46	Subzona 4 para la propuesta de estrategias contra incendios en el PNCM	70
47	Subzona 5 para la propuesta de estrategias contra incendios en el PNCM	71

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

PNCM	Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”
ZMM	Zona Metropolitana de Monterrey
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
$ x $	Valor absoluto de un número x
$\ x\ $	Norma euclidiana de un vector o matriz x
$(x y)$	Un valor x tal que y
$\{\square\}$	Conjunto
Σ	Sumatoria
$\in$	Pertenece a
$\mathbb{Z}$	Números reales

RESUMEN

Una de las principales amenazas actuales hacia las comunidades vegetales del planeta es el incremento en la ocurrencia de incendios que pone en riesgo simultáneamente a las comunidades animales refugiadas en estos ecosistemas y la salud humana, llegando a ser víctima de estos incidentes la región del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey (PNCM), localizada al interior del estado de Nuevo León, México. A razón de lo anterior, se propone una categorización del territorio del PNCM con base en una evaluación del riesgo de incendios de los sectores empleando un metamodelo que acopla múltiples algoritmos de aprendizaje autónomo de máquina (*Machine Learning*). Estos algoritmos son retroalimentados con los registros históricos de incendios ocurridos en la temporada de incendios de la región de interés (Febrero – Mayo) para los años 2013 a 2022 aunado con la variación espacial-temporal de los componentes climáticos, topográficos, hídricos, ecosistémicos y demográficos. Los resultados anuales de los metamodelos logarítmicos, en conjunto, proporcionan las herramientas necesarias para describir el comportamiento estacional de los incendios, la definición de zonas prioritarias y el establecimiento de estrategias adecuadas de control y prevención de siniestros en el PNCM, acoplando recomendaciones de protocolos nacionales e internacionales previamente establecidos, además de transigir a favor en el debate de la viabilidad y aplicación de estos arquetipos de clasificación para la predicción de siniestros.

ABSTRACT

One of the main current threats to Earth's plant communities is the increase in occurrences of wildfires that simultaneously puts the sheltered animal communities of these ecosystems, as well as human health, at risk, becoming a victim of these incidents the National Park "Cumbres de Monterrey" (PNCM, by its acronym in spanish), located in Nuevo León, México. For the aforementioned, a categorization of the PNCM territory based on a wildfire risk evaluation of the sectors by employing a metamodel that generalizes multiple Machine Learning methodologies it's proposed. These algorithms are fed back with the historical records of wildfires that occurred in the fire season of the region of interest (February – May) for the years 2013 to 2022 combined with the spatial-temporal variation of the climatic, topographical, water, ecosystem and demographic components. The annual results of the logarithmic metamodels, all together, provide the necessary tools to describe the seasonal behavior of wildfires, the definition of priority areas and the establishment of adequate strategies for control and prevention of fires in PNCM, coupling recommendations from previously established national and international protocols, in addition to advocate in favor in the debate on the feasibility and application of these classification archetypes for wildfire predictions.

INTRODUCCIÓN

La región de “Cumbres de Monterrey”, ubicada al interior del estado de Nuevo León, fue declarada como Área Natural Protegida con carácter de Parque Nacional en el año de 1939 bajo el gobierno del presidente Lázaro Cárdenas del Río (DOF, 1939), esto con el objetivo de preservar la riqueza edáfica, hídrica y biológica ante las amenazas por la expansión urbana y la explotación de los recursos naturales presentes en la misma (Cantú-Ayala *et al.*, 2013), por lo cual, se circunscribieron originalmente 2 450 km² como territorio bajo protección federal (Cantú-Ayala *et al.*, 2010).

A pesar de lo anterior, como respuesta a la presión del crecimiento exponencial de la población de la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), en el año 2000 se aprobó un decreto de redelimitación del Parque Nacional que redujo la superficie a solamente 1 773.96 km² lo cual representó el desamparo de 676.04 km².

Los ecosistemas del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” (PNCM) se ven comprometidos por una variedad de amenazas externas (CONANP, 2020), entre ellas, una de las que mayor inquietud recaba es la ocurrencia periódica de incendios en la región desde inicios del siglo XXI (Fueyo-MacDonald, 2013; CONANP, 2020). Las causas que se le atribuyen a estos siniestros son de condición antropogénica primordialmente como la contaminación por residuos de la ZMM (Fueyo-MacDonald, 2013), el estrés edáfico y readaptación de las zonas para actividades turísticas (Narváez-Torres y Lazcano-Villareal, 2013), y el aumento de los valores de temperatura promedio, aunado a la reducción de precipitaciones anuales, como consecuencia del cambio climático (Jiménez-Pérez *et al.*, 2013).

Ante esto, distintas instituciones de los tres niveles de gobierno -municipal, estatal y federal- han procurado considerables esfuerzos para abordar la problemática a través de distintos flancos simultáneamente como la instauración del Programa de Manejo del Fuego para el PNCM (SCMF, 2017) y el Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales (SEMARNAT, 2008), boletines y campañas para promover la conciencia ciudadana (Gobierno de Nuevo León, 2023a, 2023b) e inclusive la declaración de una reforma al Artículo 446 del Código Penal Estatal que en su inciso III establece como Delito Contra el Medio Ambiente a *la acción de provocar un incendio sin*

autorización de facultades competentes que provoquen daños a la salud pública o elementos naturales de cualquier ecosistema (Código Penal Estatal para el Estado de Nuevo León, 2020), adicionando el Artículo 446 Bis el cual manifiesta que *las sanciones serán aumentadas hasta un 50% si el incendio provocado ocurrió en terreno forestal* (Código Penal Estatal para el Estado de Nuevo León, 2023).

Asimismo, y de acuerdo con los avances en los campos de Análisis de Datos e Inteligencia Artificial en las últimas dos décadas, se han desarrollado modelos algebraicos que han facilitado el análisis de posibles patrones de ocurrencia de siniestros en regiones de interés para la protección de especies (Abid, 2021). Una variedad de arquetipos de predicción y clasificación han sido adaptados para enfrentar la problemática de incendios forestales, desde algoritmos matemáticamente simples como regresiones de funciones lineales o sigmoides (Chuvienco y Congalton, 1989), hasta modelos más complejos como árboles de decisión (Bax y Francesconi, 2018), algoritmos genéticos (Hong *et al.*, 2018), máquinas de vectores de soporte (Singh *et al.*, 2021) o redes neuronales artificiales (Mohajane *et al.*, 2021).

Proyectos relacionados a la predicción de incendios forestales empleando algoritmos autónomos de máquina son aún escasos en la región, por lo cual su viabilidad y aplicación se mantiene como tema de discusión entre las partes involucradas en conservar y proteger los componentes del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”. Por este motivo, en el presente proyecto se plantea el desarrollo de un metamodelo que generalice los resultados de una variedad de algoritmos autónomos con la finalidad de examinar el riesgo por incendios de la región y, en paralelo, transigir a favor en el debate sobre la viabilidad de estas metodologías novedosas.

Inclusive, se plantea el análisis espacial detallado para el establecimiento de estrategias y campañas óptimas específicas para la prevención de incendios en las regiones vulnerables al interior del Parque Nacional y de primera respuesta en caso de ocurrencia mediante la adaptación de protocolos ya existentes.

ANTECEDENTES

1. Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”

1.1 Aprovechamiento

El Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” provee de diversos servicios ambientales a la sociedad, esto como consecuencia de su alta complejidad ecosistémica (Cantú-Ayala *et al.*, 2013), tales como: retener y disponer del recurso hídrico vital para la ZMM (Pérez-Ortiz, 2013; Saldívar *et al.* 2013); regular el flujo de las escorrentías que, si no perdieran su fuerza al ser desviadas por los canales hídricos naturales de la región, pueden transformarse en agentes de amenazas para las localidades circundantes (Pérez-Ortiz, 2013); proveer un refugio, temporal o permanente, para la vida silvestre; servir como amortiguador ante situaciones climáticas extremas gracias a su cobertura vegetal (Aguirre-Calderón *et al.*, 2013); disponer de una belleza escénica distinguible y con un alto valor cultural para la región (CONANP, 2020); y facilitar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, ganaderos y agrícolas entre las comunidades al interior del Parque Nacional (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013) (Figura 1).

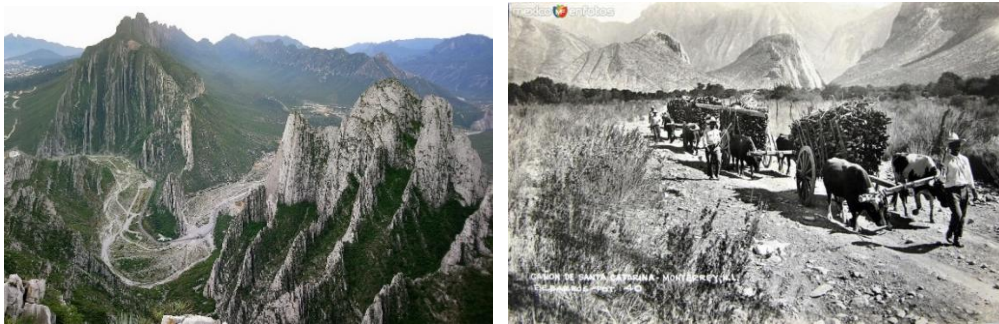


Figura 1. Perspectiva aérea del cañón de La Huasteca, Santa Catarina (izquierda), ribera del Río Santa Catarina en 1940 (derecha).

Las zonas establecidas para actividades ganaderas y agrícolas, según CONANP (2020), no representan una amenaza a los objetivos del Parque Nacional a razón de la cobertura minúscula al compararse con la extensión total de la región, los impactos apenas perceptibles a los ecosistemas, y su alta rentabilidad para la subsistencia de las comunidades rurales del territorio. Aun así, Ortiz- Hernández (2015) refiere que las zonas ganaderas son 72% similares a aquellas sin presencia de animales domésticos, instituyendo efectos diversos en los estratos vegetales por la remoción de biomasa.

1.2 Problemáticas

De los principales procesos que amenazan los objetivos para la conservación, preservación y aprovechamiento sustentable de los recursos del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” son, según el mismo plan de manejo de la región elaborado por CONANP (2020):

1.2.1 Cambio de uso del suelo

La remoción de la vegetación con el argumento de propiciar la expansión de la mancha urbana o la re-adaptación de las zonas para actividades turísticas conlleva inherentemente una fragmentación de los ecosistemas, por lo mismo, las regiones se vuelven vulnerables ante el establecimiento de especies exóticas invasoras, incendios forestales provocados por acciones antropogénicas y ataques por plagas o enfermedades. En el tema, Sandoval-García *et al.* (2021) exponen la pérdida significativa de pastizales, matorrales rosetófilos y matorrales desérticos micrófilos, con tasas anuales de cambio de -0.954, -0.735 y 0.562, respectivamente, identificando una pérdida anual de 1 919.97 ha de cobertura vegetal en el transcurso de los años 2000 a 2018 (Figura 2).

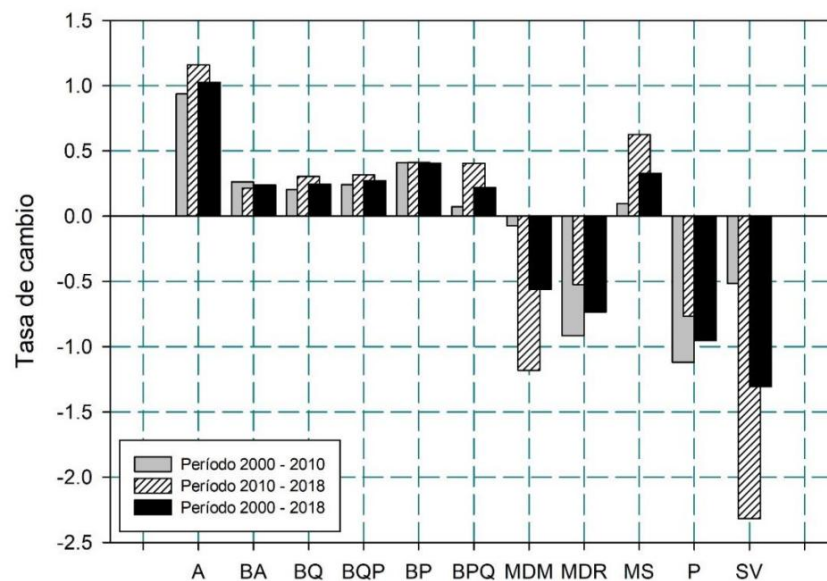


Figura 2. Dinámica de la tasa de cambio del suelo y vegetación en el PNCM en los años 2000 - 2018. Donde: A = agricultura, BA = Bosque de Ayarín, BQ = Bosque de Encino, BQP = Bosque de Encino-Pino, BP = Bosque de Pino, BPQ = Bosque de Pino-Encino, MDM = Matorral Desértico Micrófilo, MDR = Matorral Desértico Rosetófilo, MS = Matorral Submontano, P = Pastizal; SV = Sin Vegetación. Recuperado de Sandoval-García *et al.* (2021).

1.2.2 Sanidad forestal

Procurar la salud de los ecosistemas forestales es esencial para asegurar la permanencia de las especies tanto vegetales como de fauna, esto supone mantener un considerable esfuerzo de muestreo para monitorear la salud de los bosques, matorrales, pastizales y otras composiciones existentes en el parque. Por mencionar algunos ejemplos, las especies de insectos descortezadores como el Barrenador Mexicano (*Dendroctonus mexicanus*) y plantas parásitas como el Muérdago Enano (*Arceuthobium vaginatum*) (Figura 3) ponen en riesgo la salud de ciertas especies de coníferas categorizadas bajo algún grado de la NOM-059-SEMARNAT-2010, como *Picea martinezii* y *Pinus pinceana*, consideradas como En Peligro de Extinción (P), o *Pinus pseudostrobus* var. *pseudostrobus* y *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*, cuyas poblaciones se encuentran Bajo Protección Especial (Pr).



Figura 3. Barrenador Mexicano (*Dendroctonus mexicanus*) (izquierda) y Muérdago Enano (*Arceuthobium, vaginatum*) (derecha).

1.2.3 Especies exótico-invasoras

Uno de los asuntos de discusión del Marco Mundial de la Biodiversidad de Kunming-Montreal, que generaliza los objetivos globales para la defensa, preservación y conservación de la diversidad biológica, son las especies exóticas invasoras. Estos organismos tienen una alta capacidad de invadir nuevos hábitats fuera de sus rangos naturales, ya sea por factores intrínsecos o extrínsecos de la especie, y de desplazar a la biodiversidad nativa (CBD, 2022). El Parque Natural “Cubres de Monterrey” no se encuentra exento ante esta amenaza (Chong y Medina-Viezca, 2019), por lo cual, se mantienen altos esfuerzos para evitar la introducción y establecimiento de especies

exóticas invasoras, sin embargo, en la mayoría de los casos, estas los sobrepasan. Ejemplificando lo anterior, Ortiz-Morales (2022) destaca el impacto negativo que todas las especies de mamíferos exóticos presentes en un traslape de la región del PCNM con el municipio de Santiago, Nuevo León, infieren en los aspectos socioeconómicos, ecológicos y sanitarios (Figura 4).



Figura 4. Mamíferos exótico-invasores presentes en regiones del PCNM. Perro doméstico (*Canis lupus familiaris*) (superior izquierda); Cerdo doméstico (*Sus scrofa*) (superior derecha); Cabra doméstica (*Capra hircus*) (inferior izquierda); Asno africano (*Equus asinus*) (inferior derecha). Recuperado de Ortiz-Morales (2022).

1.2.4 Conflictos carnívoros-humanos

Debido a la coalescencia de la ZMM con los perímetros norte, noreste y sureste del Parque Natural “Cumbres de Monterrey” son frecuentes los enfrentamientos entre las especies carnívoras, como el Coyote (*Canis latrans microdon*), Jaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi carcomitli*), Ocelote (*Leopardus pardalis albescens*), Tigrillo (*Leopardus wiedii*), Jaguar (*Panthera onca veraecrusis*), Puma (*Puma concolor stanleyana*) y Oso negro (*Ursus americanus eremicus*), ante los propietarios de zonas ganaderas y agrícolas, exponiéndose a un riesgo bilateral. Además, ha existido un aumento en los avistamientos de Oso negro en áreas de asentamiento humano, como fraccionamientos, avenidas principales y planteles educativos (CONANP, 2020).

1.2.5 Irregularidades legales

Cabe enlistar de igual manera, aunque no sea referido en el plan de manejo oficial o en algún otro documento que indique las problemáticas del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”, las acciones de debatible sustento legal que empresas, grupos políticos y diversas instituciones públicas o privadas han ejercido en la región para el beneficio unilateral de estas desentendiendo en su totalidad los objetivos principales de conservación y protección de los ecosistemas y sus componentes. En la mayoría de estos casos, al momento de enfrentarse a las restricciones o el acato de regulaciones en sus actividades, estos grupos optan por la utilización del mecanismo legal del amparo para su defensa ante el decreto y normativas asociadas del PNCM (Esparza-Hernández, 2014).

1.2.6 Incendios forestales

Aunque en algunos casos la aparición de estos siniestros forme parte de los procesos naturales de sucesión ecológica para la remoción de organismos de edad avanzada y dar lugar a organismos más jóvenes (Castillo *et al.* 2003), en la actualidad, se ha registrado un aumento en la ocurrencia, extensión y potencia de los incendios forestales al interior del Parque Nacional, esto pone como principal objeto de amenaza a los exosistemas vegetales que fungen como refugio de la fauna que se establecen de forma permanente o temporal en la región (Estrada-Castillón *et al.*, 2013) (Figura 5).



Figura 5. Fotografía con el titular: “Parque Nacional Cumbres de Monterrey padece el más grande incendio de su historia...”. Recuperado de Rubio-Cano (2021).

Uno de los acercamientos basales para la evaluación de incendios forestales ocurridos al interior del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” se logró a través de la producción de su mismo Plan de Manejo (CONAFOR, 2020), en el cual, con el apoyo de los reportes de la dirección del Parque, se recopilaron las ocurrencias de incendios desde el año 2010 hasta el 2019 incluyendo, además, la superficie total afectada por estratos vegetales, señalando un total de 39 incendios en este mismo rango temporal los cuales afectaron 15.82 km² (Figura 6).

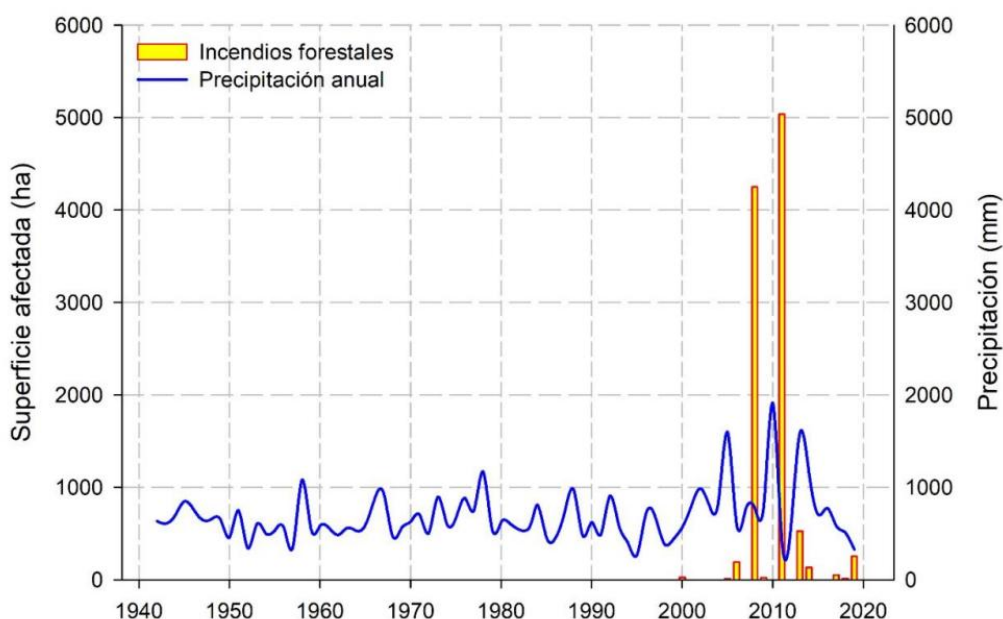


Figura 6. Superficie afectada por los incendios ocurridos en el PNCM entre los años 1940 - 2020. Recuperado de Sandoval-García et al. (2021).

Sin embargo, en los registros presentes en la base de datos SPPIF (CONAFOR, 2024) es posible encontrar hasta 13 ocurrencias de incendios al interior del parque desde los años 2005 a 2009, esta cantidad es excedida nuevamente y de manera significativa si se consideran los aportes de los catálogos de la base de datos FIRMS (NASA, 2024)

Generalmente, la manifestación de estos fenómenos en el PNCM es atribuida a las consecuencias -directas o indirectas- por acciones humanas negligentes, como la producción de fogatas, cigarrillos aún encendidos que son arrojados al suelo, incendios provocados no debidamente controlados, la readaptación de suelos para construcción o fines turísticos e, inclusive, a los residuos de basura abandonados que propician el “efecto lupa” (Estrada-Castillón *et al.*, 2013; Fueyo-MacDonald *et al.*, 2013).

2. Prevención y control de incendios

2.1 Métodos y algoritmos

Respondiendo a la necesidad internacional para la evaluación de zonas vulnerables ante cualquier riesgo por incendios se han propuesto diversos algoritmos para la categorización de áreas susceptibles en regiones naturales, uno de estos son los basados en los Procesos Analíticos Jerárquicos de Toma de Decisiones de Análisis Multicriterio (AHP-MCDM, por sus siglas en inglés), que a partir de un consenso de expertos se evalúan los factores con mayor importancia para la manifestación de incendios (Chuvieco y Congelton, 1989), logrando optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles para los programas de prevención y control (Figura 7).

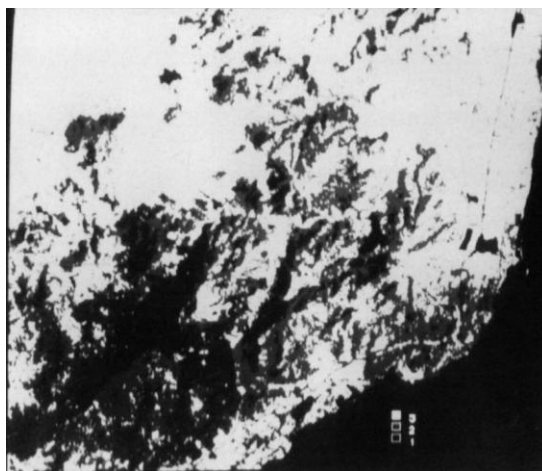


Figura 7. Clasificación del riesgo por incendios en una localidad de la costa mediterránea de España en 1985, dividido en tres categorías: 1) Riesgo alto, 2) Riesgo medio, y 3) Riesgo bajo. Recuperado de Chuvieco y Congalton, (1989).

Conforme a la apresurada evolución de los sistemas computacionales, con la misma velocidad y forma han progresado los modelos de predicción, optándose ahora por algoritmos más complejos pero que al mismo tiempo registran un mayor potencial de precisión para la categorización de áreas vulnerables a incendios, tales como los Algoritmos Autónomos de Máquina (Machine Learning, en inglés). Entre estos pueden hallarse modelos considerablemente complejos como Simulaciones de Monte Carlo (Conedera *et al.*, 2011), Máquinas de Vectores Soporte (Singh *et al.*, 2021), Bosques Aleatorios y Redes Neuronales Artificiales (Mohajane *et al.*, 2021) (Figura 8), e inclusive la adaptación de softwares genéticos (Hong *et al.*, 2018).

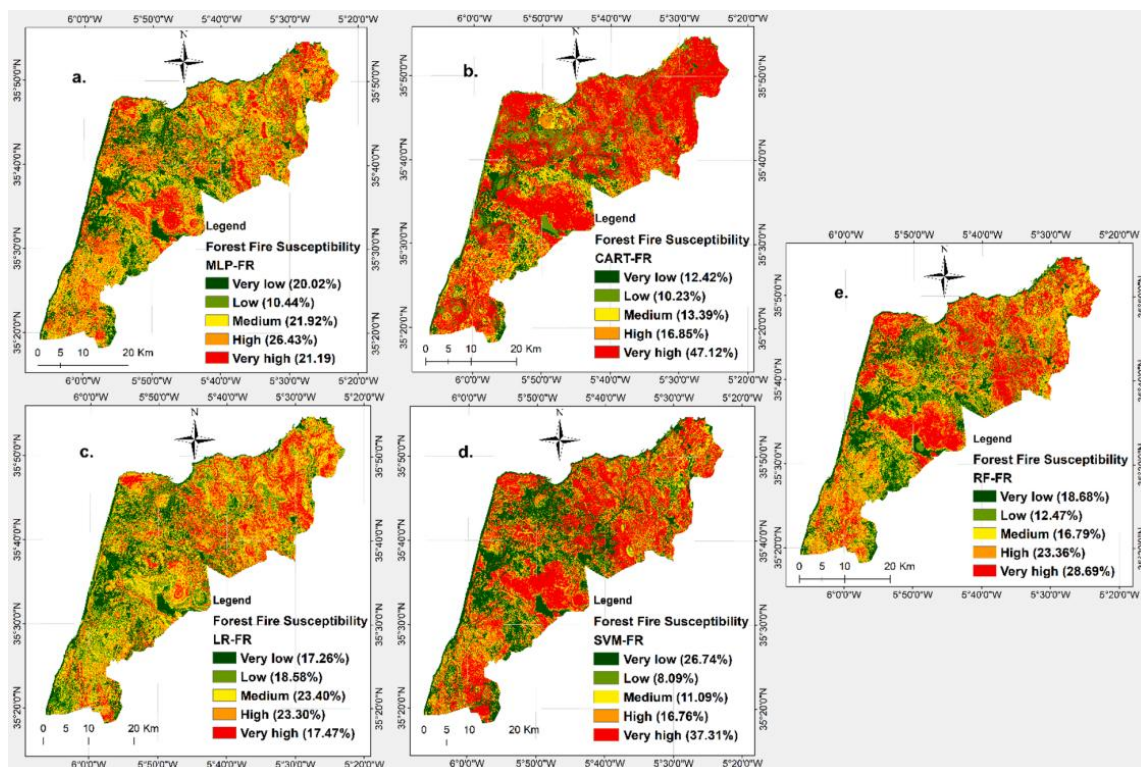


Figura 8. Susceptibilidad a incendios forestales en una región de Tanger-Tétouan-Al Hoceima, al norte de Marruecos, empleando modelos de ensemble. Recuperado de Mohajane et al. (2021).

2.2 Sistemas

En México, con base en los esfuerzos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), se ha desarrollado el Sistema de Prevención por Peligro de Incendios Forestales (SPPIF) (CONAFOR, 2024), el cual considera información meteorológica satelital en tiempo real aunado al análisis de variables como densidad de caminos, de asentamientos humanos y de regiones agrícolas, un índice de sequía de combustible y la biomasa forestal, para determinar zonas con alto riesgo de ocurrencia de incendios.

Este mismo sistema SPPIF es replicado para cada uno de los estados y los datos resultantes son actualizadas diariamente a través del portal digital con el mismo nombre, por lo cual, la información es accesible para el público general de manera gratuita.

Sin embargo, la principal deficiencia de este sistema es la resolución de información espacial, ya que, al procurar que este modelo sea fácilmente replicable para cada uno de los estados en tiempo real se renuncia a obtener una mayor precisión para la categorización.

2.3 Legislación

Como un intento para abordar la problemática de incendios forestales, de forma general, en México y sus estados se han propuesto reformas legislativas para establecer amonestaciones o penalizaciones por cualquier acción negligente que amenace la integridad de los ecosistemas naturales y/o sus componentes, así como la salud humana. Acoplándose a lo anterior, la federación mexicana promueve en función a partir del 06 de febrero de 2002 el artículo 420 BIS, fracción IV, Capítulo 2º, Título XXV, Libro 2º del Código Penal Federal, como dicta la cita:

CAPÍTULO 2º, TÍTULO XXV, LIBRO 2º DEL CÓDIGO PENAL FEDERAL

ARTÍCULO 420 BIS: Se impondrá pena de dos a diez años de prisión y por el equivalente de trescientos a tres mil días multa, a quien ilícitamente:

- I. Dañe, desque o rellene humedales, manglares, lagunas, esteros o pantanos;
- II. Dañe arrecifes;
- III. Introduzca o libere en el medio natural, algún ejemplar de flora o fauna exótica que perjudique a un ecosistema, o que dificulte, altere o afecte las especies nativas o migratorias en los ciclos naturales de su reproducción o migración, o
- IV. Provoque un incendio en un bosque, selva, vegetación natural o terrenos forestales, que dañe elementos naturales, flora, fauna, los ecosistemas o al ambiente. Se aplicará una pena adicional hasta de dos años de prisión y hasta mil días multa adicionales, cuando las conductas descritas en el presente artículo se realicen o afecten un área natural protegida, o el autor o participe del delito previsto en la fracción IV, realice la conducta para obtener un lucro o beneficio económico.

Secundando las acciones de la federación, el estado de Nuevo León integra de manera secuencial desde el 10 de diciembre de 2019 al 17 de marzo de 2023 los artículos 446, fracciones I y II y 446 BIS, Capítulo único, Título XXVIII, Libro 2º del Código Penal Estatal para el Estado de Nuevo León, argumentando:

CAPÍTULO ÚNICO, TÍTULO XXVIII, LIBRO 2º DEL CÓDIGO PENAL ESTATAL PARA EL ESTADO DE NUEVO LEÓN

ARTÍCULO 446: Se impondrá pena de prisión de uno a nueve años y multa de treinta a ciento cincuenta cuotas, a quien realice, autorice, u ordene cualquiera de las siguientes conductas:

- I. Tale, desmonte o destruya árboles de bosques y/o afecte recursos forestales, salvo aquellos casos que estén contemplados en los ordenamientos correspondientes y cuenten con el permiso o autorización de la autoridad competente;

- II. Transporte, comercie, acopie, almacene o transforme madera en carbón vegetal, así como cualquier recurso forestal maderable sin la autorización de la autoridad competente.
- III. Provoque una explosión, inundación, incendio o bien realice pintas, sin importar el material ni el instrumento, sin la autorización o permiso de la autoridad competente, que causen daños a la salud pública, flora, fauna o a los elementos naturales de un ecosistema.
- IV. Descargue, deposite, infiltre o derrame aguas residuales de carácter industrial, comercial, de servicios o agropecuarios, desechos o contaminantes en las aguas o en los suelos de jurisdicción estatal o municipal, que causen daños a la salud pública, la flora, la fauna o a un ecosistema;
- V. Realice, autorice, consienta, permita u ordene la descarga, el depósito o infiltración de residuos industriales sólidos o líquidos no peligrosos, ya sean químicos o bioquímicos al sistema de alcantarillado, drenaje, ríos, cuencas, vasos o demás depósitos de corrientes de agua, en contravención a los ordenamientos correspondientes, que causen o puedan causar daño a la salud pública, la flora, la fauna o a un ecosistema;
- VI. Deposite escombros, residuos sólidos urbanos, derivados del petróleo o residuos sólidos o líquidos no peligrosos, ya sean químicos o bioquímicos en áreas públicas, cerros, montañas, bosques, llanuras, mantos acuíferos, ríos o presas, que causen o puedan causar daño a la salud pública, la flora, la fauna o a un ecosistema;
- VII. Emita gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera provenientes de fuentes fijas, sin aplicar las medidas de prevención o seguridad de acuerdo con los ordenamientos correspondientes, que causen o puedan causar daños graves a la salud pública, la flora, la fauna o a un ecosistema;
- VIII. Transporte, comercie, almacene, deseche, descargue, o realice cualquier actividad empleando residuos sólidos urbanos o de manejo especial, sin la autorización de la autoridad competente que causen o puedan causar daños a la salud pública, al medio ambiente o a los recursos naturales;
- IX. Debiendo obtener la autorización de impacto y riesgo ambiental, realice obras o actividades, sin contar con la misma o no implemente las medidas preventivas o correctivas que indique la autoridad competente para la mitigación de impactos ambientales y de seguridad para las personas, sus bienes y el medio ambiente, ocasionando daños a la salud pública, la flora, la fauna o a un ecosistema; o
- X. Realice actividades de explotación, extracción, procesamiento o aprovechamiento de minerales o sustancias no reservadas a la federación, tales como rocas o productos que puedan utilizarse como materia prima que genere daños a la salud pública, al medio ambiente o a los recursos naturales sin la autorización de la autoridad competente.

ARTÍCULO 446 BIS: Las sanciones previstas en el primer párrafo del artículo anterior se aumentarán hasta en una mitad cuando la explosión o el incendio a que se contrae la fracción II del propio artículo, se provoquen en un terreno forestal.

2.4 Protocolos, programas y manuales

De manera simultánea, se adaptan diversas estrategias nacionales y estatales para el proceso de prevención y/o control de incendios en las regiones naturales, como el Programa de Manejo del Fuego (SCMF, 2017), el Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales (SEMARNAT, 2008), y el Programa de Protección Civil para Incendios Forestales (SSC, 2014), cuyo objetivo es la estandarización de los protocolos de prevención y respuesta inmediata ante siniestros (Figura 9).



Figura 9. De izquierda a derecha, portadas de los documentos del Programa de Manejo del Fuego, el Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales, y el Programa de Protección Civil para Incendios Forestales.

En estos manuales se resalta la importancia de mantener muestreos persistentes con esfuerzo considerable sobre la salud vegetal y la composición ecosistema, aunado a la evaluación de posibles factores de riesgo para la ocurrencia de incendios, además de insistir en involucrar a los ciudadanos para generar un movimiento de conciencia ambiental con la finalidad general de impedir estos eventos (SEMARNAT, 2008; SCMF, 2017).

JUSTIFICACIÓN

Contexto Sociodemográfico

El modelo de clasificación del PNCM posibilita garantizar la seguridad de las poblaciones al interior del territorio, además de promover la respuesta efectiva para prevenir y controlar los incendios.

Contexto Cultural-Histórico

El presente proyecto permite justificar el valor cultural e histórico de la región además de adicionar un valor científico y procurar su conservación.

Contexto Económico

El impacto de los incendios conduce directamente a la pérdida de los recursos provistos por la región, por lo cual, se prioriza establecer áreas susceptibles y exhortar una mejor destinación de los recursos económicos disponibles.

Contexto Ecológico

La extensión y potencia de los incendios del Parque Natural han incrementado, por lo cual se pone en riesgo la estabilidad del paisaje natural, conduciendo a la fragmentación del hábitat que desencadena en la divergencia de poblaciones locales. A razón de esto, se formulan estrategias de prevención y de primera respuesta óptimas ante incendios en la región para prevenir esta reacción en cadena.

Contexto Político

Empleando la legislación vigente, aunado al conocimiento específico de los componentes del Parque Nacional y sus regiones vulnerables, se exhorta a la conciencia ciudadana para la protección de la belleza escénica y ecosistémica que provee la región.

Contexto Metodológico

Los algoritmos de aprendizaje autónomo permiten reducir la influencia de sesgos (*bias*) y aumentar la resolución de la información resultante, por lo cual se establece el estudio basal de su aplicación para actualizar las metodologías de predicción de incendios forestales de la región y proponer estrategias, protocolos y programas de prevención y control de siniestros.

OBJETIVOS

General:

- Caracterizar el territorio del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” (PNCM) a través de una evaluación del riesgo de incendios empleando un metamodelo de aprendizaje autónomo para generar estrategias adecuadas de prevención y/o control.

Específicos:

1. Recopilar los registros georreferenciados de incendios ocurridos dentro de la extensión del PNCM entre los años 2013 - 2022 presentes en las bases de datos SPPIF (CONAFOR, 2024) y FIRMS (NASA, 2024).
2. Establecer los modelos base, y sus hiperparámetros, que conformarán el metamodelo de aprendizaje autónomo.
3. Evaluar la calidad de los modelos base y submodelos entrenados utilizando los estadísticos de Exactitud, Precisión, Sensibilidad, F1-Score, Estadístico Kappa, y el Coeficiente de Correlación de Matthews.
4. Destacar las variables que, de manera óptima, expliquen la variación de la ocurrencia de incendios siguiendo la métrica de permutación de importancia por características y la función de dependencia parcial.
5. Construir un metamodelo de aprendizaje autónomo seleccionando los mejores submodelos candidatos para caracterizar el territorio con base en su propensión a incendios según los registros históricos y la variación espacial de los componentes bióticos y abióticos.
6. Aplicar el metamodelo virtual al ambiente real para la caracterización del territorio y señalar las zonas con mayor riesgo de incendios.
7. Realizar un análisis espacial de las zonas propensas a incendios para proponer estrategias adecuadas para el control y/o prevención de incendios.

METODOLOGÍA

1. Área de estudio

1.1. Localización

Decretada como Área Natural Protegida con carácter de Parque Nacional el 24 de noviembre de 1939 (DOF, 1939), y con una extensión actual de 1 779.95 km² (Figura 10), la región de Cumbres de Monterrey se extiende por los municipios de García, Santa Catarina, San Pedro Garza García, Monterrey, Santiago, Allende, Montemorelos y Rayones del estado de Nuevo León, y a través de los municipios de Arteaga y Ramos Arizpe del estado de Coahuila de Zaragoza, esto a razón de una ordenanza vigente de re-delimitación efectuada el 17 de noviembre en el año 2000 (DOF, 2000) con objetivo de reducir el perímetro del Parque Nacional debido a conflictos de interés políticos, de desarrollo urbano y legislativos (Fueyo-Mac Donald, 2013).

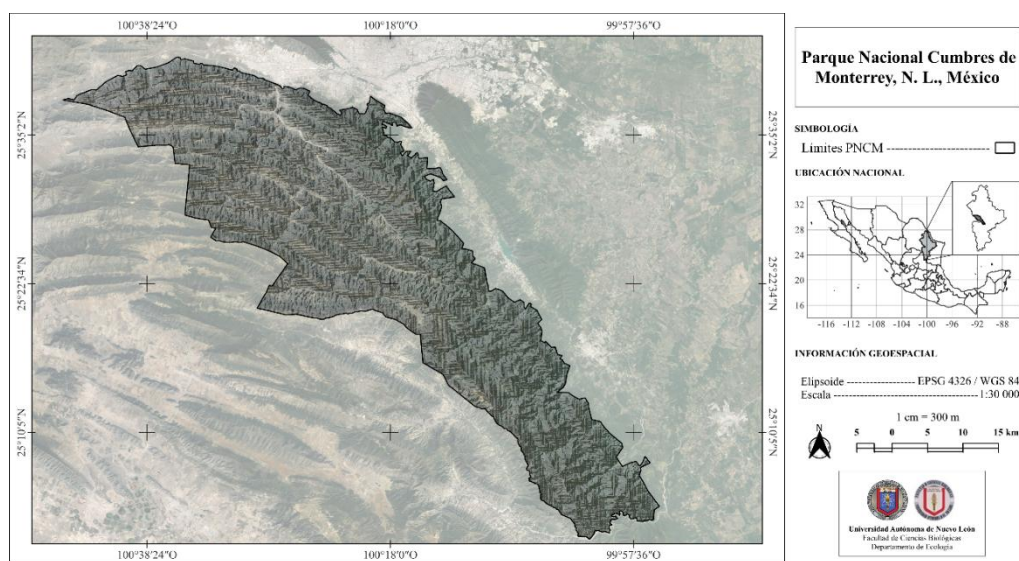


Figura 10. Delimitación actual del territorio del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”.

1.2. Aspectos físicos

1.2.1. Geomorfología

El territorio delimitado coincide en los pliegues del arqueamiento tectónico “Curvatura de Monterrey” al norte de la Sierra Madre Oriental, cadena montañosa la cual se extiende septentrionalmente desde la frontera política entre Coahuila – Texas hasta el estado de Puebla, meridionalmente. Por su paisaje altamente accidentado se le atribuyen

las variaciones en los registros de temperaturas, precipitaciones e incidencia solar que, de manera consecuente, permiten el establecimiento de especies múltiples y diversas en toda su extensión horizontal y vertical (Alanís-Flores y Velazco-Macías, 2013).

La elevación aproximada del Parque Nacional Cumbres de Monterrey va desde los 480 msnm en los puntos más bajos, hasta los 3 460 en las cumbres de la Sierra (Figura 11). En el centro-oeste de la región son frecuentes los residuos de los flancos de anticlinales, además de valles al centro de estos mismos debido al proceso de flexión edafológica que, a su vez, vuelve más susceptibles a las rocas ante la erosión (Uvalle-Sauceda *et al.*, 2013).

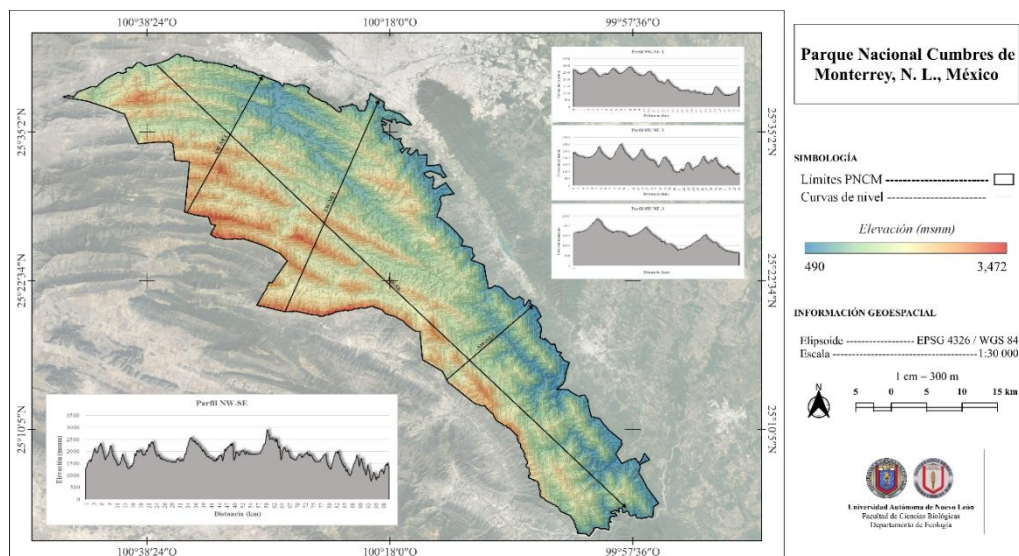


Figura 11. Elevación del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”.

1.2.2. Climatología

La disposición de los climas obedece un patrón conveniente producto de la dinámica atmosférica de los vientos provenientes de la costa este de la República Mexicana los cuales, al arribar al territorio del Parque Nacional, se encuentran a barlovento con los mosaicos montañosos del este que desvían o elevan los vientos frescos incidentes, por lo cual se establecen climas húmedos como (A)C(w1), (A)C(w2) y (A)C(wo) en esas mismas áreas, mientras que en las regiones a sotavento del norte y oeste se puede encontrar una climatología más árida o continental de climas BS1h(x'), BS1hw, BS1k(x'), BS0hw, BW1hw y C(w1), respectivamente (CONABIO, 1998) (Figura 12).

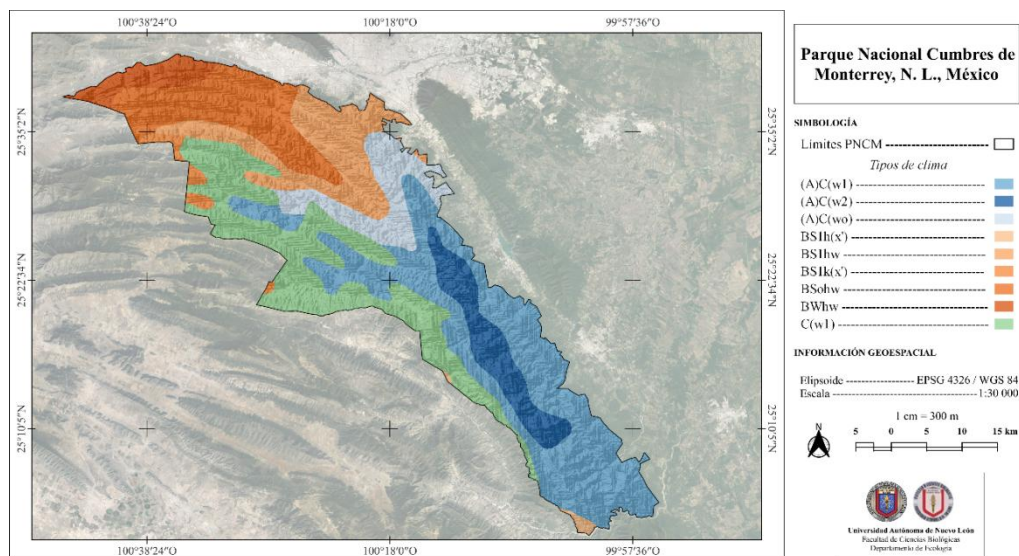


Figura 12. Climatología del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”.

1.2.3. Hidrología

Al interior del Parque Nacional se localizan los cauces de cuatro ríos principales (CONANP, 2020), siendo estos: Pesquería, al noroeste en la subcuenca “Pesquería”; Santa Catarina, desde el norte-centro hasta el interior por la subcuenca “Monterrey”; San Juan, en la subcuenca “San Juan”; y El Blanquillo, al sur en la subcuenca “Ramos” (Figura 13).

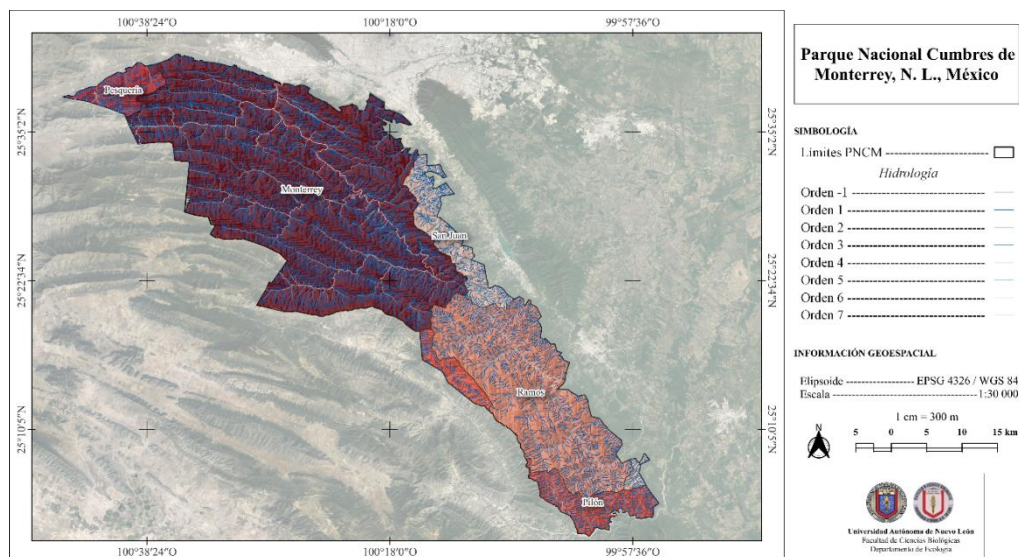


Figura 13. Sistemas hídricos del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”.

Además, circundantes a los ríos mencionados, existen múltiples corrientes de agua perennes y, en mayor ocurrencia, intermitentes dentro del territorio, por lo cual el patrón

de escorrentías es descrito como de tipo “enrejado”, lo cual habilita el flujo por la superficie y la recarga de aguas subterráneas.

1.3. Aspectos biológicos

1.3.1. Uso de suelo y vegetación

Considerando el inventario de Uso de Suelo y Vegetación Serie VII (INEGI, 2021), al interior del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” coexisten 17 tipos de vegetación (Tabla 1) aunado a una minúscula extensión de asentamientos humanos (< 0.01% de la superficie total).

Tabla 1

Proporción de cobertura por uso de suelo y vegetación del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”.

Uso de Suelo y Vegetación	Área (km²)	%
Matorral submontano	491.75	27.72
Bosque de pino-encino	245.40	13.83
Bosque de encino	221.14	12.46
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	186.72	10.52
Matorral desértico rosetófilo	171.68	9.67
Bosque de encino-pino	136.60	7.7
Bosque de pino	109.55	6.17
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	61.71	3.48
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	53.53	3.02
Agricultura	23.58	1.33
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de ayarín	23.50	1.32
Bosque de ayarín	16.64	0.94
Pastizal inducido	14.06	0.79
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	8.40	0.47
Vegetación secundaria arbustiva de matorral submontano	7.84	0.44
Matorral desértico micrófilo	2.16	0.12
Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo	0.20	0.01

Los sitios de agricultura, junto con los pastizales inducidos, y los matorrales submontanos, micrófilos y rosetófilos, se encuentran a través de la región en las zonas con menor elevación. Conforme se incrementa la altitud se puede registrar la transición a

bosques de pino, pino-encino, encino-pino y, en las cumbres del territorio, bosques de ayarín y de encino (Figura 14).

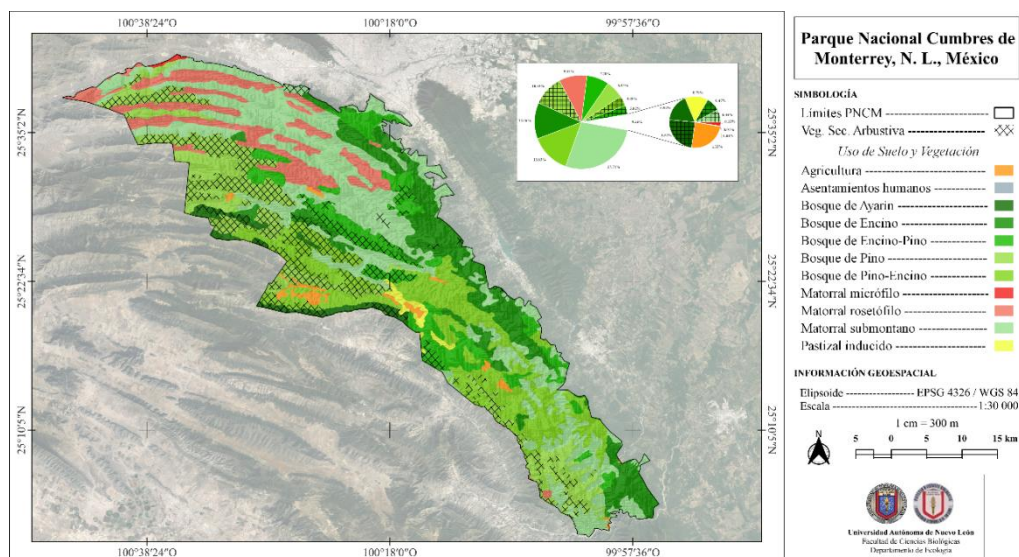


Figura 14. *Uso de suelo y vegetación del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”.*

1.3.2. Diversidad biológica

Los inventarios florísticos elaborados para evaluar la variedad de organismos vegetales que co-existen dentro del Parque Natural registran 1 379 especies de plantas, subdivididas en 130 familias y 628 géneros (Anexo 1), de las cuales 14 se encuentran sujetas a protección especial (Pr), cuatro en peligro de extinción (P) y tres están amenazadas (A) bajo la NOM-059-SEMARNAT-2010. Las familias Asteraceae, Poaceae y Leguminosae son las que mayor riqueza de especies presentan, con 224, 129 y 122 taxa, respectivamente (Alanís-Flores y Velazco-Macías, 2013; Estrada-Castillón *et al.*, 2013; Favela-Lara, 2013; CONANP, 2020).

Sobre la micobiota, Marmolejo-Moncivais *et al.* (2013) circunscriben al parque 512 *taxa* de hongos, los cuales 374 corresponden a los basidiomicetos, 108 a los ascomicetos, 20 solamente uno a los zigomicetos, cuatro pertenecen al reino Chromista y 24 especies a los mixomicetos del reino Protozoa.

Las estimaciones para la fauna determinan una diversidad mínima aproximada de 553 organismos concernientes a diversos *phyla* (Anexo 2). Para el *phylum* Arthropoda se registran 171 especies contenidas en 134 géneros, 94 familias, 22 órdenes y cinco clases

(Quiroz-Martínez *et al.*, 2013; Rodríguez-Almaraz *et al.*, 2013; Solís-Rojas y Rojas-Malacara, 2013), mientras que para el *phylum* Chordata se reconocen 382 especies, 253 géneros, 97 familias, 34 órdenes y cinco clases (García-Salas *et al.*, 2013; González-Saldívar *et al.*, 2013; Lozano-Vilano *et al.*, 2013; Narváez-Torres y Lazcano-Villareal, 2013). Considerando la NOM-059-SEMARNAT-2010, 33 especies animales están bajo un estatus de amenaza (A), 28 sujetas a protección especial (Pr) y seis en peligro de extinción (P).

1.4. Aspectos sociodemográficos

1.4.1. Poblaciones

El territorio del Parque Nacional delimitado se traslapa, a su vez, con los territorios municipales de Allende, García, Montemorelos, Monterrey, Rayones, San Pedro Garza García, Santa Catarina y Santiago, del estado de Nuevo León, además de los municipios de Arteaga y Ramos Arizpe, del estado de Coahuila de Zaragoza (Figura 15).

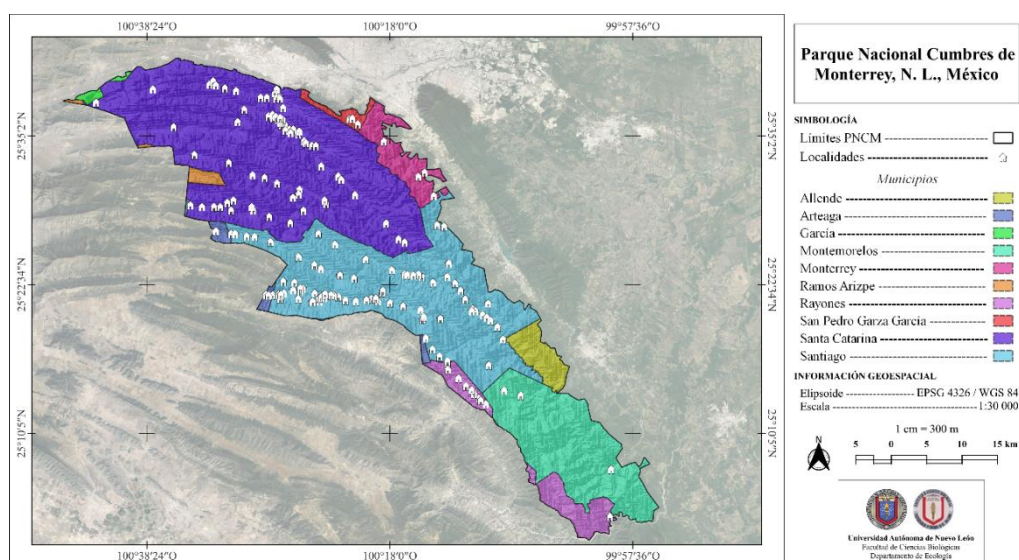


Figura 15. División política municipal en el Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”.

Tan solo un área reducida al noreste de la región, concerniente a la Zona Metropolitana de Monterrey, está etiquetada como de carácter urbano, mientras que la mayoría de la extensión se clasifican como zonas rurales, esto siguiendo la subzonificación geoestadística básica establecida por INEGI (2021). Repartidas en estas mismas áreas, y hasta el año 2021, son halladas 171 localidades y caseríos dispersos, 166

en el estado de Nuevo León y únicamente 5 en Coahuila de Zaragoza (INEGI, 2021) (Figura 16).

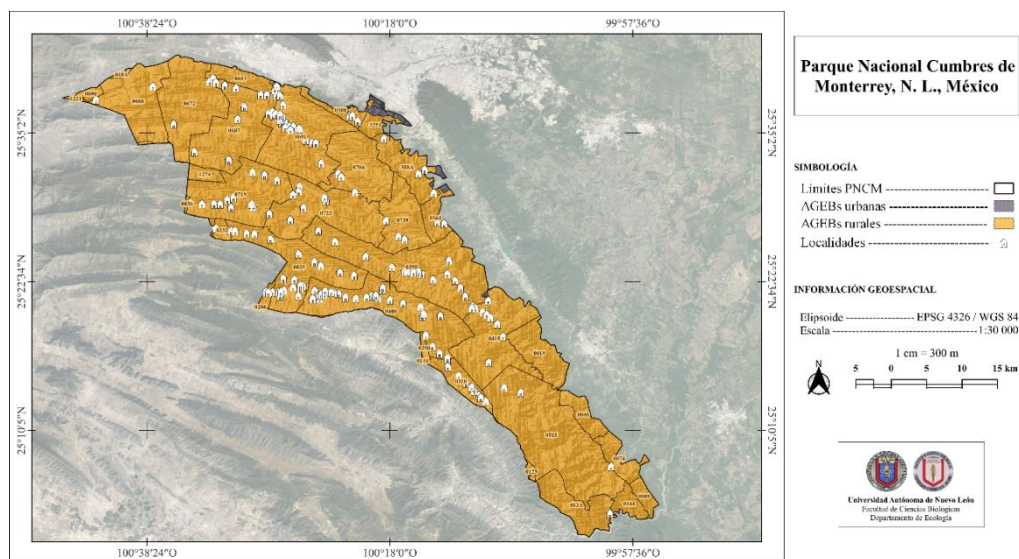


Figura 16. Áreas geoestadísticas básicas en el Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”.

2. Registros de incendios

A través de una consulta efectuada a las bases de datos de acceso libre disponibles en el Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales “SPPIF” (CONAFOR, 2013 – 2022), y en el Sistema de Información de Incendios para la Gestión de Recursos “FIRMS” (NASA, 2024) se recopilan los registros históricos georreferenciados de siniestros ocurridos dentro del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” en la temporada de incendios, que coinciden entre los meses de febrero a mayo, desde el año 2013 hasta 2022.

Lo anterior se establece de tal manera para la generación de reportes anuales a lo largo de una década con información suficiente que describen la dinámica temporal de la ocurrencia de incendios en el Parque Nacional para la temporada señalada. Ya que, al menos para la región considerada en el presente estudio, la cantidad de incendios ocurridos en otras temporadas es ínfima o prácticamente nula, por lo que la inclusión de estas es innecesaria y vana para el enfoque principal del trabajo.

Surgiendo de esto bases de datos individuales para cada año que incluyen los registros georreferenciados de incendios entre los meses de febrero a mayo en un formato

delimitado por comas (.csv). Además, debido a la naturaleza de los modelos de aprendizaje autónomo empleados, se añaden artificialmente una cantidad similar de puntos de pseudo-ausencias (*background points*) a los registros verdaderos de incendios de cada año para establecer modelos de clasificación probabilística, estos son producidos procurando una aleatoriedad espacial únicamente bajo la condición de evitar su origen en zonas fuera de la región delimitada o su traslape geográfico con los registros verdaderos. Estos puntos son indispensables para establecer el entrenamiento y práctica de los modelos base contruidos.

3. Predictores

3.1. Climáticos

Para las mediciones de los factores de temperatura y humedad de la región se emplean ortoimágenes anuales del satélite Landsat 8 OLI/TIRS restringiendo la selección a fotografías producidas entre los meses de febrero a mayo, considerando aquellas con menor cobertura de nubes, pues la presencia de estos cuerpos enmascara los valores reales de las bandas del satélite.

Se contempla la aplicación del análisis de la Temperatura Superficial del Suelo (LST) a las ortoimágenes, sustituyendo mediciones de Temperaturas Promedio generalmente utilizadas en estudios similares como respuesta a la ausencia de estaciones meteorológicas funcionales suficientes en el territorio, siguiendo la ecuación primera:

$$LST = \frac{T_B}{1 + (\lambda \cdot \frac{T_B}{\rho \cdot \ln \epsilon})} \quad (1)$$

T_B = Temperatura de brillo o radiación

λ = Longitud de onda de la radiancia emitida (11.5 μm)

$\rho = h \times c / \sigma = 1.438 \times 10^{-2} \text{ mK}$ (σ = Constante de Boltzmann, h = Constante de Planck, c = Velocidad de la luz)

ϵ = Emisividad de la superficie terrestre

De igual manera, para la estimación de la humedad en el Parque Nacional se procura el análisis del índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI), sustituyendo las mediciones de Precipitación Mensual Promedio siguiendo el mismo argumento señalado en el párrafo anterior, a través de la ecuación segunda:

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \xrightarrow{\text{En Landsat 8}} \frac{(Banda 5 - Banda 6)}{(Banda 5 + Banda 6)} \quad (2)$$

3.2. Topográficos

Se inspecciona la variación en elevación de la topografía empleando los modelos de elevación digitales “N25W100” y “N25W101” extraídos por la Misión Topográfica Radar Shuttle (SRTN, en inglés) (NASA, 2000), por medio de los cuales se realiza el análisis de las inclinaciones de los desniveles y del aspecto, considerando la incidencia solar.

3.3. Hídricos

No se debe obviar el impacto de los cuerpos de agua y cauces hídricos superficiales, tanto primarios como de otra orden, ante la ocurrencia de incendios en las zonas, por lo cual, se examinan y georreferencian cada uno de estos sistemas presentes al interior del Parque Nacional para estimar la distancia euclidiana (proximidad) de cada punto de la región a estos mismos.

3.4. Ecosistémicos

Debido a la naturaleza de los incendios forestales se vuelve vital considerar el cambio en la cobertura vegetal y la distribución del uso del suelo, a razón de esto, empleando ortoimágenes del satélite Landsat 8 OLI/TIRS se obtienen índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) anuales pertinentes a los mismos rangos temporales determinados en este estudio estableciendo la ecuación tercera:

$$NDVI = \frac{(Rojo - NIR)}{(Rojo + NIR)} \xrightarrow{\text{En Landsat 8}} \frac{(Banda 5 - Banda 4)}{(Banda 5 + Banda 4)} \quad (3)$$

Así mismo, se emplea la clasificación de Uso de Suelo y Vegetación Serie VII (INEGI, 2021) para la categorización de los ecosistemas principales al interior del territorio del Parque Nacional y observar la incidencia de siniestros en cada uno de ellos, incluyendo las zonas urbanas. No se anexaron las series anteriores a esta ya que no se reportan cambios significantes en el uso del suelo o vegetación de la región, por lo cual esta última es idónea para la representación de los ecosistemas presentes a lo largo de la década de estudio.

3.5. Demográficos

El impacto antropogénico se ha visto altamente relacionado con la variación en la ocurrencia de incendios forestales, ya sea por la presión resultante de las expansiones horizontales urbanas debido al crecimiento exponencial de las poblaciones urbanas, por el estrés vegetal subsecuente de actividades turísticas o de explotación, o a causa de la fragilidad elevada de los ecosistemas por la contaminación. A razón de lo previo, se examinará la proximidad de cada punto del territorio a las localidades referidas en el Censo de Población y Vivienda del año 2020 (INEGI, 2020) y a las rutas turísticas registradas en la plataforma AllTrails hasta el año 2024.

4. Construcción de las bases de datos

Los datos de ocurrencia reales y de pseudo-ausencias de incendios son recopilados en formato vectorial (.gpkg) para su representación espacial en un Sistema de Información Geográfica (SIG), mientras que los predictores sobre los componentes de la región se mantendrán en un formato ráster (.tif). A partir de esto, empleando la plataforma RStudio, se construye un código que permita la extracción de los valores climáticos, topográficos, hídricos, ecosistémicos y demográficos coincidentes con los registros verdaderos y de pseudo-ausencias de siniestros.

5. Modelos base

Para el establecimiento del metamodelo se definen los siguientes modelos base entrenados paralelamente con la información de registros verdaderos y pseudo-ausencias de incendios en la región, además de considerar los valores específicos de los predictores de cada una de las observaciones:

5.1. Regresión Logística Estándar

Ampliamente utilizada en situaciones donde la variable respuesta es de carácter binario, puede extenderse a escenarios multicategóricos. Su entrenamiento se basa en el ajuste de los coeficientes β para minimizar la diferencia entre probabilidades estimadas y los valores reales observados. La probabilidad resultante obedece la ecuación cuarta:

$$P(Y = 1|X) = \frac{1}{1 + e^{(-\beta_0 + \beta_1 x_{i1} \dots \beta_n x_{in})}} \quad (4)$$

β_n = Coeficiente del parámetro n

x_n = Valor expresado del predictor n

Los supuestos que establece el modelo expresan la ausencia de multicolinealidad entre variables independientes además de una relación logarítmica entre variables independientes y la probabilidad del evento.

Sobre la construcción de los submodelos del algoritmo, se establecen tres niveles de permutación para evaluar la función *logistic_reg* de la librería *glmnet*, específicamente en los argumentos *penalty* y *mixture* (Anexo 3).

5.2. Árbol de decisión

Algoritmos predictivos de aprendizaje supervisado cuya toma de decisiones es secuencial -es decir, que sigue un orden y jerarquía- además de considerar las características de los datos de entrada para la clasificación o predicción. Generalmente

utilizado para la resolución de problemas de clasificación (donde la respuesta se da en forma de categoría) y para problemas de regresión (siendo la respuesta un valor continuo).

Un árbol de decisión se compone de: nodos de decisión, representan condiciones sobre una característica específica del conjunto de datos subdividiéndolo en subconjuntos; ramas, cuyo origen es en los nodos y expresan los posibles resultados de las condiciones establecidas en los nodos de decisión; raíz del árbol, fungiendo como el nodo inicial que establece la primera condición, y de esta se desarrollan los siguientes nodos de decisión; y nodos hojas, que contienen las predicciones finales a manera de categorías o valores numéricos dependiendo si es un problema de clasificación o regresión, respectivamente.

Para el establecimiento del árbol, en el caso de problemas de clasificación específicamente, se emplean métricas basadas en la entropía, como lo muestra la ecuación quinta:

$$H(X) = \sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i) \quad (5)$$

H(X) = Función de la entropía del conjunto X

p_i = Proporción de ejemplos de la clase *i* en el conjunto X ($0 \leq p_i \leq 1$)

Mientras, para la construcción de los submodelos, se establecen tres niveles de permutación para evaluar la función *decisión_tree* de la librería *rpart*, en sus argumentos *cost_complexity*, *tree_depth* y *min_n*, adicionando únicamente la condición de que los valores fijados para *tree_depth* sean mayores a 1 (Anexo 4).

5.3. Máquinas de Vectores Soporte (SVM)

Tipo de algoritmo de aprendizaje supervisado que, al igual que los árboles de decisión, puede acoplarse a problemas tanto de clasificación como de regresión. El objetivo característico de este esquema es definir un *hiperplano* en un espacio n-dimensional (siendo una línea en un espacio bidimensional o un plano en un espacio

tridimensional) que maximice el margen entre dos categorías distintas, esto es, la distancia entre el hiperplano y las muestras de datos -los registros de incendios, en este caso- más cercanas de cada clase, definidas como los vectores de soporte.

Lo anterior se formula matemáticamente tal como lo muestra la ecuación sexta:

$$\text{maximizar } \frac{2}{\|w\|} \text{ sujeto a } y_i(w^T x_i + b) \geq 1 \quad (6)$$

w = Vector de pesos

T = Transposición del vector o matriz

x_i = Vector de características de la observación i

y_i = Etiqueta o categoría de la observación i ($y_i \in \{-1, 1\}$)

b = Término de sesgo

Es entonces que, para el establecimiento de la clasificación o predicción final, este algoritmo se basa en el cálculo de la distancia de la observación al hiperplano, específicamente en su signo (positivo o negativo).

Refiriendo a la disposición de los submodelos, se establecen tres niveles de permutación para la evaluación de la función *svm_rbf* de la librería *kernelab*, en sus argumentos *cost* y *rbf_sigma* (Anexo 5).

5.4. k-Vecinos Cercanos (KNN)

Modelos con retroalimentación supervisada empleados arbitrariamente para predicciones basadas en clasificación o regresión. Plantea el objetivo de clasificar o predecir un dato u observación según los datos de entrenamiento más cercanos (vecinos cercanos) a este dentro de un espacio n -dimensional de caracteres o predictores.

En este algoritmo es posible establecer un parámetro $k \in \{\mathbb{Z} > 1\}$ que definirá la cantidad de vecinos cercanos considerados para la toma de decisión final. Además, se apoya en métricas de distancia para el cálculo de la cercanía entre los puntos, un ejemplo de estas es la Distancia Euclidiana, expresada en la ecuación séptima:

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (7)$$

$\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j$ = Vector de características de la observación i y j

$\mathbf{n}$ = Cantidad de características o predictores

Se determinan los submodelos estableciendo igualmente tres niveles de permutación para evaluar la función *nearest_neighbor* de la librería *kknn*, específicamente en sus argumentos *neighbors*, *weight_func*, y *dist_power* (Anexo 6).

5.5. Regresión Multinomial

Presente como una extensión directa de la regresión lineal, la regresión multinomial accede al modelado de relaciones no lineales entre variables respuesta e independientes al introducir términos polinómicos, la cual ajusta una curva al conjunto de datos específico.

Un polinomio es, en sí mismo, una expresión matemática que agrupa la suma de términos en los que una variable independiente x se eleva a diferentes potencias, también denominadas grados. De forma general, un polinomio de grado n es expresado como la ecuación octava:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_1 x_{i1}^2 + \beta_1 x_{i1}^3 \dots \beta_n x_{in}^n \quad (8)$$

β_n = Coeficiente del parámetro n

x_n = Valor expresado del predictor n

A pesar de lo anterior, el modelo resultante seguirá manteniendo una linealidad en términos de los parámetros β , por lo cual, el algoritmo puede emplear las mismas técnicas que una regresión lineal ordinaria para ajustar el modelo de predicción.

Para la construcción de los submodelos se establecen tres niveles de permutación para la evaluación de la función *multinom_reg* de la librería *glmnet*, en sus parámetros *penalty* y *mixture*, de forma similar al arquetipo de regresión logística dispuesto anteriormente (Anexo 7).

5.6. Bosques Aleatorios (RF)

Los modelos de Bosque Aleatorio, pertenecientes al subconjunto de algoritmos de aprendizaje supervisado, son dedicados para problemas de clasificación o regresión unilateralmente. Su constitución son múltiples árboles de decisión -de ahí el nombre de bosques- para que son entrenados para generar predicciones singulares que posteriormente se consideran en consenso para emitir una predicción final general.

El empleo de varios árboles de decisión generalmente resulta en una mejora de la precisión y una reducción ante el riesgo de sobreajuste a los datos de entrenamiento.

De los máximos principios para procurar un buen modelo de Bosque Aleatorio es la introducción de aleatoriedad para reducir los sesgos, ordinariamente recurriendo a dos fuentes principales: un algoritmo de Bootstrap Aggregating (Bagging) o bien, una selección aleatoria de las características.

De forma similar a los árboles de decisión, los arquetipos de Bosques Aleatorios se construyen considerando criterios de división y entropía (Véase ecuación quinta).

Los submodelos son determinados bajo tres niveles de permutación para evaluar la función *rand_forest* de la librería *ranger*, en sus argumentos *min_n* y *trees*, determinando la condición de considerar solo los valores de *trees* mayores a 1 (Anexo 8)

5.7. Refuerzo de Gradientes *Extremo* (XGBoost)

Perteneciente a la familia de los métodos de boosting, y simultáneamente al conjunto de modelos de aprendizaje supervisado, el Refuerzo de Gradientes Extremo se describe como una aplicación avanzada de impulso por gradiente (*Gradient boosting*), técnica que combina múltiples modelos débiles para formar uno más robusto de manera secuencial específicamente optimizado para ser flexible, eficiente y preciso.

Principalmente empleado para problemas de clasificación y regresión, pero puede ser extendido hacia tareas específicas como ranking o incluso detección de anomalías.

Conforme a su construcción, un XGBoost se entrena secuencialmente con árboles de decisión. En cada una de sus iteraciones se ajusta para predecir los errores del modelo en la iteración anterior, siguiendo en forma la ecuación novena:

$$F_{m+1}(x) = F_m(x) + \gamma \cdot h(x) \quad (9)$$

$F_m(\mathbf{x})$ = Modelo en la iteración m

$h(\mathbf{x})$ = Árbol ajustado en la iteración actual que intenta corregir los residuos de $F_m(\mathbf{x})$

γ = Parámetro de ajuste ($0 \leq \gamma \leq 5$)

Particularmente en el caso de una clasificación, uno de los objetivos principales de este algoritmo es optimizar una función de pérdida (*loss function*) de pérdida logarítmica (*log loss*) utilizando un descenso de gradiente, término empleado con regularidad al hablar de modelos de aprendizaje autónomo como redes neuronales. Para cada iteración el modelo busca ajustar un árbol nuevo para aproximarse a la gradiente de la misma función de pérdida definida considerando las predicciones actuales, esto se expresa en la ecuación décima:

$$L(y, \hat{y}) = \sum_{i=1}^n \ell(y_i, \hat{y}_i) + \sum_k \Omega(f_k) \quad (10)$$

$L(y, \hat{y})$ = Función objetivo total

$\ell(y_i, \hat{y}_i)$ = Función de pérdida para la observación i

$\Omega(f_k)$ = Término de regularización del árbol f_k (Ver ecuación undécima)

Este último argumento de término de regularización es implementado con la finalidad de evitar el sobreajuste ante los datos de entrenamiento, procediendo como lo muestra la ecuación undécima:

$$\Omega(f_k) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \sum_{j=1}^T w_j^2 \quad (11)$$

γ = Penalización para el número de hojas de un árbol T ($\gamma \geq 0$).

w_j = Pesos de las hojas

λ = Coeficiente de regularización, penaliza las magnitudes de w_j ($\lambda \geq 0$).

Finalmente, en lo referido al presente estudio, se establecen igualmente tres niveles de permutación para evaluar la función *boost_tree* de la librería *xgboost*, esencialmente sus argumentos *learn_rate*, *trees* y *tree_depth*, determinando la condición de considerar solamente valores de *trees* mayores a 1 (Anexo 9).

6. Entrenamiento, práctica y evaluación de submodelos

Las bases de datos anuales construidas tras la extracción de la información de los predictores para cada registro correspondiente son subdivididas en un 70% reservado para el entrenamiento de los modelos base y el 30% restante para la práctica.

Simultáneamente, al subconjunto de entrenamiento se le establece un algoritmo de validación cruzada *k-fold* (con $k = 10$) para la selección de los mejores submodelos, considerando los valores resultantes de los estadísticos expuestos en la Tabla 2.

Tabla 2

Estadísticos empleados para la valoración y selección de los mejores submodelos para cada modelo base.

Estadísticos	Formula
Exactitud	$\frac{VP+VN}{VP+VN+FP+FN}$
Precisión	$\frac{VP}{VP+FP}$
Sensibilidad	$\frac{VP}{VP+FN}$
F1-score	$\frac{2 \cdot \text{Precisión} \cdot \text{Sensibilidad}}{\text{Precisión} + \text{Sensibilidad}}$
Kappa	$\frac{2 \cdot (VP \cdot VN - FP \cdot FN)}{(VP+FP) \cdot (FP+VN) + (VP+FN) \cdot (FN+VN)}$
Coefficiente de correlación de Matthews	$\frac{(VP \cdot VN - FP \cdot FN)}{\sqrt{(VP+FP) \cdot (FP+VN) \cdot (VP+FN) \cdot (FN+VN)}}$

VP = Verdaderos positivos; VN = Verdaderos negativos; FP = Falsos positivos; FN = Falsos negativos.

Para facilitar el procesamiento de los datos y disminuir la complejidad computacional de los modelos al momento de introducir información nueva para el entrenamiento y la práctica se establece un algoritmo que, en esta disposición, clasifica información nominal que los modelos no hayan visto en los predictores anteriormente en un nuevo subnivel, imputa medianas en celdas de información numéricas vacías, imputa modas en celdas vacías de predictores nominales, elimina predictores con varianza ínfima o inexistente -ya que esto vuelve redundante la información-, detecta correlaciones y colinealidades entre predictores y reclasifica información nominal o factorial siguiendo un algoritmo One-Hot Encoding.

7. Importancia de predictores

7.1. Ganancia

Se evaluarán las aportaciones individuales de cada predictor en cada modelo para lograr la clasificación de zonas susceptibles a incendios a través de una métrica de permutación de importancias por características. Esta técnica se basa en la estimación de la importancia (ganancia) de cada variable de un modelo entrenado al calcular el cambio en el desempeño del modelo cuando los valores de los predictores se asignan aleatoriamente.

Lo anterior se logra primeramente valorando el rendimiento del modelo entrenado ante un set de validación o de práctica y conservando las métricas de desempeño de esta evaluación como la base a comparar cuando, posteriormente, los valores de un predictor seleccionado aleatoriamente sean mezclados y sea reevaluado considerando el cambio en el desempeño. Finalmente, se obtienen los promedios de estos cambios en el rendimiento sobre varias iteraciones para obtener una estimación de la importancia de los predictores.

7.2. Curvas de respuesta

La metodología previa solo posibilita una cuantificación de las aportaciones de los predictores ante los modelos entrenados, más no proporciona la información adecuada para analizar el impacto de cada valor específico ante el resultado final obtenido, p. ej., determinar si la varianza en temperaturas impacta en la incidencia de incendios y, si lo anterior es comprobable, el rango específico en el que sucede. Por lo cual, se establece la función de Dependencia Parcial para la evaluación del efecto marginal que obtengan las variables en la clasificación final, siguiendo la ecuación doceava:

$$\hat{f}_s(x_s) = E_{X_C}[\hat{f}(x_s, X_C)] = \int \hat{f}(x_s, X_C) dP(X_C) \quad (12)$$

$\hat{f}_s(\mathbf{x}_s)$ = Dependencia parcial para el conjunto de variables S (de interés)

E_{X_C} = Esperanza condicional

X_C = Variables complementarias

dP = Distribución de probabilidad

8. Construcción y aplicación del metamodelo

De manera posterior a la selección, entrenamiento y práctica de los mejores submodelos para cada modelo base, los resultados de las predicciones resultantes se generalizan a través de un metamodelo de regresión logística, siguiendo la ecuación treceava:

$$p_i = \frac{1}{1 + e^{(-z_i)}} \quad (13)$$

p_i = Probabilidad estimada de que un evento pertenezca a una etiqueta o categoría, en este caso, a un área susceptible ante la ocurrencia de incendios ($0 \leq p_i \leq 1$)

z_i = Combinación lineal de los predictores (Ver ecuación catorceava)

$$z_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} \dots \beta_n x_{in} \quad (14)$$

β_n = Coeficiente del parámetro n

x_n = Valor expresado del predictor n

Inherentemente este algoritmo se ajusta maximizando la verosimilitud -esto es, seleccionando los coeficientes (β) que mejor ajuste obtengan ante los datos observados-, como lo muestra la ecuación quinceava:

$$\ln L(\beta) = \sum_{i=1}^n [y_i \ln(p_i) + (1 - y_i) \cdot \ln(1 - p_i)] \quad (15)$$

$L(\beta)$ = Función de verosimilitud

y_i = Variable dependiente, etiqueta o categoría de la observación i ($y_i \in \{0,1\}$)

Sin embargo, se plantea la adición de la técnica de Operador de Selección y Contracción Mínima Absoluta (*Lasso*, por sus siglas en inglés), acatando la suma de los valores absolutos de los coeficientes, como lo muestra la ecuación dieciseisava:

$$\lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j| \quad (16)$$

λ = Parámetro de regularización/penalización

Teniendo por lo tanto la ecuación decimoséptima:

$$\hat{\beta} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \left\{ - \left[\sum_{i=1}^n (y_i \ln(p_i) + (1 - y_i) \cdot \ln(1 - p_i)) \right] + \lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j| \right\} \quad (17)$$

$\hat{\beta}$ = Vector de coeficientes estimados

argmin = Argumento del mínimo de los coeficientes

Este proceso, en el contexto de la regresión logística, regulariza y selecciona de mejor manera las variables para minimizar el impacto del sobreajuste del modelo y mejorar su interpretabilidad.

Finalmente, el algoritmo de regresión logística permite la clasificación de zonas susceptibles ante incendios forestales según la varianza geoespacial de los mismos predictores considerados para el entrenamiento y práctica de los modelos base a lo largo de los años de interés (Figura 17).

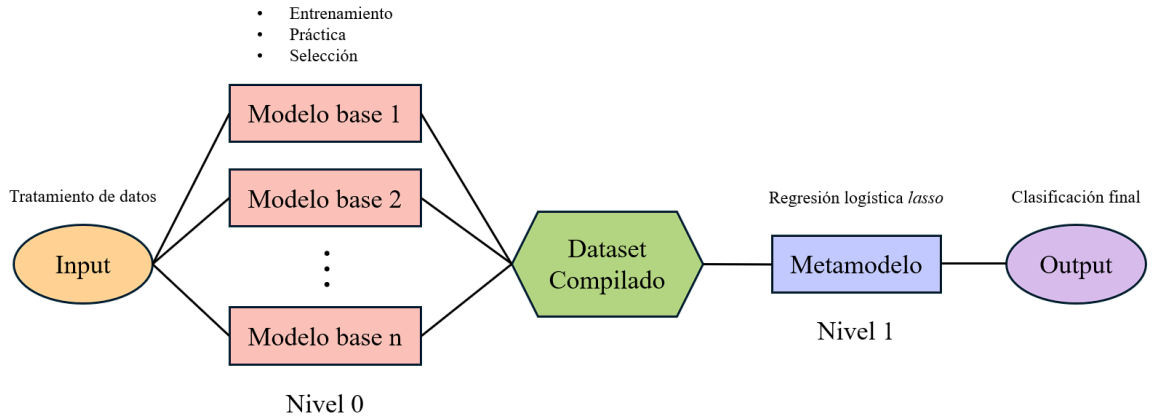


Figura 17. Proceso de construcción de los algoritmos base y el metamodelo para la clasificación.

9. Evaluación espacial y estrategias

Se adaptan estrategias específicas pre-, inter- y post- ocurrencia de incendio para cada una de las regiones vulnerables delimitadas al interior de la región del Parque Nacional considerando los aportes de propuestas de protocolos nacionales ya establecidos como: el Programa de Manejo del Fuego (SCMF, 2017), el Programa Nacional de

Protección contra Incendios Forestales (SEMARNAT, 2008), el Programa de Protección Civil para Incendios Forestales (SSC, 2014), y el Protocolo para la Atención de Incendios Forestales en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México (SEDEMA, 2019); además de protocolos internacionales como: la Guía Técnica en Prevención y Control de Incendios Forestales (Bonilla, 2001), el proyecto de Fortalecimiento Institucional de la ANAM en el Manejo Integrado del Fuego en los Bosques Tropicales de Panamá (Ministerio de Ambiente, 2015), el Manual de Entrenamiento en: Prevención y Control de Incendios Forestales/Zonas Silvestres para el Manejo Sostenible de los Bosques (Tadesse y Seboko, 2013), y las Pautas para la Prevención y Supresión de Incendios Forestales para Actividades Industriales (Bailey, 2001).

RESULTADOS

1. Registros de incendios

Considerando el intervalo temporal seleccionado desde el año 2013 hasta 2022, se reconoce la suma final de 4 694 registros de incendios confirmados entre los meses de febrero a mayo de diversa intensidad al interior de la región del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” distribuidos de forma heterogénea en estos mismos años (Figura 18), esto según los aportes de las bases de datos presentes en las plataformas SPPIF (CONAFOR, 2013 – 2022) y MODIS/VIIRS de FIRMS (NASA, 2024) contemplando las actualizaciones correspondientes hasta la fecha de elaboración del presente estudio.

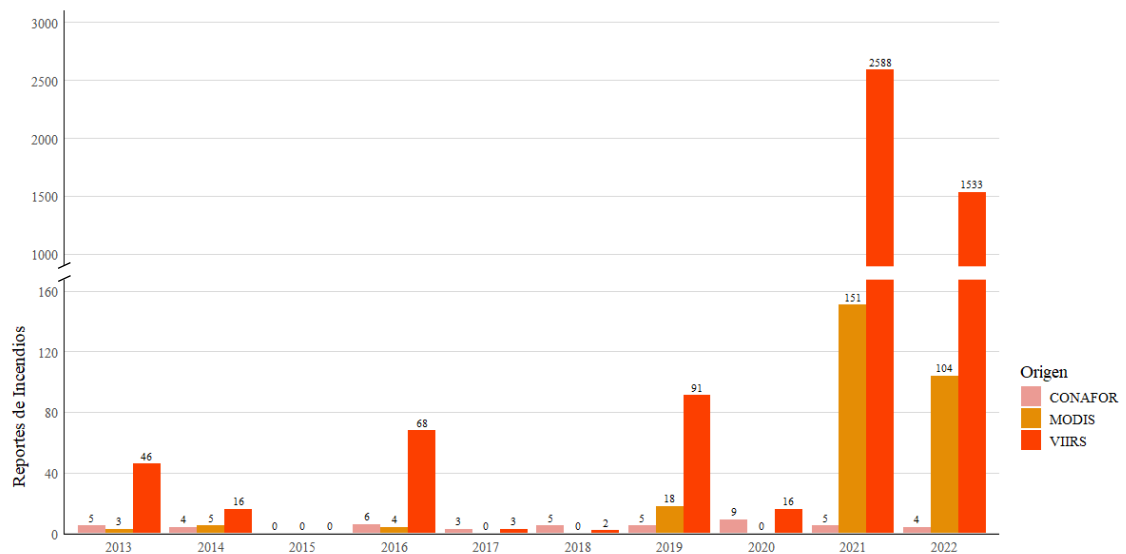


Figura 18. Reportes de incendios ocurridos al interior del PNCM entre 2013 – 2022.

Nótese la ausencia absoluta de ocurrencias de incendios para el año 2015, además del incremento exponencial de estos mismos para los años 2021 y 2022, superando incluso la suma de las cifras obtenidas para fechas anteriores a estas.

A razón de lo expuesto anteriormente, se omite la aplicación del análisis de vulnerabilidad ante incendios del territorio para los años 2015, 2017 y 2018 debido a la ausencia de suficientes datos para procurar el establecimiento de cualquier arquetipo de modelado ($n < 10$), además obviando la impracticabilidad teórica y filosófica de este mismo proceso, ya que *no es posible que el modelo categorice alguna región como*

vulnerable si no existió incendio alguno. Forzar este efecto solo resulta en mayor sesgo para los modelos y menor veracidad en su interpretación.

Mencionando la contribución de registros según las bases de datos consultadas, fue el catálogo VIIRS, perteneciente a FIRMS, aquella que aportó más información para el establecimiento de las bases de datos de siniestros reportadas al interior de la región en estos años, seguida por el catálogo MODIS de esta misma, y finalmente SPPIF de CONAFOR (Figura 19).

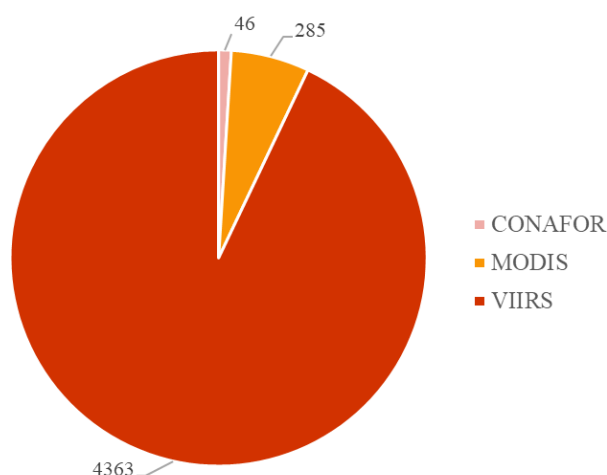


Figura 19. Aportación a los registros de incendios por catálogo de las BDs consultadas.

2. Variación geoespacial de los predictores

2.1. Climáticos

Contemplando la dinámica temporal de los valores de temperaturas superficiales al interior de la región es posible denotar periodos más cálidos que otros, alcanzando valores mayores a 45 °C, aun cuando las mediciones anuales se establecieron para los mismos meses que conforman la temporada de incendios en el Parque Nacional (Figura 20).

De la misma manera, incluso entre la misma temporada se obedece cierto patrón de distribución espacial en estos valores de temperaturas superficiales, siendo generalmente aquellas regiones al norte, a sotavento y con menor elevación las más cálidas del territorio.

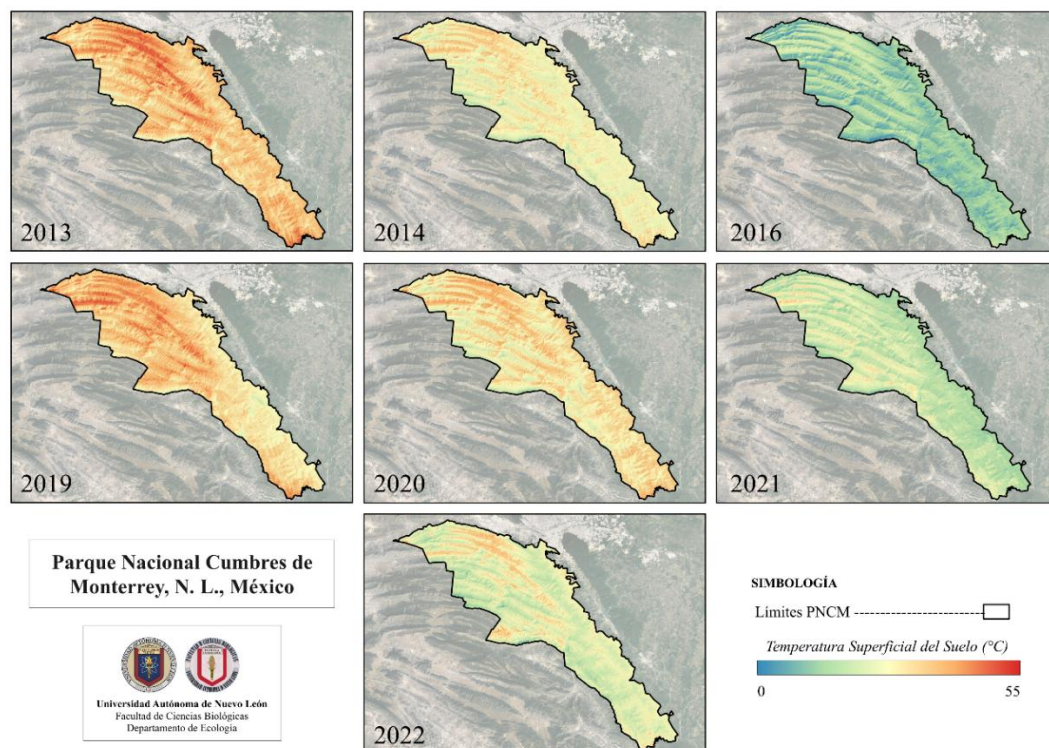


Figura 20. Dinámica de los valores de Temperatura Superficial del Suelo (LST) en el PNCM.

Respectivamente, en los años 2013 y 2019 se registran las mediciones de temperaturas superficiales promedio más altas a comparación de los otros años considerados en el estudio (Figura 21).

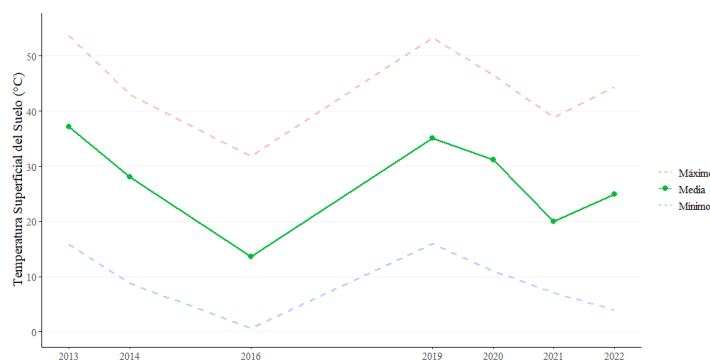


Figura 21. Variación temporal de la Temperatura Superficial del Suelo (LST) en el PNCM.

Contrario a los valores de temperatura que mostraron una varianza considerable en el periodo analizado, en las mediciones expresadas por el índice de humedad no se halla un dinamismo cuantioso al interior de la región, al menos en la temporada de incendios (Figura 22).

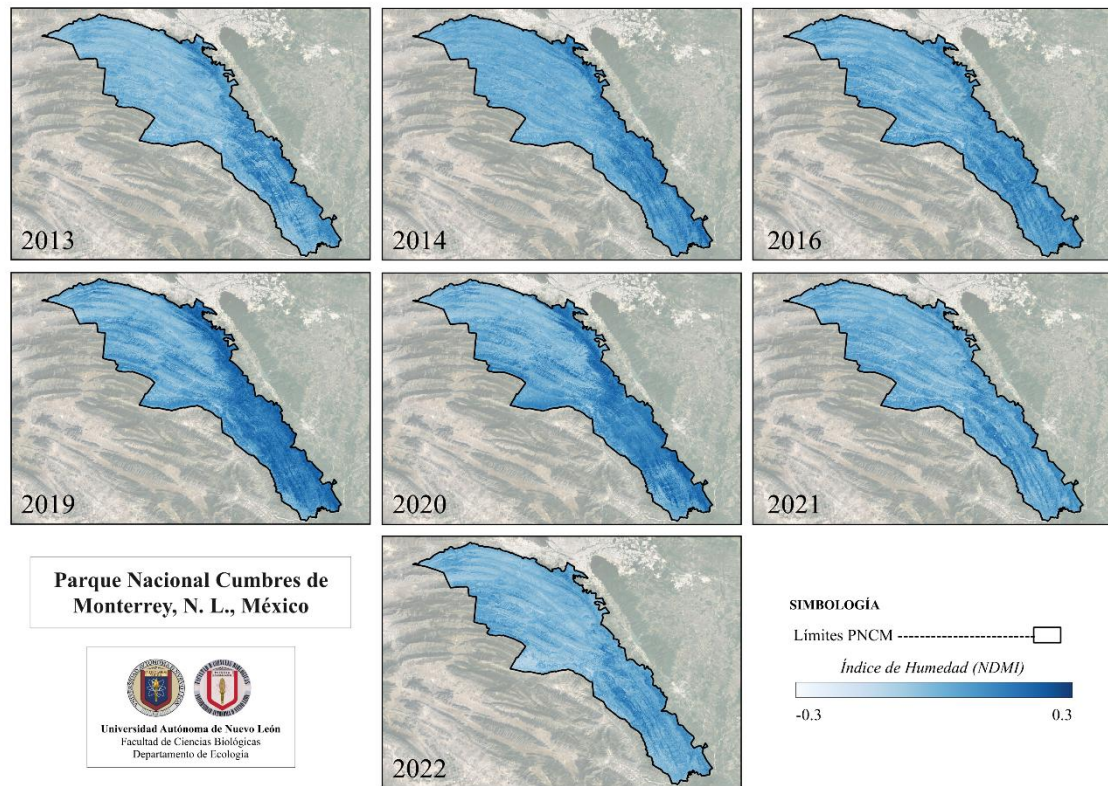


Figura 22. Dinámica de los valores del Índice de Humedad (NDMI) en el PNCM.

Resultan entonces valores promedio del índice estables entre -0.3 y 0.3, aproximadamente. Siendo la única excepción de esto, un momento del año 2021 donde el valor mínimo registrado desciende hasta -0.5 (Figura 23).

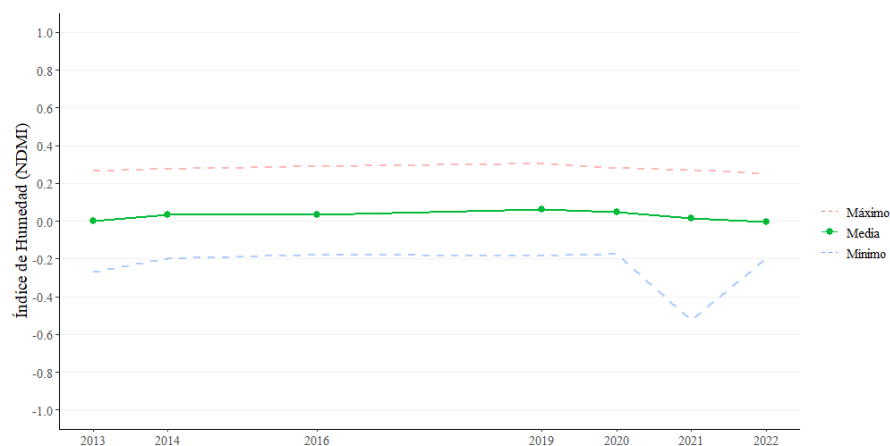


Figura 23. Variación temporal del Índice de Humedad (NDMI) en el PNCM.

2.2. Topográficos

En las regiones escarpadas -por inducción igualmente- se describen mayores inclinaciones de pendientes, principalmente en los sistemas de anticlinales del territorio, llegando hasta los 80° de ángulo (Figura 24).

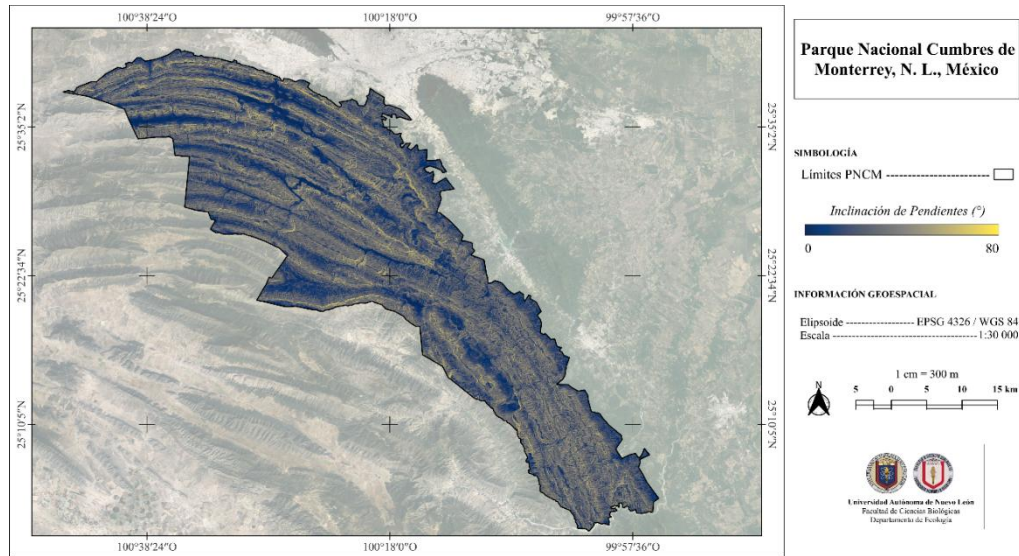


Figura 24. Inclinación de las pendientes en el PNCM.

Correspondiendo a la orientación de las pendientes, se establece el aspecto para cada región del territorio, variable determinante en el establecimiento de vegetación específica en áreas únicas (Figura 25).

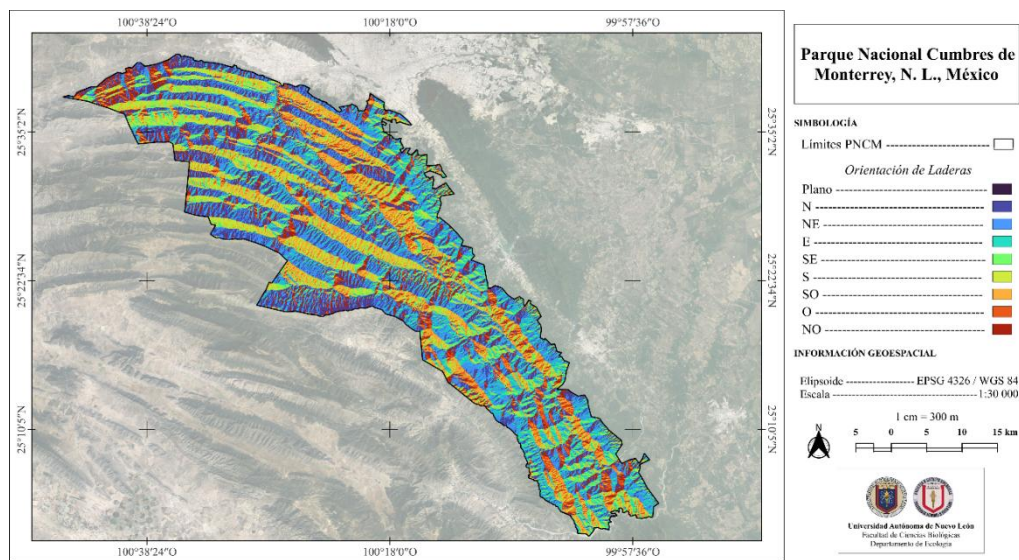


Figura 25. Orientación de laderas en el PNCM.

2.3. Hídricos

La región del Parque Nacional cuenta con los suficientes recursos topográficos y climáticos para disponer de considerables cuerpos hídricos, la mayoría intermitentes más que perennes. Por lo anterior, la distancia máxima registrada de un punto hacia cualquier escorrentía es de solo 1 658.89 m (Figura 26).

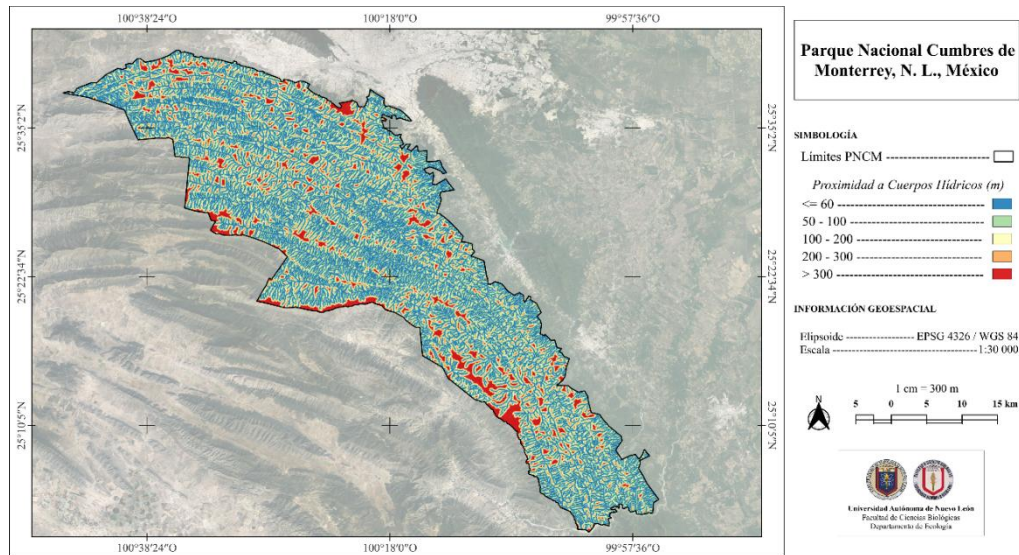


Figura 26. Proximidad a cuerpos hídricos en el PNCM.

2.4. Ecosistémicos

Reiterando la información presentada por las series V – VII del catálogo de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI, se establecen cuatro principales tipos de vegetación al interior del territorio, siendo estos: bosque, matorral desértico, matorral submontano y pastizales. Se anexan además la categoría de asentamientos humanos, de agricultura, y de vegetación secundaria, este último refiriéndose a los ecosistemas en un estado sucesional, donde la vegetación original fue perturbada o maltratada (Figura 27).

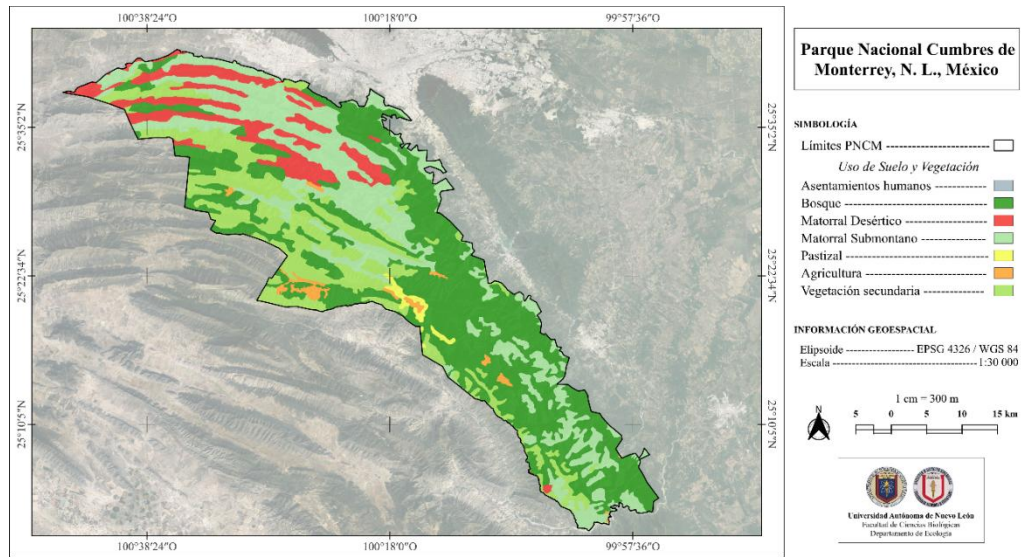


Figura 27. Principales usos y tipos de vegetación en el PNCM.

En cuanto a la reflectancia espectral de la vegetación, se visualiza un dinamismo aparentemente invariable, solamente resaltando un declive ínfimo de los valores en los años 2021 y 2022 (Figura 28).

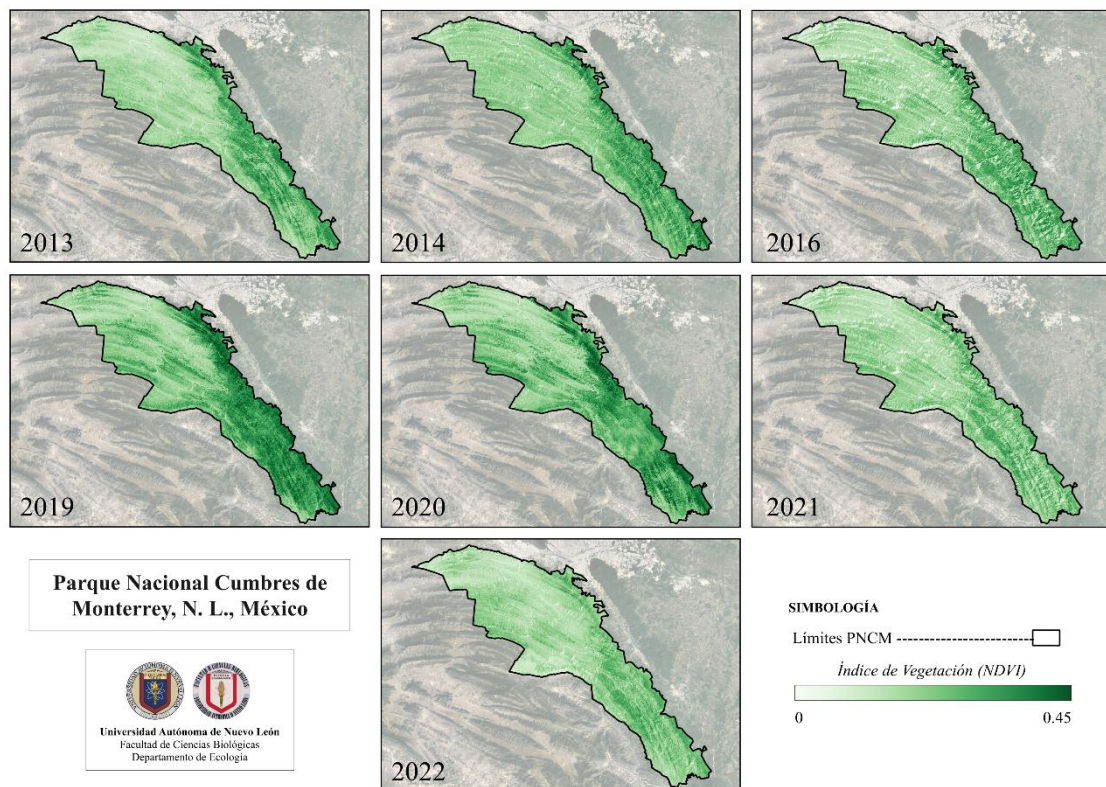


Figura 28. Dinámica de los valores del Índice de Vegetación (NDVI) en el PNCM.

Los valores del índice de vegetación resultan entonces estables en el periodo considerado, manteniéndose aproximadamente entre 0 y 0.5, con un promedio de 0.2 (Figura 29).

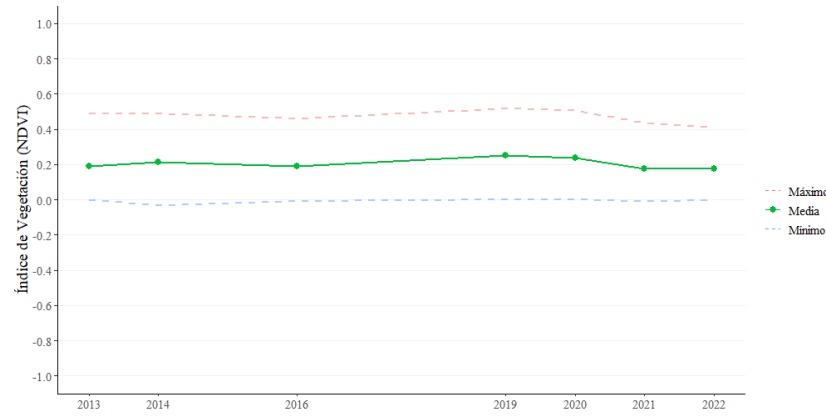


Figura 29. Variación temporal del Índice de Vegetación (NDVI) en el PNCM.

2.5. Demográficos

La dispersión de las localidades presentes en el Parque Nacional permite que la máxima distancia registrada de un área hacia cualquiera de estas sea de 11 861.88 m, estableciéndose densamente al centro-oeste de la región (Figura 30).

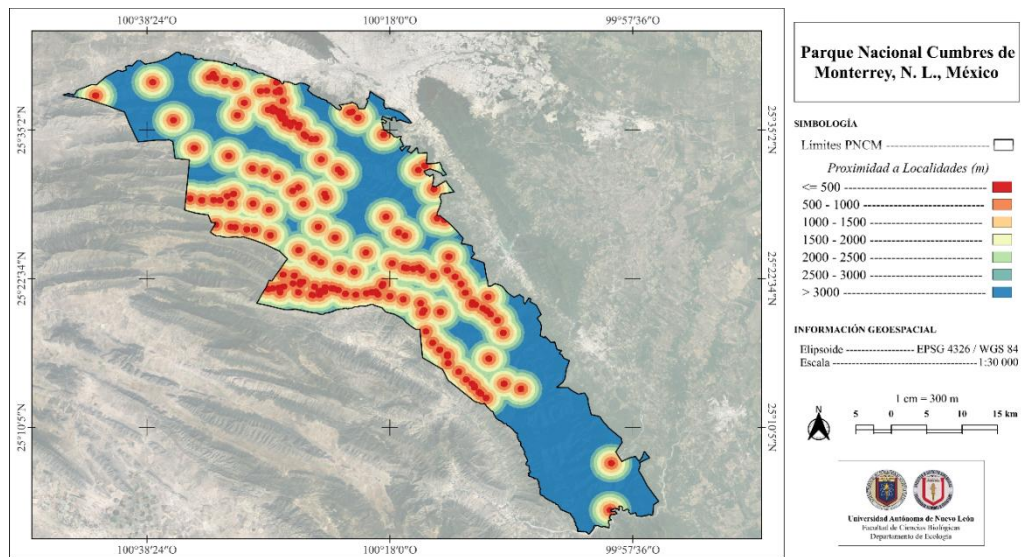


Figura 30. Proximidad a localidades en el PNCM.

En otro sentido, se reconocen hasta el momento 98 rutas de turismo lineales al interior del Parque Nacional (Anexo 10), sin embargo, muchas de estas convergen simultáneamente en sus recorridos una o varias veces con otras rutas (Figura 31). La distancia máxima registrada es de 10 568.38 m.

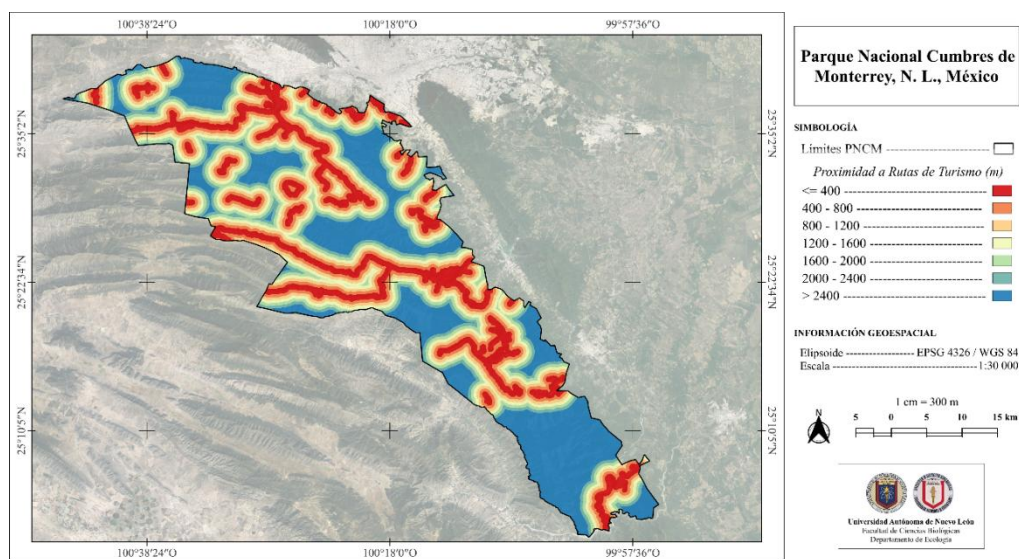


Figura 31. Proximidad rutas de turismo en el PNCM.

3. Bases de datos

De los 4 694 registros recopilados en los catálogos SPPIF y FIRMS resultan siete bases de datos correspondientes a los años considerados en el estudio (Tabla 3).

Tabla 3

Disposición de la información para cada base de datos construida en cada año.

Periodo	Ocurrencias	Pseudo-ausencias	Total
2013	54	54	108
2014	25	25	50
2016	78	78	156
2019	114	114	228
2020	25	25	50
2021	2 744	2 744	5 488
2022	1 641	1 641	3 282
Total			9 362

4. Modelos base y submodelos

4.1. Evaluación estadística del 2013

Se destaca el desempeño de los algoritmos de Árbol de Decisión, Bosques Aleatorios y Refuerzo de Gradientes Extremo, exhibiendo los tres simultáneamente una exactitud del 84.85% (Tabla 4).

Tabla 4

Resultados de evaluación de los mejores candidatos seleccionados para cada modelo en el año 2013.

Submodelo	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
RL_01	0.7576	0.6667	0.6667	0.6667	0.4762	0.4762
AD_01	0.8485*	1.00*	0.5833	0.7368	0.6405	0.6864*
SVM_06	0.8182	0.7143	0.8333*	0.7692	0.6207	0.6257
KNN_11	0.7879	1.00*	0.4167	0.5882	0.4762	0.5590
RM_04	0.7576	0.6667	0.6667	0.6667	0.4762	0.4762
BA_02	0.8485*	0.8182	0.7500	0.7826*	0.6667*	0.6682
XGB_07	0.8485*	0.8889	0.6667	0.7619	0.6541	0.6686

RL = Regresión Logística; AD = Árbol de Decisión; SVM = Máquinas de Vectores Soporte; KNN = k-Vecinos Cercanos; RM = Regresión Multinomial; BA = Bosques Aleatorios; y XGB = Refuerzo de Gradientes Extremo.

4.2. Evaluación estadística del 2014

En este periodo se reconocen a los modelos de Regresión Logística y Multinomial como aquellos con una mejor capacidad de clasificación, considerando la superioridad demostrada en los todos los estadísticos (Tabla 5).

Tabla 5

Resultados de evaluación de los mejores candidatos seleccionados para cada modelo en el año 2014.

Submodelo	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
RL_01	0.9333*	1.00*	0.8889*	0.9412*	0.8649*	0.8729*
AD_01	0.8667	0.8889	0.8889*	0.8889	0.7222	0.7222
SVM_06	0.8000	0.8750	0.7778	0.8235	0.5946	0.6001
KNN_17	0.8667	1.00*	0.7778	0.8750	0.7368	0.7638
RM_01	0.9333*	1.00*	0.8889*	0.9412*	0.8649*	0.8729*
BA_01	0.8667	1.00*	0.7778	0.8750	0.7368	0.7638
XGB_13	0.8667	0.8889	0.8889*	0.8889	0.7222	0.7222

RL = Regresión Logística; AD = Árbol de Decisión; SVM = Máquinas de Vectores Soporte; KNN = k-Vecinos Cercanos; RM = Regresión Multinomial; BA = Bosques Aleatorios; y XGB = Refuerzo de Gradientes Extremo.

4.3. Evaluación estadística del 2016

Se determinan mayores exactitudes de clasificación en los modelos de k-Vecinos Cercanos y Máquinas de Vectores Soporte, contando el par con un 82.98%, sin embargo, es tan solo el primero que destaca en el resto de los estadísticos (Tabla 6).

Tabla 6

Resultados de evaluación de los mejores candidatos seleccionados para cada modelo en el año 2016.

Submodelo	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
RL_01	0.7872	0.75	0.75	0.75	0.5648	0.5648
AD_03	0.7021	0.65	0.65	0.65	0.3907	0.3907
SVM_06	0.8298*	0.7308	0.95*	0.8261*	0.6649*	0.6869*
KNN_23	0.8298*	0.8750*	0.70	0.7778	0.6426	0.6531
RM_01	0.7872	0.7778	0.70	0.7368	0.5591	0.5613
BA_03	0.7660	0.6957	0.80	0.7442	0.5304	0.5348
XGB_03	0.7660	0.68	0.85	0.7556	0.5363	0.5486

RL = Regresión Logística; AD = Árbol de Decisión; SVM = Máquinas de Vectores Soporte; KNN = k-Vecinos Cercanos; RM = Regresión Multinomial; BA = Bosques Aleatorios; y XGB = Refuerzo de Gradientes Extremo.

4.4. Evaluación estadística del 2019

En comparación con las evaluaciones de periodos pasados, en esta solamente se puede denotar un único modelo que destaca sobre los demás considerando su capacidad de clasificación, siendo este el algoritmo de Bosques Aleatorios que cuenta con un 91.30% de exactitud (Tabla 7).

Tabla 7

Resultados de evaluación de los mejores candidatos seleccionados para cada modelo en el año 2019.

Submodelo	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
RL_03	0.8841	0.9333	0.8235	0.8750	0.7677	0.7729
AD_13	0.8551	0.9615*	0.7353	0.8333	0.7091	0.7291
SVM_05	0.8841	0.8421	0.9412*	0.8889	0.7685	0.7737
KNN_07	0.8261	0.8667	0.7647	0.8125	0.6515	0.6560
RM_04	0.8696	0.9032	0.8235	0.8615	0.7387	0.7416
BA_06	0.9130*	0.9375	0.8824	0.9091*	0.8259*	0.8273*
XGB_08	0.8551	0.8750	0.8235	0.8485	0.7098	0.7110

RL = Regresión Logística; AD = Árbol de Decisión; SVM = Máquinas de Vectores Soporte; KNN = k-Vecinos Cercanos; RM = Regresión Multinomial; BA = Bosques Aleatorios; y XGB = Refuerzo de Gradientes Extremo.

4.5. Evaluación estadística del 2020

Nuevamente se distingue la capacidad de clasificación de dos modelos, siendo estos los algoritmos de Máquinas de Vectores Soporte y Refuerzo de Gradientes Extremo, con un 80% de exactitud simultáneamente (Tabla 8).

Tabla 8

Resultados de evaluación de los mejores candidatos seleccionados para cada modelo en el año 2020.

Submodelo	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
RL_01	0.6667	0.70	0.7778	0.7368	0.2857	0.2887
AD_01	0.6667	1.00*	0.4444	0.6154	0.3902	0.4924
SVM_06	0.80*	0.75	1.00*	0.8571*	0.5455	0.6124
KNN_25	0.6667	0.75	0.6667	0.7059	0.3243	0.3273
RM_03	0.6667	0.70	0.7778	0.7368	0.2857	0.2887
BA_01	0.6667	0.70	0.7778	0.7368	0.2857	0.2887
XGB_03	0.80*	1.00*	0.6667	0.8000	0.6154*	0.6667*

RL = Regresión Logística; AD = Árbol de Decisión; SVM = Máquinas de Vectores Soporte; KNN = k-Vecinos Cercanos; RM = Regresión Multinomial; BA = Bosques Aleatorios; y XGB = Refuerzo de Gradientes Extremo.

4.6. Evaluación estadística del 2021

Para el presente periodo puede nombrarse al algoritmo de Refuerzo de Gradiente Extremo como aquel con mejor potencial de clasificación contemplando el valor de exactitud de 80.94%, quedando el modelo de Bosques Aleatorios justo debajo de este con un 80.87% (Tabla 9).

Tabla 9

Resultados de evaluación de los mejores candidatos seleccionados para cada modelo en el año 2021.

Submodelo	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
RL_01	0.6934	0.6992	0.6728	0.6857	0.3866	0.3869
AD_01	0.7383	0.7431	0.7241	0.7335	0.4765	0.4767
SVM_06	0.7523	0.7521	0.7485	0.7503	0.5045	0.5045
KNN_25	0.7705	0.8286*	0.6789	0.7463	0.5405	0.5495
RM_03	0.6922	0.6980	0.6716	0.6845	0.3842	0.3845
BA_01	0.8087	0.8206	0.7875*	0.8037*	0.6174	0.6179
XGB_03	0.8094*	0.8258	0.7814	0.8030	0.6186*	0.6195*

RL = Regresión Logística; AD = Árbol de Decisión; SVM = Máquinas de Vectores Soporte; KNN = k-Vecinos Cercanos; RM = Regresión Multinomial; BA = Bosques Aleatorios; y XGB = Refuerzo de Gradientes Extremo.

4.7. Evaluación estadística del 2022

Se establece, con creces, al modelo de Refuerzo de Gradientes Extremo como el mejor algoritmo de este periodo debido a su potencial de clasificación demostrado en la mayoría de los estadísticos, entre ellos, su exactitud estimada en 86.50% (Tabla 10).

Tabla 10

Resultados de evaluación de los mejores candidatos seleccionados para cada modelo en el año 2022.

Submodelo	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
RL_01	0.7878	0.8281	0.7125	0.7660	0.5739	0.5793
AD_01	0.8122	0.8624	0.7313	0.7914	0.6227	0.6297
SVM_06	0.7787	0.7787	0.7625	0.7705	0.5568	0.5570
KNN_15	0.8315	0.9243*	0.7125	0.8047	0.6608	0.6782
RM_04	0.7848	0.8237	0.7104	0.7629	0.5678	0.5730
BA_02	0.8508	0.9091	0.7708	0.8343	0.7002	0.7081
XGB_17	0.8650*	0.9063	0.8063*	0.8534*	0.7290*	0.7333*

RL = Regresión Logística; AD = Árbol de Decisión; SVM = Máquinas de Vectores Soporte; KNN = k-Vecinos Cercanos; RM = Regresión Multinomial; BA = Bosques Aleatorios; y XGB = Refuerzo de Gradientes Extremo.

5. Importancia de predictores

5.1. Ganancia

Respectivo a la pertinencia y aportaciones únicas de los predictores para el potencial de clasificación de los modelos base entrenados -y, por consiguiente, de los metamodelos-, se describen los resultados tras la aplicación del método de permutación en cada año (Figuras 32 y 33).

Para el 2013, respectivamente, se enfatiza de mayor manera el impacto de las variables hídricas, topológicas y climáticas. Esto se mantiene para los predictores topológicos en el año 2014, desplazando la importancia de la proximidad de cuerpos hídricos para la ocurrencia de incendios en la región. Sin embargo, posterior a estos años se nota una transición en los valores de ganancia de los predictores, atribuyendo ahora mayor importancia a los de carácter demográfico para los años 2016, 2019, 2020 y 2021. Finalmente, para el año 2022, la influencia de la presencia de bosques, la salud vegetal y la proximidad a localidades, se etiquetan como los predictores con mayor importancia para la definición de zonas susceptibles a siniestros.

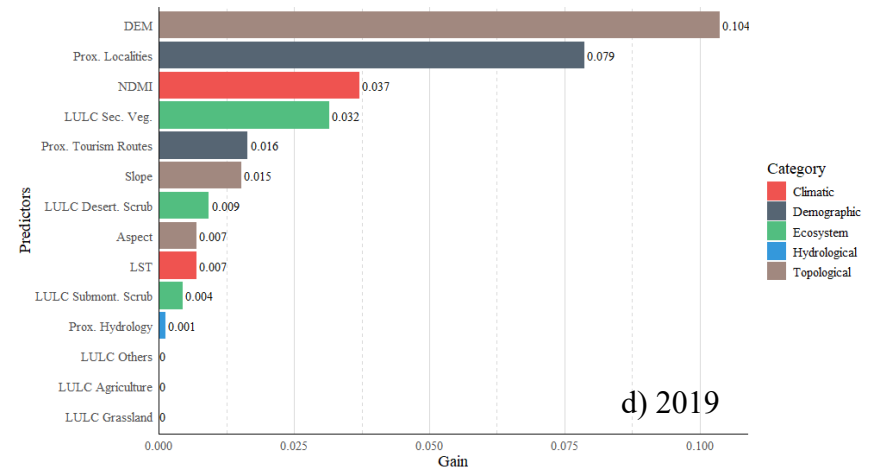
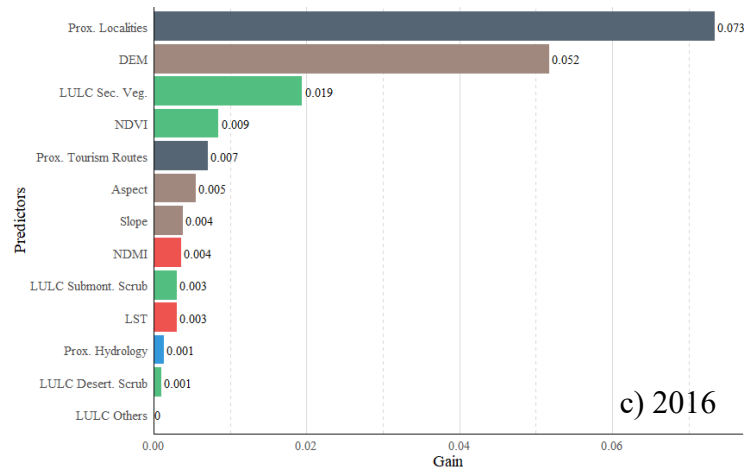
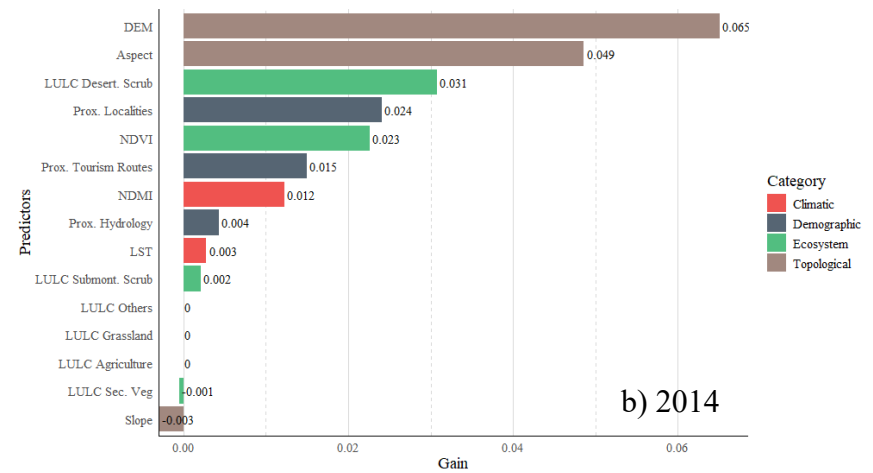
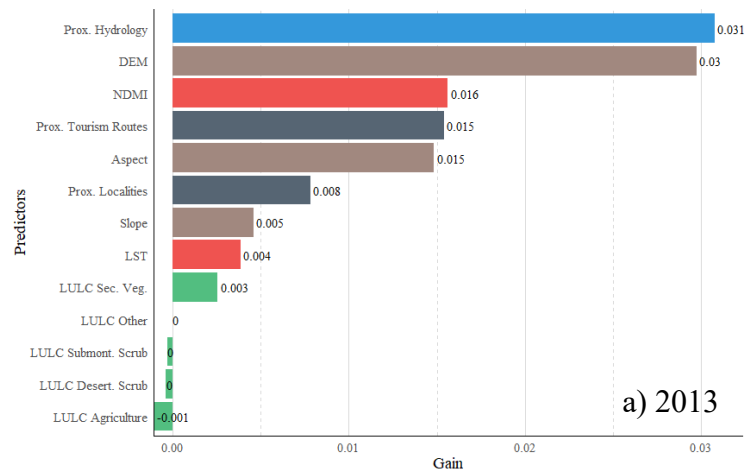
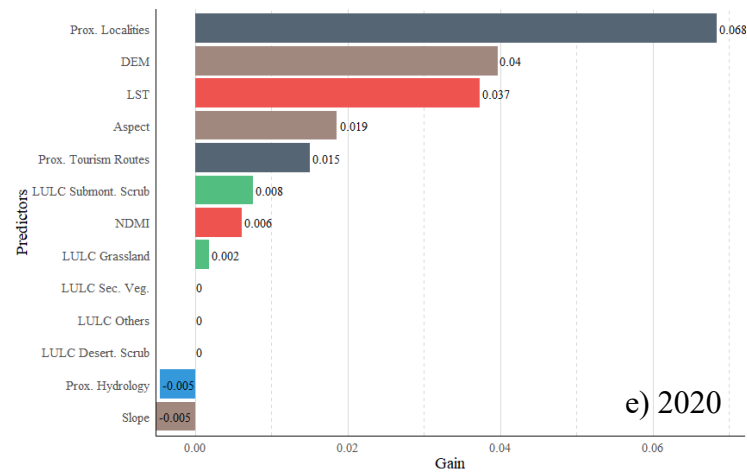
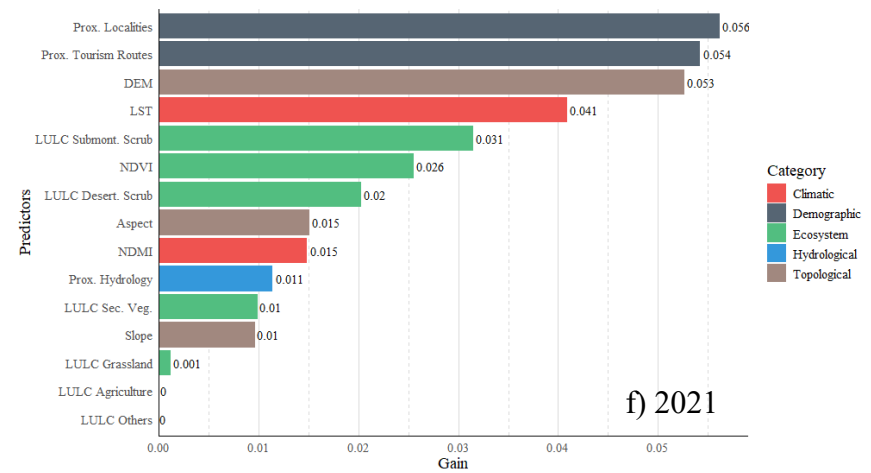


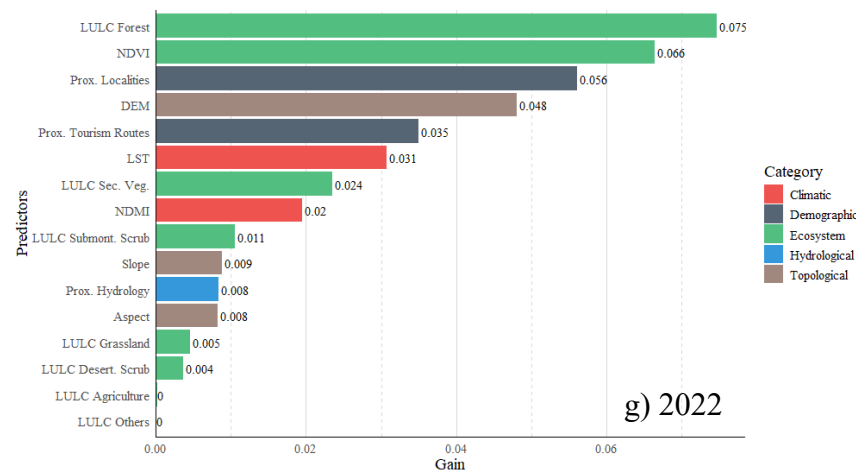
Figura 32. Variación temporal en los valores de aportación en ganancia de los predictores individuales seleccionados por los algoritmos para el entrenamiento de los modelos base desde 2013 a 2019.



e) 2020



f) 2021



g) 2022

Figura 33. Variación temporal en los valores de aportación en ganancia de los predictores individuales seleccionados por los algoritmos para el entrenamiento de los modelos base desde 2020 a 2022.

5.2. Curvas de respuestas de 2013

Destaca el aumento en el riesgo de incendios en las regiones distanciadas de cuerpos hídricos, con elevaciones mayores a 1 000 msnm, y con coberturas de dosel media-baja con estrés hídrico alto o coberturas bajas con estrés hídrico bajo (Figura 34). Lo contrario puede esperarse, además, en zonas encontradas a una distancia de 1 a 2 km de rutas de turismo y con orientación sur.

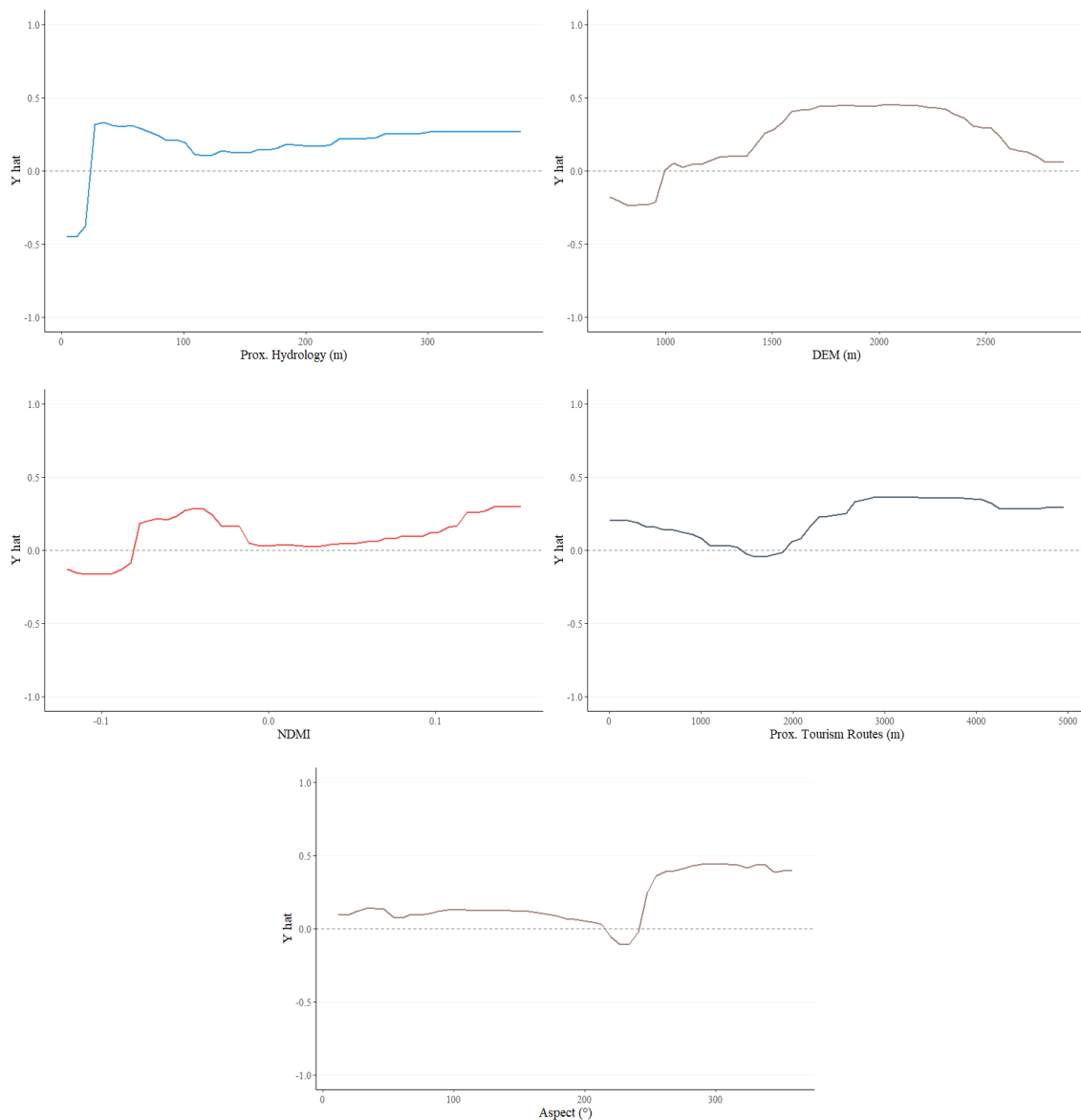


Figura 34. Dependencias parciales únicas para los predictores con mayor importancia en los modelos base del año 2013.

5.3. Curvas de respuestas de 2014

Se establece una mayor susceptibilidad a las zonas con elevaciones bajas hasta los 2 150 msnm con orientación norte-noreste, próximas hasta 2.8 km de localidades humanas y con suelos desnudos o de baja productividad, señalado por la dependencia parcial de los valores del índice de vegetación (Figura 35). La presencia de matorrales desérticos disminuye la probabilidad de ocurrencia de incendios en la región.

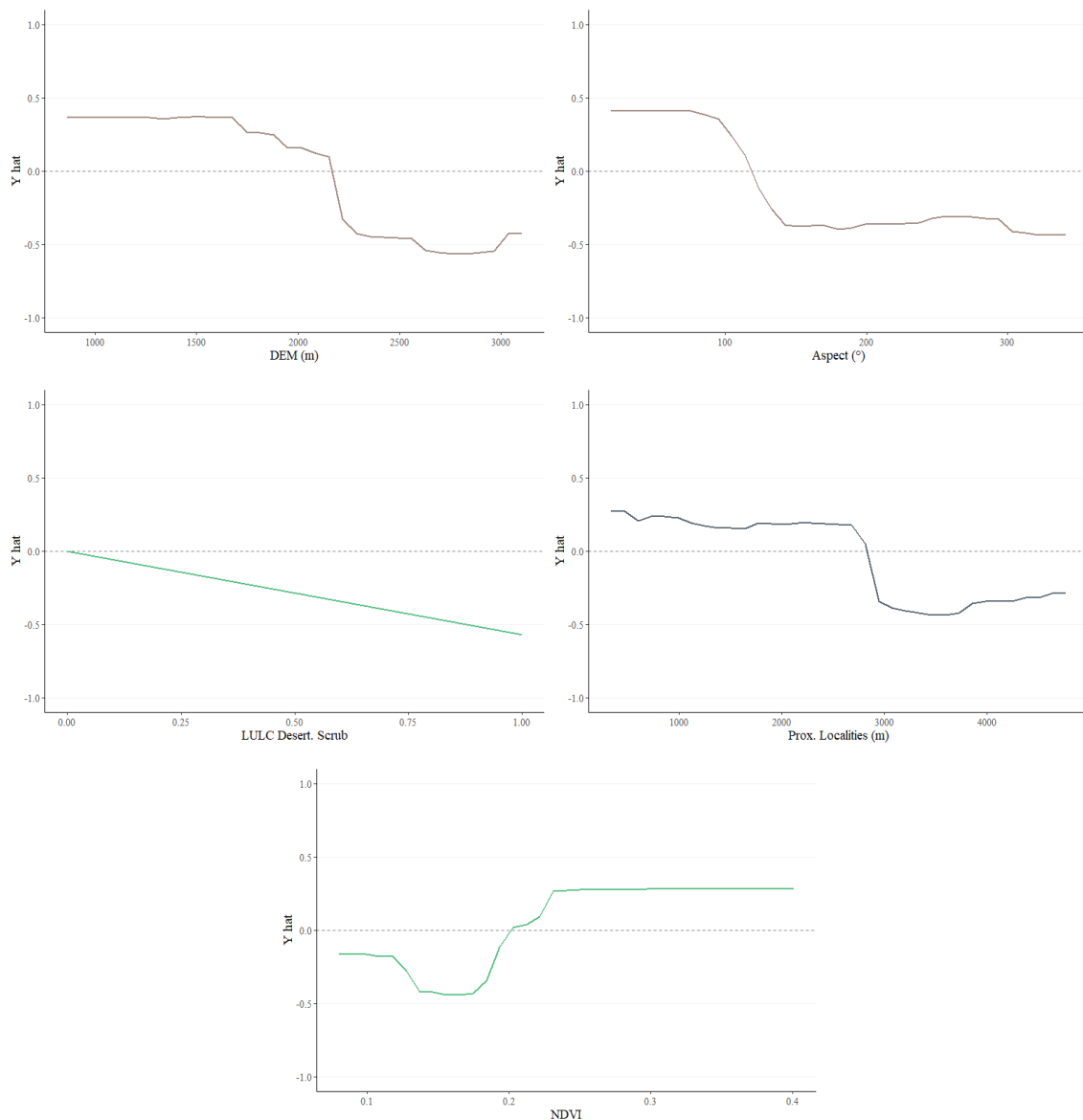


Figura 35. Dependencias parciales únicas para los predictores con mayor importancia en los modelos base del año 2014.

5.4. Curvas de respuestas de 2016

A partir de este periodo se incrementan las ganancias de los predictores demográficos de proximidad a localidades y rutas de turismo, sin embargo, lo anterior no indica necesariamente que la cercanía a estos incremente el riesgo a incendios, evento observado en este año, donde la susceptibilidad es mayor en zonas distanciadas, con elevaciones menores a 1 400 msnm, con presencia de vegetación perturbada y en suelos desnudos o de baja productividad (Figura 36).

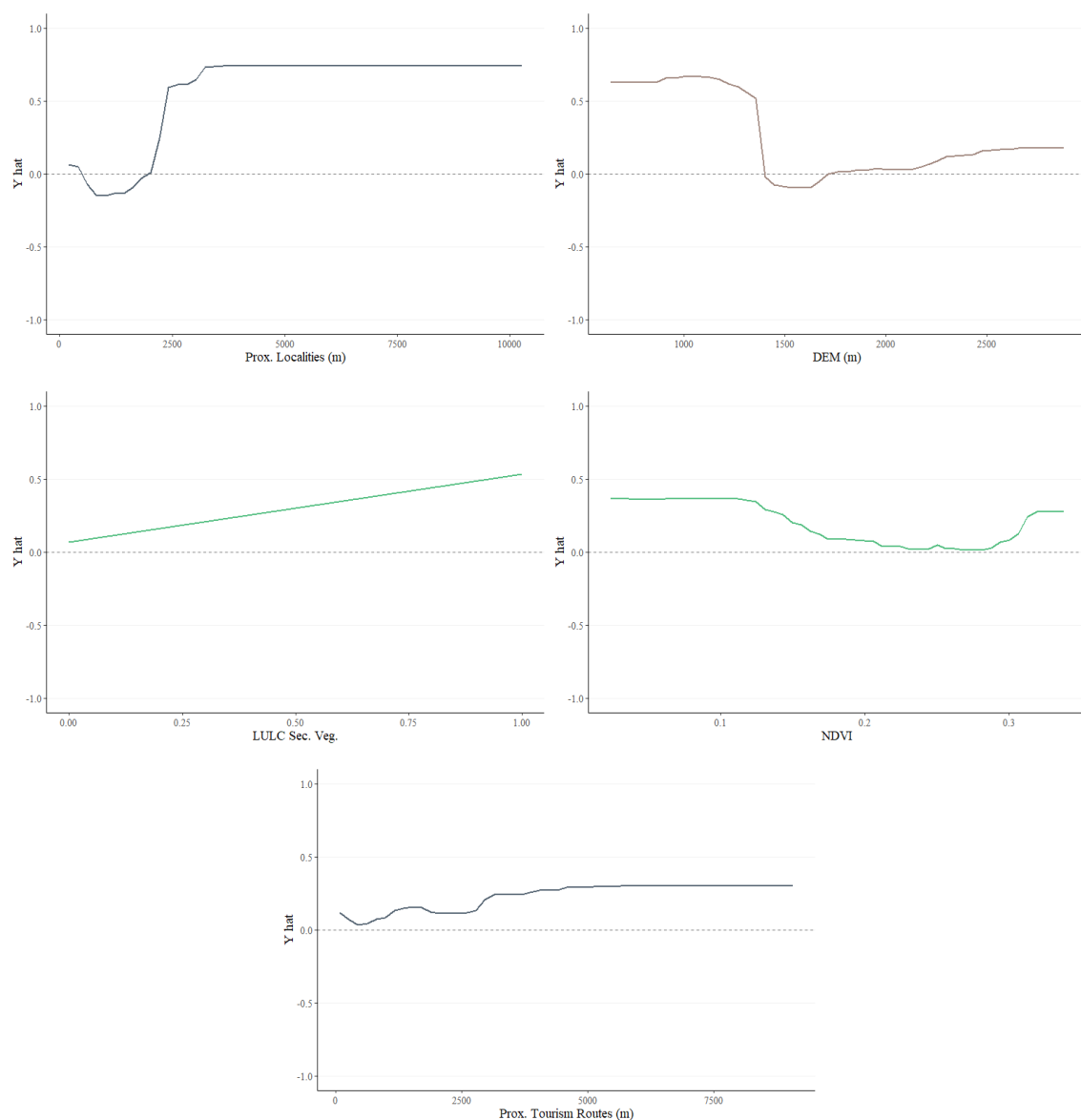


Figura 36. Dependencias parciales únicas para los predictores con mayor importancia en los modelos base del año 2016.

5.5. Curvas de respuestas de 2019

Nuevamente, las zonas con mayor susceptibilidad a incendios son aquellas con elevaciones bajas hasta los 1 700 msnm, distanciadas desde 2.1 km de poblaciones humanas y rutas de turismo, con coberturas de dosel media-baja con estrés hídrico alto o coberturas bajas con estrés hídrico bajo y con presencia de vegetación perturbada en etapa sucesional (Figura 37).

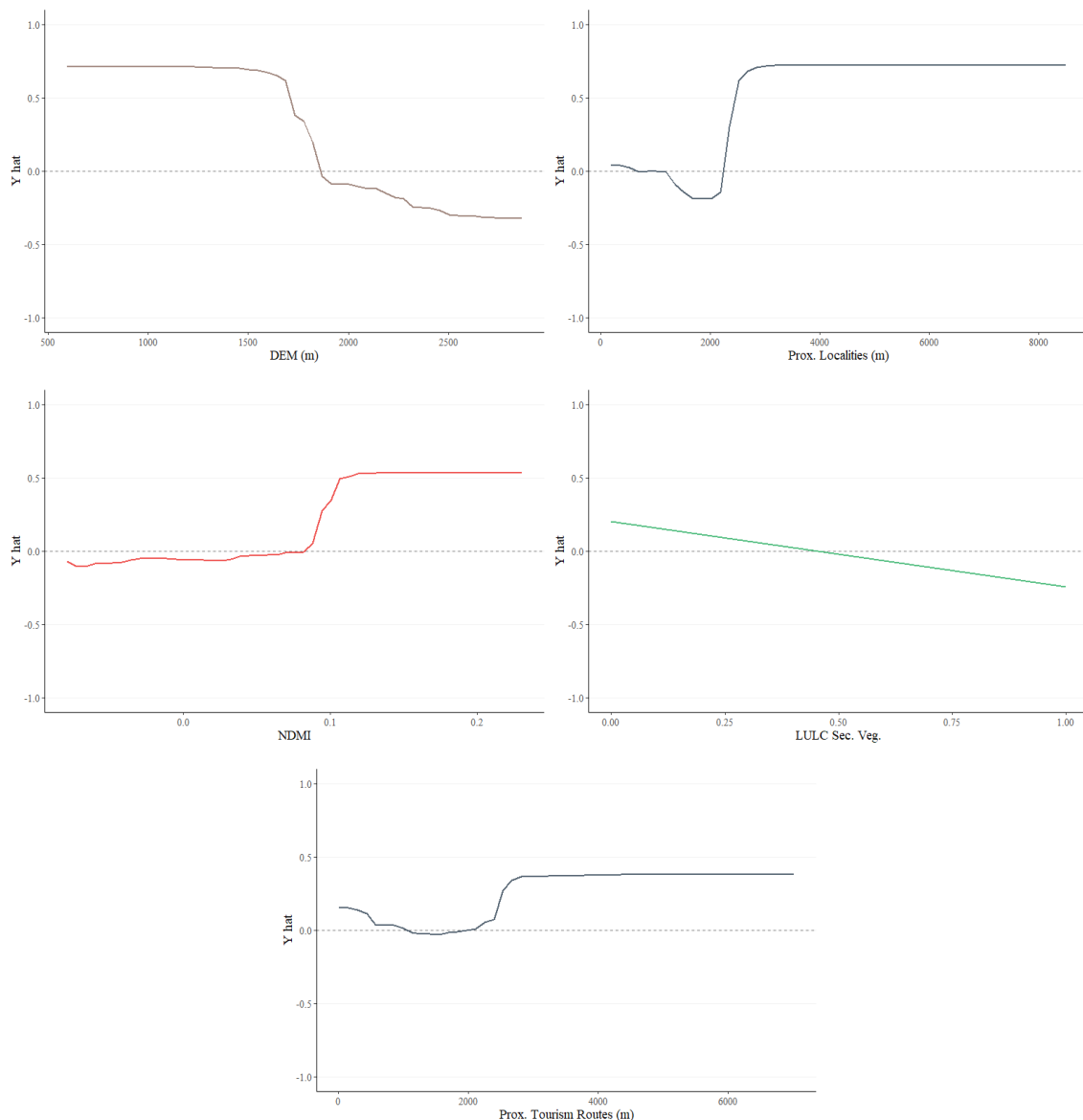


Figura 37. Dependencias parciales únicas para los predictores con mayor importancia en los modelos base del año 2019.

5.6. Curvas de respuestas de 2020

Similar al argumento mencionado en el periodo anterior, la proximidad a localidades humanas disminuye el riesgo de incendios en el territorio, aun así, esto no se mantiene para las regiones extremadamente cercanas a rutas de turismo (Figura 38). Simultáneamente, el riesgo incrementa en zonas con elevaciones bajas hasta 1 400 msnm, con temperaturas superficiales del suelo superiores a 32° C y de orientación norte-este.

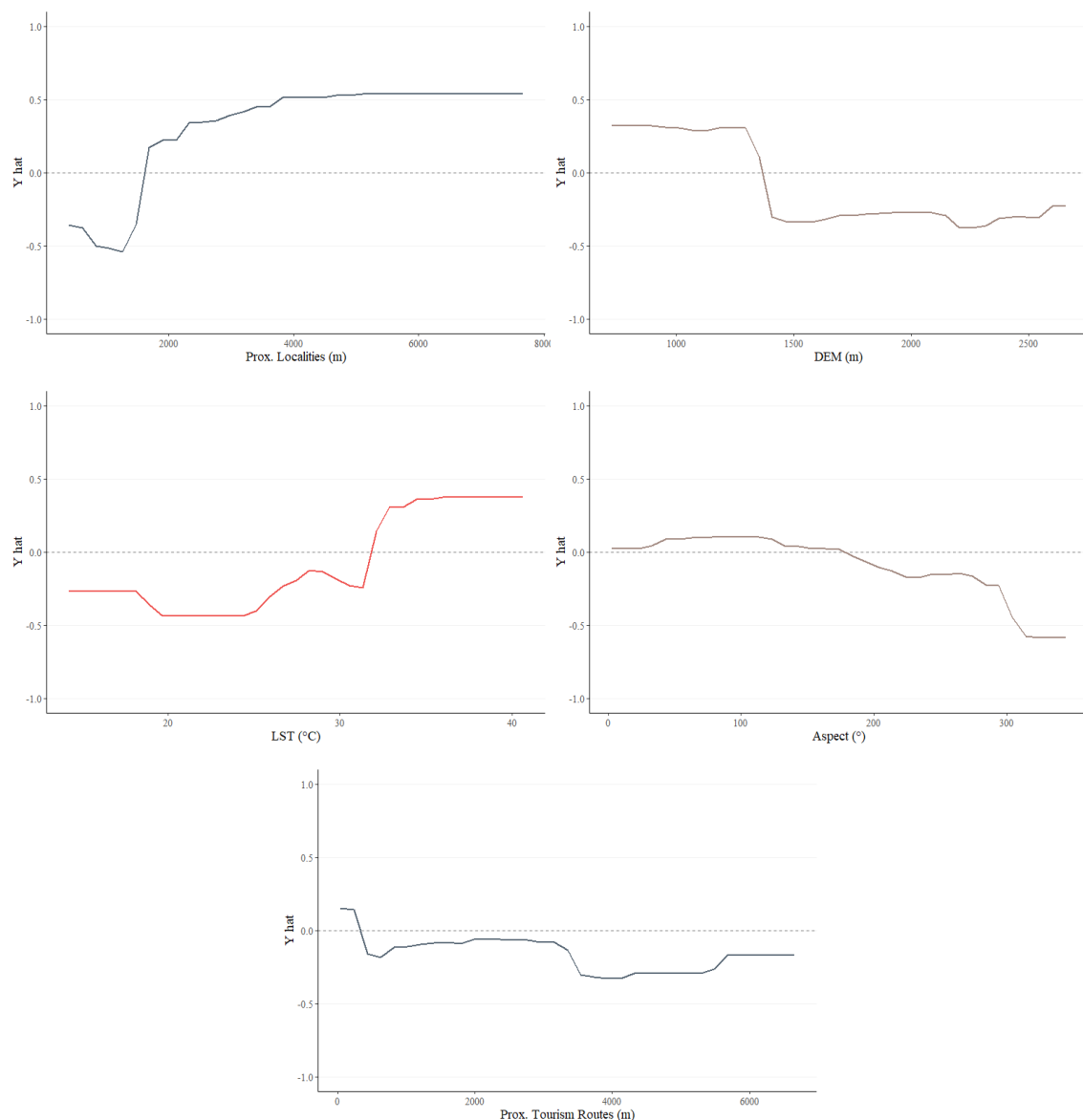


Figura 38. Dependencias parciales únicas para los predictores con mayor importancia en los modelos base del año 2020.

5.7. Curvas de respuestas de 2021

Antagonizando al paradigma que se seguía en las etapas pasadas, el impacto de la proximidad a poblaciones humanas y rutas de turismo muestra una transición, en la cual, las zonas cercanas hasta ~4 km a estas variables registran un incremento en el riesgo de incendios (Figura 39). Igualmente persiste en las regiones de elevaciones menores a 1 700 msnm, con temperaturas entre 9 y 20° C, y con presencia de matorral desértico.

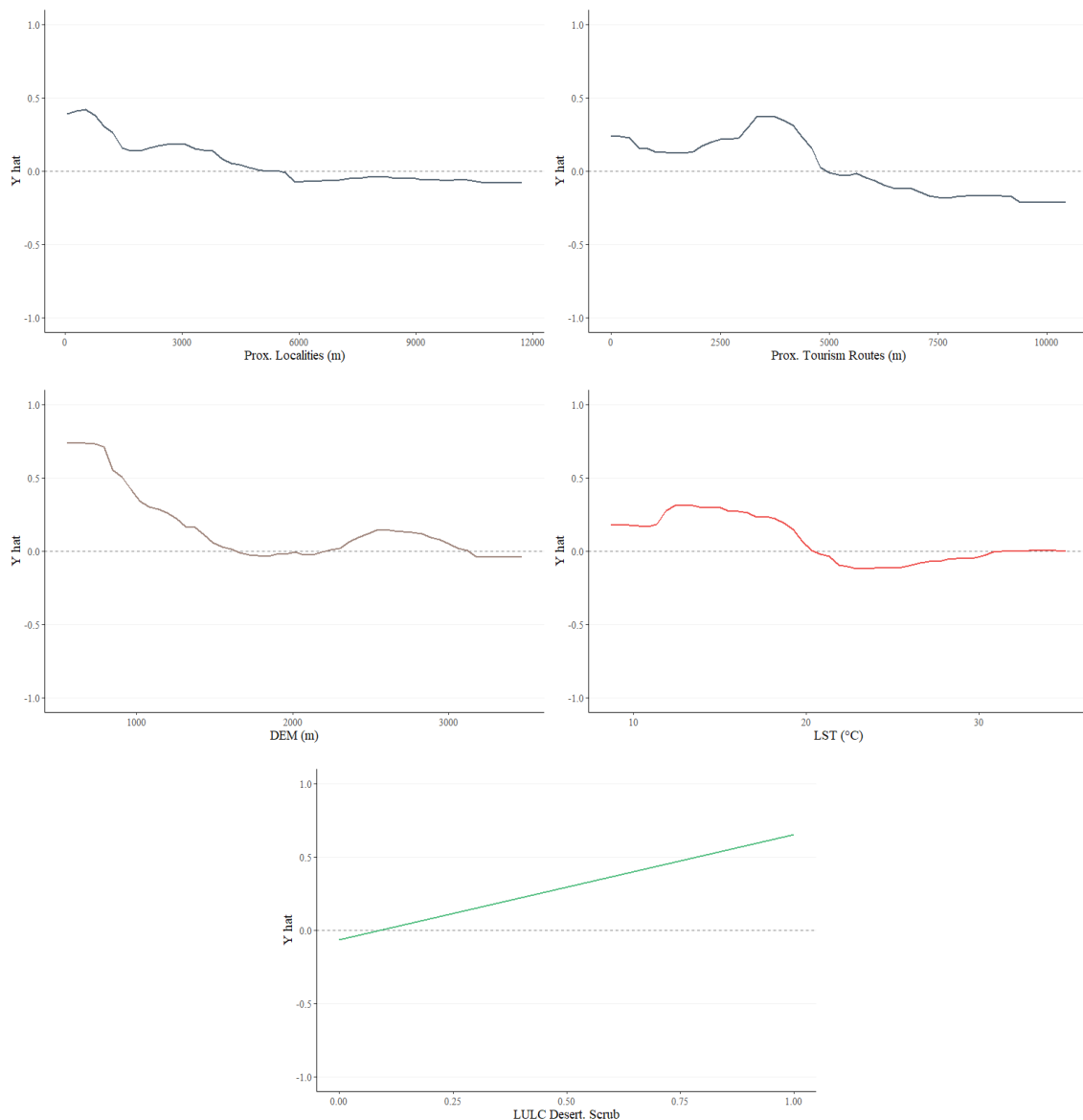


Figura 39. Dependencias parciales únicas para los predictores con mayor importancia en los modelos base del año 2021.

5.8. Curvas de respuestas de 2022

Por vez única, el riesgo de ocurrencia de incendios incrementa considerablemente en zonas forestales, además de suelos desnudos o con baja productividad. La susceptibilidad incrementa gradualmente conforme aumente la distancia a localidades y rutas de turismo, y similarmente en las regiones con elevaciones entre 0 a 1 000 msnm y mayores a 2 500 msnm (Figura 40).

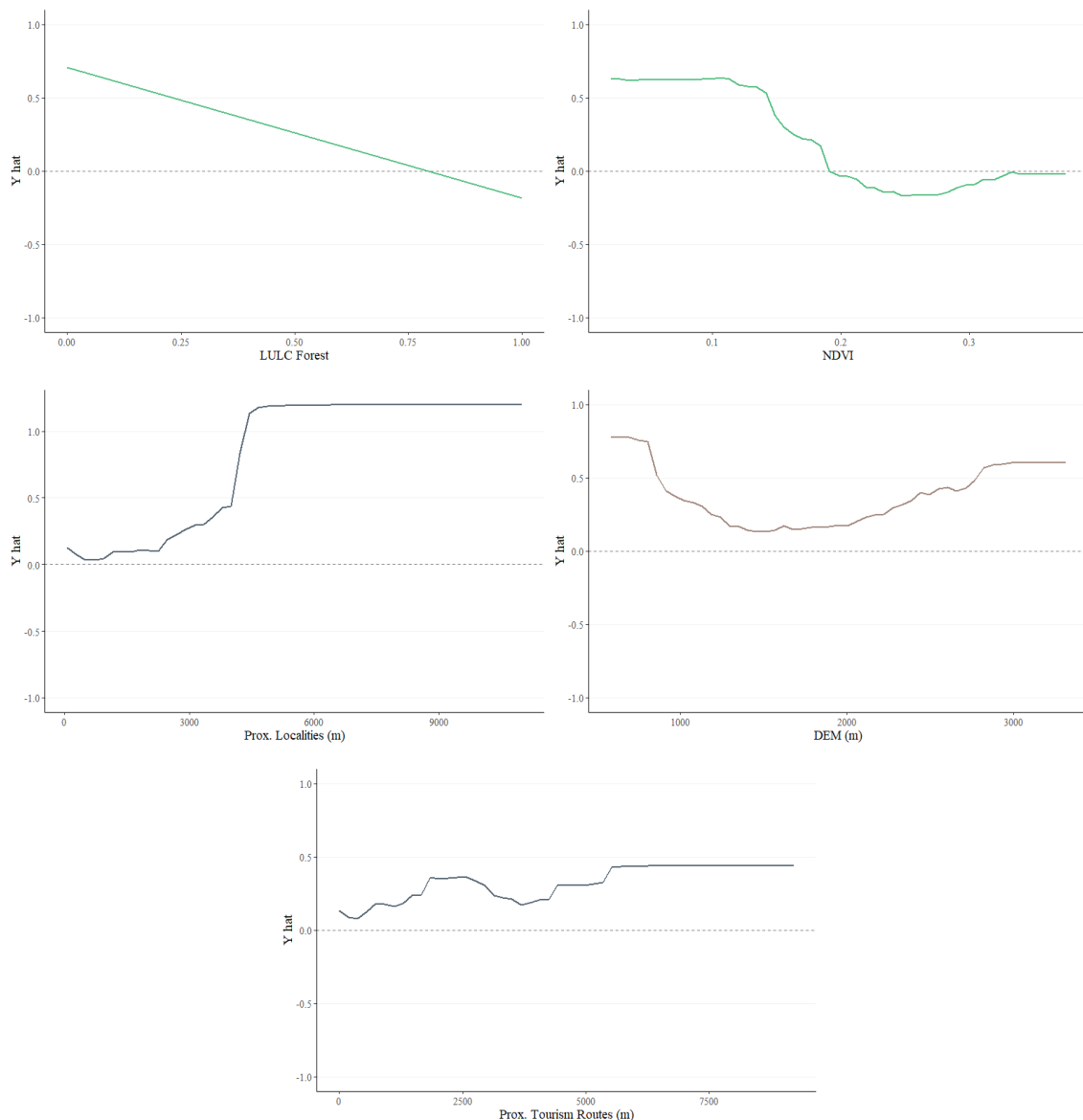


Figura 40. Dependencias parciales únicas para los predictores con mayor importancia en los modelos base del año 2022.

6. Metamodelos

Contemplando las evaluaciones de los mejores submodelos candidatos para cada periodo se establece el entrenamiento y práctica de los arquetipos de regresión logística a través de la función *logistic_reg* de la librería *glmnet*, con un valor de 0.1 y 0.5 para los argumentos *penalty* y *mixture*, respectivamente.

6.1. Metamodelo del 2013

Se enmascaran los efectos de los modelos de Regresión Logística y Multinomial atribuyéndoles un coeficiente 0, simultáneamente atribuyendo valores más altos a los algoritmos de Máquinas Vectores de Soporte, Refuerzo de Gradientes Extremo y Árbol de Decisión (Tabla 11).

Tabla 11

Determinación de coeficientes de cada modelo para el establecimiento del metamodelo del año 2013.

	Intersección	RL	AD	SVM	KNN	RM	BA	XGB
Coefficiente	-1.05	0.00	0.36	0.95	0.18	0.00	0.18	0.44

Compensando las áreas de oportunidad singulares de cada modelo base instituido, el metamodelo supera a los anteriores en las evaluaciones de los estadísticos (Tabla 12).

Tabla 12

Resultados de evaluación del metamodelo construido para el año 2013.

	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
Metamodelo	0.9091	1.00	0.75	0.8571	0.7925	0.8101

6.2. Metamodelo del 2014

Nuevamente se enmascaran los efectos del modelo de Regresión Logística atribuyéndole un coeficiente 0, además de atenuar al modelo de Bosques Aleatorios con un valor de 0.01. Se disponen valores más altos a los algoritmos de Refuerzo de Gradientes Extremo, Máquinas de Vectores Soporte y Regresión Multinomial (Tabla 13).

Tabla 13

Determinación de coeficientes de cada modelo para el establecimiento del metamodelo del año 2014.

	Intersección	RL	AD	SVM	KNN	RM	BA	XGB
Coeficiente	-1.50	0.00	0.31	0.81	0.30	0.69	0.01	0.94

El metamodelo apenas supera a los modelos base establecidos, quedando por detrás de los algoritmos de Regresión Logística y Multinomial, y al mismo nivel que el Árbol de Decisión y el Refuerzo de Gradientes Extremo (Tabla 14).

Tabla 14

Resultados de evaluación del metamodelo construido para el año 2014.

	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
Metamodelo	0.8667	0.8889	0.8889	0.8889	0.7222	0.7222

6.3. Metamodelo del 2016

Se eliminan los productos de los modelos de Regresión Logística, Regresión Multinomial y Bosques Aleatorios, incrementando simultáneamente los valores de Máquinas de Vectores Soporte y Refuerzo de Gradientes Extremo (Tabla 15).

Tabla 15

Determinación de coeficientes de cada modelo para el establecimiento del metamodelo del año 2016.

	Intersección	RL	AD	SVM	KNN	RM	BA	XGB
Coeficiente	-2.02	0.00	0.65	1.48	0.63	0.00	0.00	0.76

El metamodelo excede el potencial de la mayoría de los modelos base establecidos, únicamente empatando en el mismo nivel con el algoritmo de Máquinas de Vectores Soporte (Tabla 16).

Tabla 16

Resultados de evaluación del metamodelo construido para el año 2016.

	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
Metamodelo	0.8298	0.75	0.90	0.8182	0.6606	0.6704

6.4. Metamodelo del 2019

En este periodo, en contraposición con las etapas anteriores, el metamodelo no enmascara los efectos de ningún modelo base, considerándolos en su totalidad, aunque en magnitudes desiguales (Tabla 17).

Tabla 17

Determinación de coeficientes de cada modelo para el establecimiento del metamodelo del año 2019.

	Intersección	RL	AD	SVM	KNN	RM	BA	XGB
Coefficiente	-2.38	0.24	0.72	0.93	0.55	0.49	0.64	1.08

Se antepone de nuevo la capacidad de clasificación del metamodelo que supera en sus estadísticos a los modelos base establecidos, compensando las debilidades singulares de cada uno de ellos (Tabla 18).

Tabla 18

Resultados de evaluación del metamodelo construido para el año 2019.

	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
Metamodelo	0.9130	0.9667	0.8529	0.9063	0.8258	0.8314

6.5. Metamodelo del 2020

Para su establecimiento, se enmascaran los efectos del algoritmo de Bosques Aleatorios, mientras que a los modelos de Máquinas de Vectores Soporte, Regresión Multinomial y k-Vecinos Cercanos se les otorgan coeficientes mayores (Tabla 19).

Tabla 19

Determinación de coeficientes de cada modelo para el establecimiento del metamodelo del año 2020.

	Intersección	RL	AD	SVM	KNN	RM	BA	XGB
Coefficiente	-2.25	0.49	0.08	1.34	0.83	0.89	0.00	0.50

A pesar de presentar una mejora en el potencial de clasificación, el metamodelo aún mantiene un desempeño menor al presentado por los algoritmos de Máquinas de Vectores Soporte y Refuerzo de Gradientes Extremo (Tabla 20).

Tabla 20*Resultados de evaluación del metamodelo construido para el año 2020.*

	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
Metamodelo	0.7333	0.7778	0.7778	0.7778	0.4444	0.4444

6.6. Metamodelo del 2021

Similar al diseño del metamodelo de 2013, se enmascaran los efectos de los algoritmos de Regresión Logística y Multinomial atribuyéndoles un coeficiente 0 y, de manera contraria, se elevan los valores de los modelos de Refuerzo de Gradientes Extremo (Tabla 21).

Tabla 21*Determinación de coeficientes de cada modelo para el establecimiento del metamodelo del año 2021.*

	Intersección	RL	AD	SVM	KNN	RM	BA	XGB
Coefficiente	-1.55	0.00	0.19	0.54	0.64	0.00	0.55	0.94

El metamodelo de este periodo mejora en su capacidad de clasificación contrastando con la mayoría de los modelos base, siendo superado de manera única por el algoritmo de Bosques Aleatorios (Tabla 22).

Tabla 22*Resultados de evaluación del metamodelo construido para el año 2021.*

	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
Metamodelo	0.7790	0.7725	0.7875	0.7799	0.5580	0.5581

6.7. Metamodelo del 2022

No se excluye ni atenúa el aporte de ningún modelo base establecido, por lo cual se les otorgan valores de coeficientes que representen la ganancia ante el diseño del metamodelo construido (Tabla 23).

Tabla 23*Determinación de coeficientes de cada modelo para el establecimiento del metamodelo del año 2022.*

	Intersección	RL	AD	SVM	KNN	RM	BA	XGB
Coefficiente	-2.04	0.14	0.34	0.53	0.64	0.15	0.59	1.08

Considerando la evaluación de sus estadísticos, el diseño de metamodelo para esta etapa propone una mejora en la capacidad de clasificación al compararse con la mayoría de los modelos base, quedando justo por detrás del algoritmo de Refuerzo de Gradientes Extremo (Tabla 24).

Tabla 24*Resultados de evaluación del metamodelo construido para el año 2022.*

	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Kappa	CCM
Metamodelo	0.8609	0.8979	0.8063	0.8496	0.7209	0.7246

7. Vulnerabilidad a incendios

En etapas basales, tras la aplicación del metamodelo virtual al ambiente real del Parque Nacional, el territorio susceptible categorizado aparenta una distribución espacial homogénea en la región donde la probabilidad de ocurrencia de incendios podría atribuirse en mayor parte a sucesos estocásticos, sin embargo, partiendo del año 2016 se distinguen aglomeraciones de alta susceptibilidad al centro de la región (Figura 41).

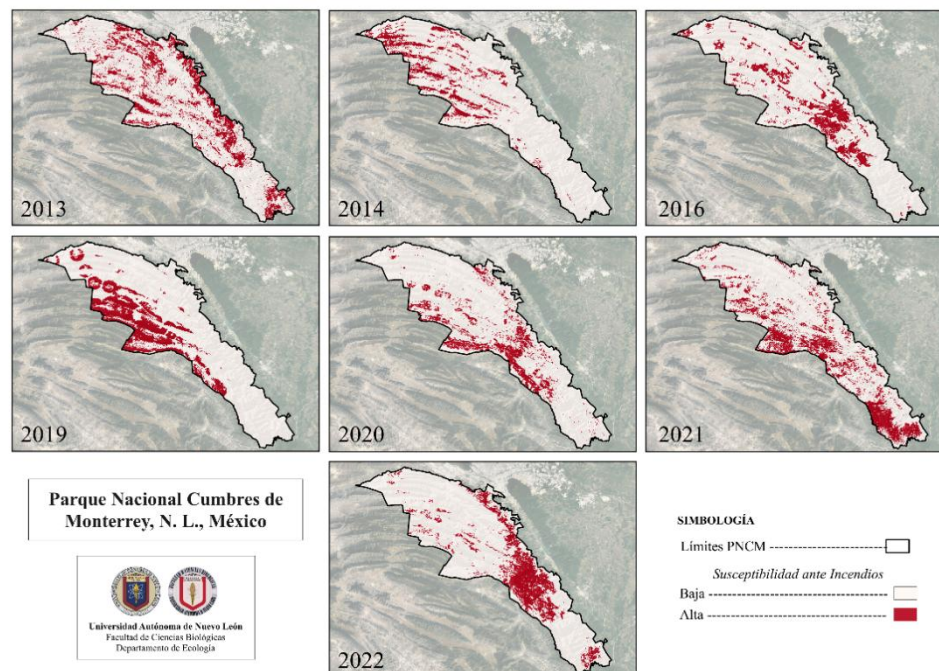


Figura 41. *Susceptibilidad ante incendios al interior del PNCM.*

Igualmente, se logran distinguir las dimensiones específicas de territorio susceptibles a incendios en los diversos periodos establecidos (Tabla 25).

Tabla 25

Extensión de las áreas susceptibles al interior del PNCM en cada periodo.

Periodo	Área susceptible (km ²)
2013	422.42
2014	228.57
2016	261.19
2019	354.04
2020	252.47
2021	387.47
2022	320.66

8. Evaluación espacial

Acoplando las clasificaciones únicas de todos los periodos en una sola capa de información se establece la permanencia de los sitios susceptibles del Parque Nacional a lo largo de los años (Figura 42).

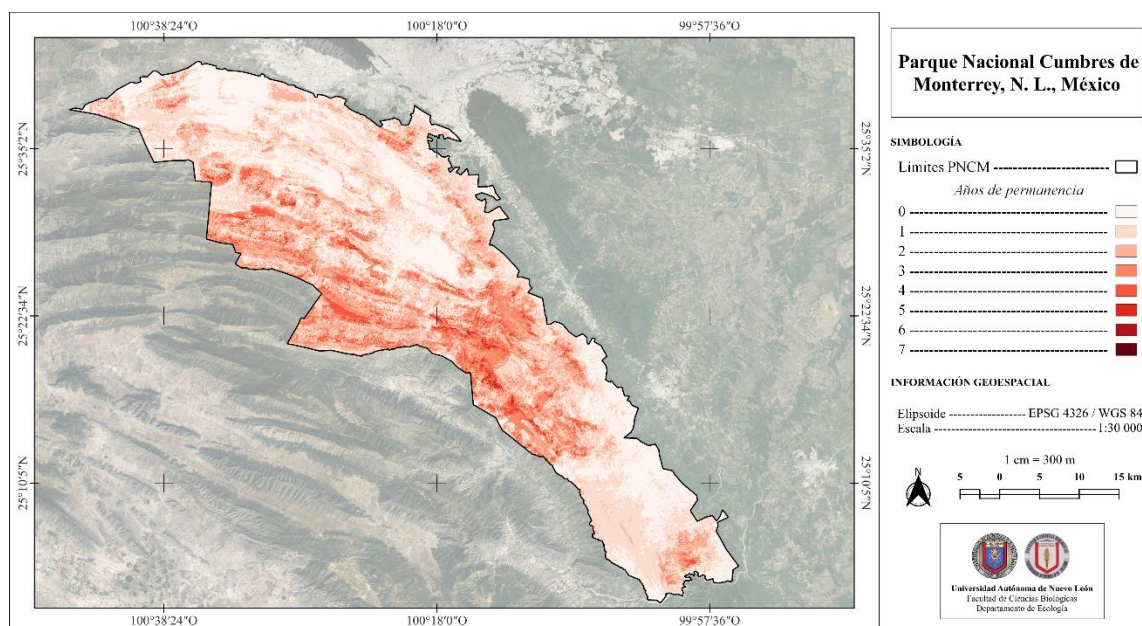


Figura 42. Permanencia de sitios susceptibles ante incendios al interior del PNCM.

Es a través de este producto que se consolidan de mejor manera los sitios con alta vulnerabilidad ante la ocurrencia de incendios en el PNCM y su extensión específica, atribuyendo un nivel artificial de vulnerabilidad respectivo a cada sitio según este valor de permanencia (Tabla 26).

Tabla 26

Niveles de vulnerabilidad establecidos por año de permanencia y extensión al interior del PNCM.

Años de permanencia	Vulnerabilidad	Área (km ²)
0	Nula	542.94
1	Muy baja	610.60
2	Baja	351.40
3	Moderadamente baja	195.64
4	Moderada	64.70
5	Moderadamente alta	10.86
6	Alta	1.50
7	Muy alta	0.05
Total		1 778.70

Por lo tanto, se delimitan cinco subzonas prioritarias al interior del Parque Nacional para la implementación de métodos de control y prevención de siniestros.

8.1. Subzona 1

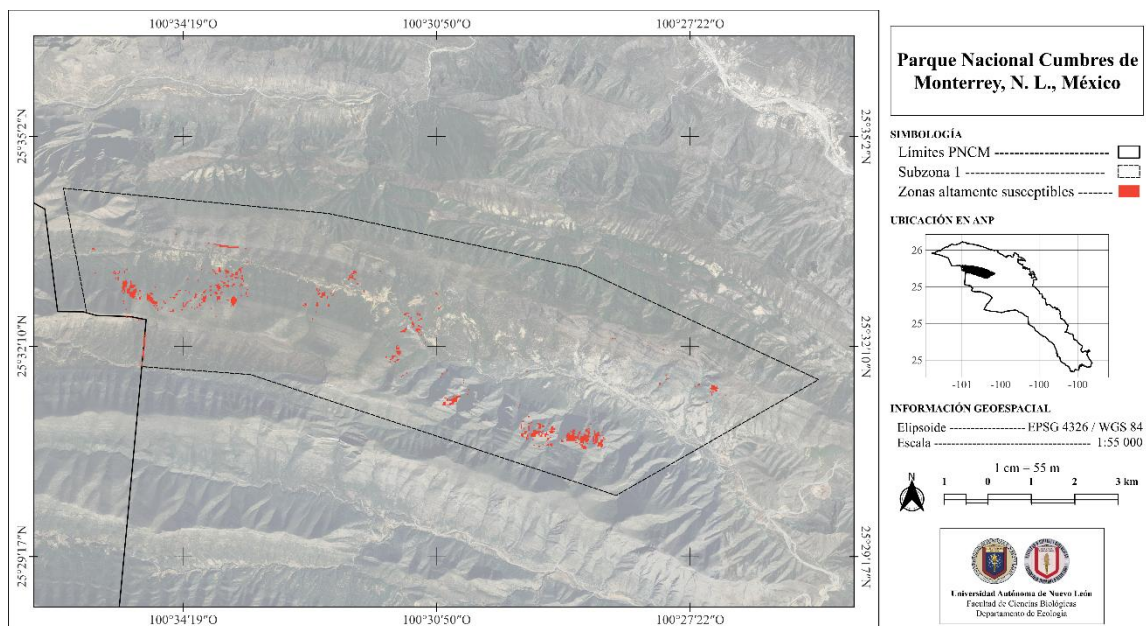


Figura 43. Subzona 1 para la propuesta de estrategias de prevención de incendios en el PNCM.

Descripción del sitio

- Topología:** Perímetro de 40.98 km
Área de 69.83 km²
- Fisiografía:** Concentración de zonas de alta susceptibilidad en las laderas sur y suroeste del anticlinal Agua del Toro, ubicado por debajo del anticlinal Los Nuncios y el pliegue Las Comitas, y por encima del pliegue San Cristóbal y del anticlinal San Lucas; además, en las laderas norte y noreste de este último.
- Climatología:** Tipo de clima templado subhúmedo predominante [C(w1)]; semiárido templado [BS1k(x')] y semiárido semicálido [BS1hw] en menor extensión al oeste y al este de la región, respectivamente.
- Vegetación:** Presencia de matorral desértico rosetófilo, bosque de pino y bosque de encino-pino.
- Demografía:** Los sitios más sobresalientes de la región son los pueblos Llanitos (Mesa de la Cruz), y Canoas, y el rancho Agua Blanca de propiedad privada.
- Turismo:** Actividades de senderismo, montañismo, paisajismo, camping, rutas *off-road* (exploración con vehículos todoterreno) y renta de cabañas.

8.2. Subzona 2

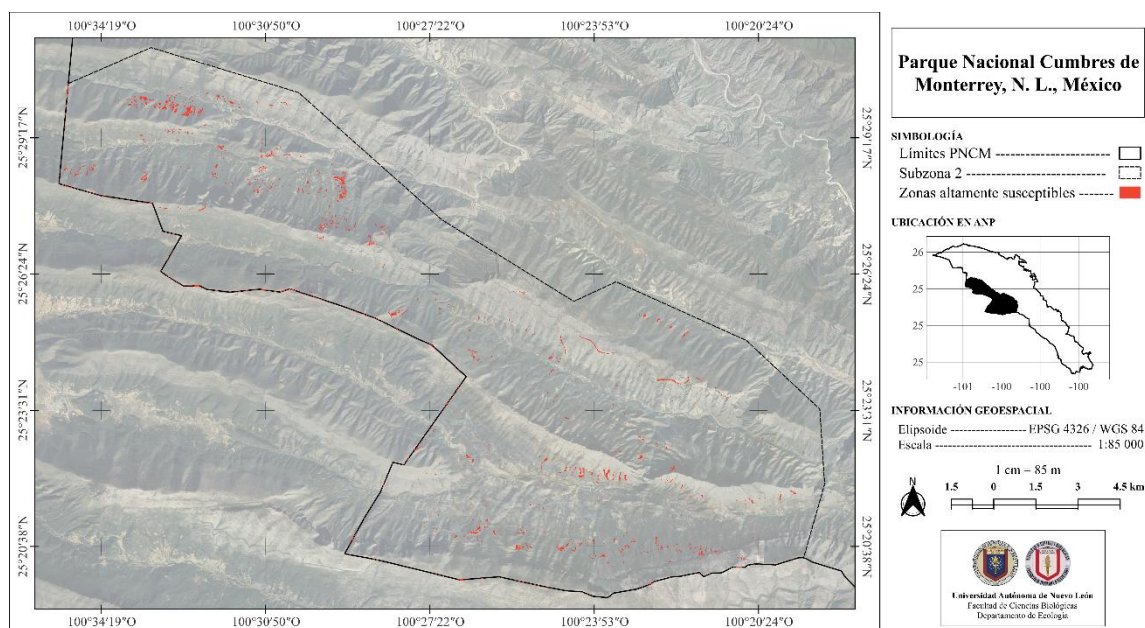


Figura 44. Subzona 2 para la propuesta de estrategias de prevención de incendios en el PNCM.

Descripción del sitio

Topología: Perímetro de 86.36 km

Área de 245.14 km²

Fisiografía: Zonas de alta susceptibilidad repartidas en las laderas sur-suroeste del anticlinal San Juan Bautista, y en las laderas del anticlinal El Chorro, ambos ubicados por debajo del anticlinal San Lucas y el pliegue San Cristóbal, y por encima del anticlinal Potrero de Abrego; además, encontradas en las laderas norte-noreste de este último.

Climatología: Tipo de clima templado subhúmedo [C(w1)] predominante; semiárido templado [BS1k(x')] y semicálido subhúmedo [(A)C(w1)] en menor extensión.

Vegetación: Presencia de bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque de ayarín, matorral submontano, y agricultura de riego anual, de temporal anual, y de temporal anual y semipermanente.

Demografía: Los sitios más sobresalientes de la región son los pueblos San Antonio de la Osamenta, Santa Cruz, Agua Fría, San José de las Boquillas y San Sebastián.

Turismo: Actividades de senderismo, paisajismo, rapel, montañismo, camping, tours en helicóptero, renta de cabañas; próxima a varios ejes viales principales.

8.3. Subzona 3

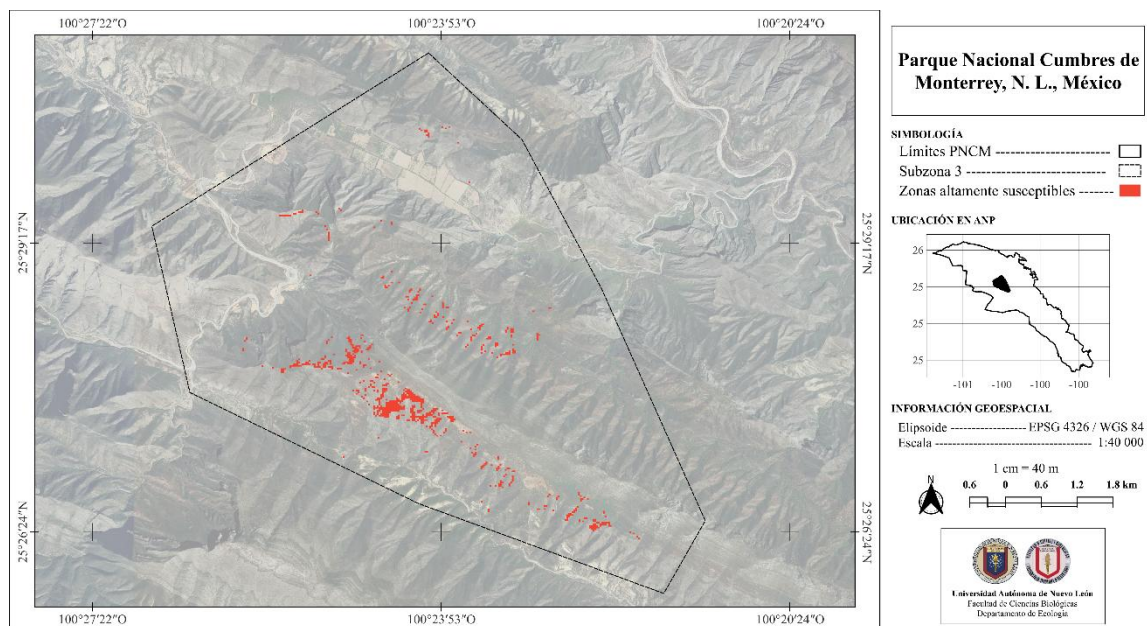


Figura 45. Subzona 3 para la propuesta de estrategias de prevención de incendios en el PNCM.

Descripción del sitio

- Topología:** Perímetro de 28.88 km
Área de 50.78 km²
- Fisiografía:** Zonas de alta susceptibilidad repartidas en las laderas del pliegue San Cristóbal, ubicado por debajo del anticlinal Agua del Toro y por encima del anticlinal San Juan Bautista.
- Climatología:** Tipos de climas semicálido subhúmedo [(A)C(wo)] y templado subhúmedo [C(w1)] predominantes en la región; semiárido semicálido [BS1hw] y semicálido subhúmedo [(A)C(w1)] en menor extensión.
- Vegetación:** Presencia de matorral submontano, matorral desértico rosetófilo, bosque de pino, bosque de encino, bosque de encino-pino y agricultura de temporal anual.
- Demografía:** Los sitios más sobresalientes de la región son el pueblo Rincón Grande, el ejido El Pajonal y el rancho Arizpe Cabaña.
- Turismo:** Únicamente actividades de paisajismo, no se refieren otras actividades, rutas o la presencia de cabañas para renta.

8.4. Subzona 4

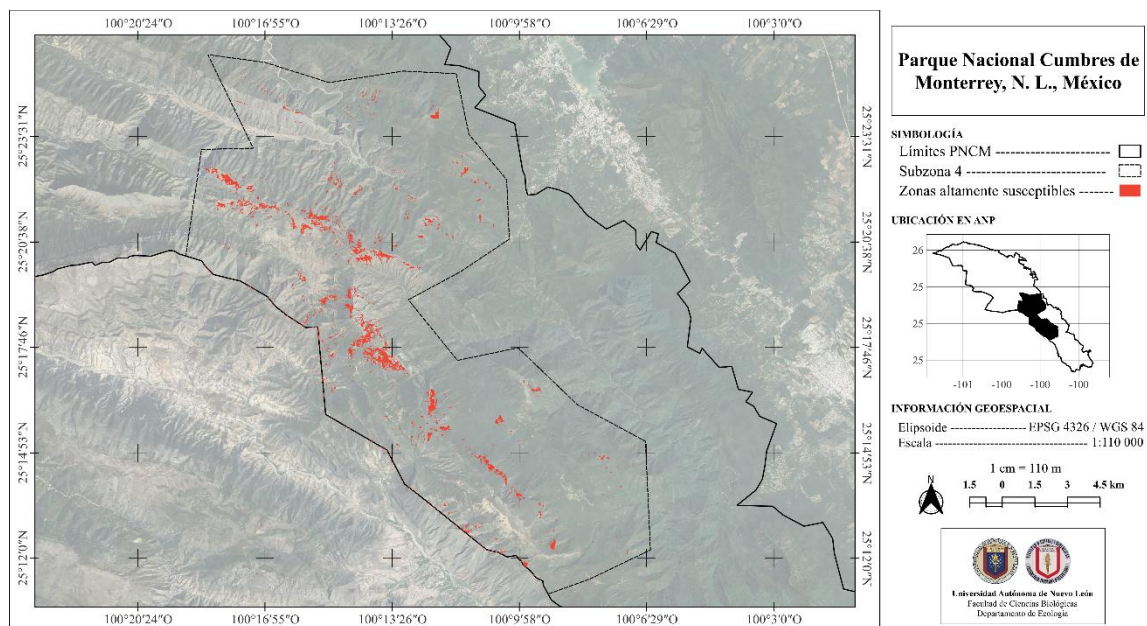


Figura 46. Subzona 4 para la propuesta de estrategias de prevención de incendios en el PNCM.

Descripción del sitio

Topología: Perímetro de 90.06 km

Área de 269.60 km²

Fisiografía: Zonas de alta susceptibilidad repartidas en las laderas sur-suroeste del pliegue San Cristóbal y la cabalgadura Frontal; además, en las laderas del pliegue Mauricio, ubicado por debajo del anticlinal recostado de Los Nogales, y por encima del anticlinal recostado la Ventana Mediodía.

Climatología: Tipos de climas semicálido subhúmedo [(A)C(w1) y (A)C(w2)] y templado subhúmedo [C(w1)] predominantes en la región; semiárido semicálido [BS1h(x')] en menor extensión.

Vegetación: Presencia de bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de ayarín, matorral submontano, pastizal inducido y agricultura de riego anual, de riego permanente, y de temporal anual.

Demografía: Los sitios más sobresalientes de la región son los pueblos de La Ciénega de González, Laguna de Sánchez, y Potrero Redondo.

Turismo: Actividades de senderismo, paisajismo, rapel, camping, rutas *off-road*, renta de cabañas; próxima a varios ejes viales principales.

8.5. Subzona 5

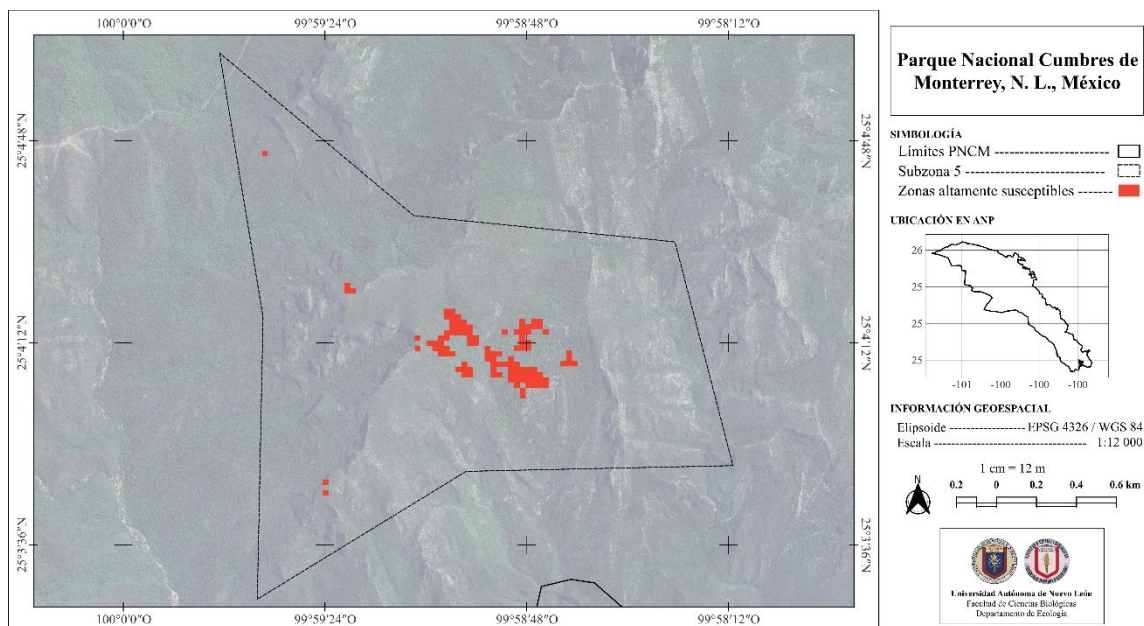


Figura 47. Subzona 5 para la propuesta de estrategias de prevención de incendios en el PNCM.

Descripción del sitio

Topología: Perímetro de 9.5 km

Área de 3.72 km²

Fisiografía: Zonas de alta susceptibilidad repartidas en algunas laderas de la cabalgadura Secundaria, ubicada por debajo de la cabalgadura Frontal y el anticlinal recostado Santa Rosa, y por encima del pliegue Mauricio y el anticlinal recostado La Muralla.

Climatología: Únicamente presente el tipo de clima semicálido subhúmedo [(A)C(w1)].

Vegetación: Presencia de matorral submontano y bosque de encino.

Demografía: El sitio más sobresaliente de la región es la topoforma “Nariz de Indio”.

Turismo: Actividades de paisajismo, senderismo y montañismo; además, la proximidad a varios ejes viales principales.

9. Propuestas

En paralelo con los componentes de Ley para los cuales es pertinente la región, sus gestores, habitantes y colonos, inicialmente, se desenvuelven propuestas de metodologías para la prevención/control de los incendios que ocurran al interior del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”, procurando siempre la integración y consenso de las partes involucradas para el establecimiento de estas mismas. Similar a los plazos propuestos en CONANP (2011), son categorizadas según su alcance y posibilidad de éxito en el tiempo, diseñando productos para:

- (C) Corto plazo: 1 – 2 años
- (M) Mediano plazo: 3 – 5 años
- (L) Largo plazo: 6 o más años
- (EC) Esfuerzo continuo: Permanente

Tabla 27

Acciones propuestas por ejercicios considerando distintos plazos temporales para la prevención/control de los incendios en el PNCM.

Ejercicio	Acción	Plazo
Planificación y Gestión del Territorio	• Delimitar zonas de amortiguamiento entre las áreas naturales, zonas urbanas y rutas turísticas con tránsito alto o actividades con alto impacto ecológico (rutas <i>off-road</i>, camping con fogatas, tours en helicóptero).	M
	• Diseñar y aplicar planes de ordenamiento territorial para limitar las actividades de riesgo en áreas propensas a incendios	M
	• Establecer corredores ecológicos que reduzcan la continuidad de vegetación inflamable.	EC
Monitoreo y detección temprana	• Instalación de cámaras térmicas o sistemas de vigilancia climática (estaciones meteorológicas) con actualización de la información en tiempo real en puntos clave al interior de las subzonas.	C
	• Promover la gestión para la provisión del equipo adecuado a los equipos de patrullaje.	M
	• Patrullajes terrestres para identificar focos de riesgos.	EC

Manejo de combustibles	• Detección de vegetación seca y posible material combustible en áreas críticas al interior de las subzonas.	C
	• Establecimiento de corredores cortafuegos en áreas estratégicas al interior de las subzonas para evitar la propagación del fuego.	C
	• Realizar quemas prescritas en áreas controladas para reducir la acumulación de material combustible.	M
	• Establecer un plan de poda para árboles y arbustos con el fin de evitar la continuidad vertical del fuego.	M
	• Implementar programas de reforestación con especies menos inflamables o adaptadas al ecosistema.	L
	• Mantener un manejo continuo de la vegetación para evitar la acumulación excesiva de combustible.	EC
Preparación y respuesta	• Capacitación de brigadas locales y equipos de emergencia en técnicas de combate de incendios.	C
	• Promover la colaboración entre los comités de vigilancia participativa locales y los equipos técnicos de control de siniestros.	EC
	• Asegurar el buen funcionamiento de los equipos y herramientas para el control del fuego (mangueras, extintores, vehículos, equipo de protección, etc.)	EC
Infraestructura Preventiva	• Facilitar/mejorar el acceso a las áreas críticas con caminos y brechas cortafuegos.	C
	• Construir depósitos de agua estratégicos y puntos de abastecimiento para equipos de extinción.	M
Restauración Post-Incendio	• Restaurar áreas afectadas por incendios con técnicas de reforestación y manejo de suelos, obedeciendo el proceso de sucesión ecológica.	EC
	• Promover la regeneración natural de ecosistemas con especies nativas resistentes al fuego.	EC
Educación y concientización	• Campañas informativas para las comunidades locales y población visitante sobre prevención de incendios.	C

	• Señalética en áreas de alto riesgo o de tránsito turístico recurrente para recordar normas de seguridad.	C
	• Desarrollar programas escolares y comunitarios sobre prevención de incendios.	M
	• Promover la difusión del conocimiento sobre las acciones y cambios en las normativas a razón de la prevención de incendios en la región.	M
	• Organizar simulacros y ejercicios de respuesta ante emergencias.	EC
Investigación y Tecnología	• Desarrollar estudios sobre el comportamiento del fuego en los diferentes tipos de vegetación de la zona.	M
	• Determinar las acciones turísticas con mayor impacto para la ocurrencia de incendios (fogatas, cigarrillos encendidos, vehículos todoterreno, etc.)	M
	• Implementar tecnologías avanzadas, como drones y sensores remotos, para mejorar la detección y monitoreo de incendios.	L
Políticas Públicas	• Promover la creación de normativas y leyes que regulen actividades de riesgo (quemadas agrícolas, uso de fuego en áreas recreativas, etc.) tanto de los habitantes al interior de la región como de los visitantes.	L
	• Establecer fondos y programas de financiamiento para la prevención y combate de incendios.	L

DISCUSIÓN

Innovación metodológica

Correspondiendo a las necesidades para la predicción y prevención temprana ante la ocurrencia de incendios en las regiones naturales del planeta, se han propuesto múltiples metodologías para lograr este mismo objetivo, desde modelos simples que incorporan y sintetizan las perspectivas únicas de expertos como la Toma de Decisiones de Análisis Multicriterio (MCDM, por su siglas en inglés) (Eskarandi *et al.*, 2015); arquetipos estadísticos sencillos, como Regresiones Logísticas o Multinomiales (Thai Pham *et al.*, 2020); hasta algoritmos más complejos que incluyen métodos de Aprendizaje Autónomo de Máquinas (*Machine Learning*) como Redes Neuronales (Barmpoutis *et al.*, 2020), Máquinas de Vectores Soporte (SVM) (Özbayoglu y Bozer, 2012), Lógica Difusa (*Neuro-fuzzy*) (Thai Pham *et al.*, 2020), Redes Bayesianas (Thai Pham *et al.*, 2020), Bosques Aleatorios (Arkin *et al.*, 2019), entre otros (Abid, 2021; Preeti *et al.*, 2021).

Sin embargo, la aplicación no integrativa de todos estos modelos en uno mismo muchas veces solo logra resaltar las deficiencias individuales de cada arquetipo (Nguyen *et al.*, 2021; Kondylatos *et al.*, 2022; Xie *et al.*, 2022), aún más al ser aplicados en rangos temporales distintos a pesar de enfocarse en la misma región geográfica, esto como resultado de la disponibilidad variable de datos en el análisis del fenómeno de incendios, específicamente.

La presente investigación logra cubrir esta inconveniencia metodológica mediante la construcción de metamodelos que integran múltiples algoritmos de Machine Learning para la evaluación y predicción de la ocurrencia de incendios para cada año. Estos metamodelos incluyen simultáneamente los algoritmos de Regresión Logística Estándar, Árbol de Decisión, Máquinas de Vectores Soporte (SVM), K-Vecinos Cercanos (KNN), Regresión Multinomial, Bosques Aleatorios (RF) y Refuerzo de Gradientes Extremo (XGBoost), lo que permite la creación de modelos de clasificación altamente especializados.

Con el fin de predecir/clasificar de manera lógica y apropiada aquellas regiones con alta susceptibilidad ante la ocurrencia de incendios, se deben seleccionar con rigor los

predictores que fungirán como las variables explicativas para el modelo entrenado. En la mayoría de los casos esta selección es empírica, donde los investigadores argumentan la información predictora que hayan recopilado únicamente con una base en estudios y documentos científicos de otros terceros. Lo anterior, tan solo provoca que se minimicen las posibilidades de un análisis correcto sobre lo que se supone que influye en la ocurrencia de siniestros; no admite la inclusión de predictores nuevos distintos y la examinación de los posibles efectos sobre ello.

Para lograr el objetivo de analizar la ocurrencia de incendios en cualquier región, se consideran frecuentemente los factores físicos del terreno (climatología, topografía e hidrología) (Jain *et al.*, 2020; Malik *et al.*, 2021; Prapas *et al.*, 2021; Xie *et al.*, 2022) y los factores biológicos (tipo de combustible, cantidad de combustible, tipo de vegetación, uso del suelo).

Aun así, son escasos los estudios que incorporan información predictora de carácter demográfico (Kondylatos *et al.*, 2022), es decir, se desentiende la posibilidad de impacto del ser humano sobre la ocurrencia de incendios en regiones naturales. Lo cual, para el tiempo donde fue establecido el presente estudio, atribuiría un sesgo considerable para definir conclusiones o, más importante aún, para la propuesta de métodos óptimos para la prevención y control de siniestros, pues es imposible separar los atributos antropogénicos que se encuentran incluidos e interactúan con el paisaje (Likens, 1991; Western, 2001).

Por lo tanto, resultante de la adición de este tipo de predictores demográficos para el entrenamiento de los modelos, un hallazgo clave del estudio es la identificación de la dinámica temporal de importancia de los predictores específicos a lo largo de los años. En los primeros años del análisis, específicamente en 2013 y 2014, se observó que factores climáticos y topográficos como la proximidad a cuerpos hídricos y la elevación jugaban un papel predominante en la ocurrencia de incendios. No obstante, a partir de 2016, los predictores demográficos, como la proximidad a rutas de turismo y localidades, comenzaron a tener un mayor impacto. Este cambio refleja cómo la interacción entre los factores naturales y humanos se vuelve cada vez más relevante en la dinámica de

incendios, destacando la necesidad de considerar tanto elementos ecológicos como sociales en la planificación de estrategias de prevención.

Precisión de los resultados

Los metamodelos desarrollados permiten una categorización precisa del riesgo de incendios en el Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” con una exactitud predictiva que varía según el año, alcanzando un 91.30% en su mejor desempeño en 2019. Estos resultados permiten identificar con precisión zonas de alta vulnerabilidad, lo que facilita la implementación de estrategias de prevención y respuesta.

Sin embargo, se ve necesario mencionar que la exactitud del modelo fluctúa entre los distintos años, con una reducción en 2020 y 2021 (73.77% y 77.90%, respectivamente). Estas variaciones podrían ser reflejo de los cambios en la calidad y cantidad de datos disponibles, como la escasez de registros de incendios en ciertos años (por ejemplo en 2015, 2017 y 2018), lo que sugiere la necesidad de una mejora continua en la calidad de los datos de entrenamiento y en la sintonización de los hiperparámetros de los modelos (Preeti *et al.*, 2021), pues altera la capacidad de los modelos para generar predicciones robustas dependiendo de su complejidad inherente (Brigato y Iocchi, 2021). Aun así, el uso de técnicas avanzadas como la validación cruzada *k-fold* y la selección de características basadas en permutaciones asegura que los modelos se ajusten de manera adecuada a las dinámicas de incendios de la región (Tzu-Tsung y Po-Yang, 2020).

Propuestas de prevención y control

El estudio igualmente ofrece propuestas concretas para la prevención y control de incendios. Las estrategias están alineadas con protocolos nacionales como el Programa de Manejo del Fuego (SCMF, 2017), el Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales (SEMARNAT, 2008), el Programa de Protección Civil para Incendios Forestales (SSC, 2014), y el Protocolo para la Atención de Incendios Forestales en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México (SEDEMA, 2019); además de protocolos internacionales como la Guía Técnica en Prevención y Control de Incendios Forestales (Bonilla, 2001), el proyecto de Fortalecimiento Institucional de la ANAM en el Manejo Integrado del Fuego en los Bosques Tropicales de Panamá (Ministerio de Ambiente,

2015), el Manual de Entrenamiento en: Prevención y Control de Incendios Forestales/Zonas Silvestres para el Manejo Sostenible de los Bosques (Tadesse y Seboko, 2013), y las Pautas para la Prevención y Supresión de Incendios Forestales para Actividades Industriales (Bailey, 2001). Estas recomendaciones están dirigidas tanto a la fase previa, durante y posterior a la ocurrencia de incendios, además de su categorización por alcance y posibilidad de éxito en el tiempo, proporcionando un marco integral para la gestión de incendios en áreas vulnerables.

Se hace especial énfasis en la aplicación de estas estrategias en zonas que el modelo identifica como de alta o moderadamente alta vulnerabilidad, asegurando que los recursos se enfoquen en los sitios de mayor riesgo (SEMARNAT, 2008; Tadesse y Seboko, 2013; SCMF, 2017). Esto incluye la creación de planes de contingencia, la capacitación de personal para la respuesta rápida a incendios y la implementación de barreras naturales o artificiales que impidan la propagación de las llamas.

CONCLUSIÓN

Como fundamento del cumplimiento de los objetivos determinados para el presente proyecto se demuestra, primordialmente, la posibilidad de caracterizar el territorio del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” (PNCM) a través de la evaluación del riesgo de incendios empleando metamodelos de aprendizaje autónomos, por lo cual, posibilita el establecimiento y promoción de estrategias más adecuadas y específicas para la prevención y/o control de siniestros.

Se manifiesta de lo anterior, además, la dinámica temporal y geoespacial de las zonas vulnerables en las diez temporadas de incendios desde el año 2013 hasta 2022 al interior del PNCM, reiterando la necesidad de mantener un enfoque integrador en cuanto a las variables y cantidad de arquetipos de clasificación para el establecimiento de las subzonificaciones si se plantea la replicación de la metodología presentada en el estudio.

Resalta el impacto del factor humano ante la generación de incendios inclusive sobre los demás predictores para los últimos años analizados, por lo cual, se exhorta la inclusión de mediciones demográficas en este tipo de análisis de riesgos, ya que resulta incorrecto, para este punto de la historia, ignorar los efectos de la presencia humana en cualquier región del mundo sobre el ecosistema y sus componentes.

Referente a los métodos de obtención de las clasificaciones, se destaca, primeramente, la necesidad de definir de manera coherente las dimensiones temporales-espaciales fijadas para cualquier estudio con base a su propio objetivo, pues esto asegura la correcta recopilación de la información predictora para el entrenamiento de los modelos; por segundo, la integración de suficientes modelos de clasificación -e iteraciones de estos mismos- para incrementar la precisión de las clasificaciones; y, por tercero, la confección de esquemas de análisis de los resultados de manera rigurosa, facilitando la interpretación de estos mismos sin subjetividades

Adicionando, las propuestas establecidas para el control/prevenición de incendios en las subzonas de alta prioridad fueron definidas considerando la elasticidad de las limitantes legales, metodológicas y temporales que puedan incidir sobre los cuerpos de trabajo del parque, de las localidades y de las autoridades correspondientes. Aun así, no

dejan de ser solamente recomendaciones, por lo cual se exhorta de igual manera la atención y difusión de estas actividades ante los organismos interesados con la finalidad de asegurar la protección de los componentes físicos, naturales y demográficos al interior del PNCM.

Finalmente, la metodología del presente estudio puede establecerse como un avance en pro de la innovación tecnológica para afrontar la problemática de los incendios en las regiones naturales de la República Mexicana. De manera simultánea, la investigación busca impulsar el empleo de los sistemas de información geográfica (SIG), el análisis espacial en tiempo real, y los métodos de aprendizaje autónomo (*Machine Learning*), que en los últimos años han demostrado ser herramientas útiles para la planeación estratégica para el control de distintas problemáticas ambientales.

PERSPECTIVAS

Uno de los objetivos del proyecto -aunque indirectamente- es el impulso del uso de las nuevas tecnologías emergentes de la época como lo son los sistemas de información geográfica (SIG) y métodos de inteligencia artificial (IA) para afrontar problemáticas ambientales, de manera que, se describe una metodología novedosa para la determinación de zonas susceptibles a incendios en el territorio delimitado por el Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”, ubicado en su mayoría en el estado de Nuevo León, México.

A pesar de los avances logrados a través de esta investigación, existen limitaciones que deben considerarse. Primero, la escasez de datos en algunos años limita la capacidad del modelo para generalizar sus predicciones a largo plazo. En segundo lugar, la alta variabilidad de los resultados entre diferentes años sugiere que otros factores, no considerados en el estudio, podrían estar influyendo en la ocurrencia de incendios, ya sea, cambios en el uso de la tierra, prácticas agrícolas o eventos climáticos extremos como huracanes podrían tener un impacto significativo.

Otra limitación es la resolución espacial de algunos de los datos, ya que, en ocasiones, los modelos requieren información con mayor detalle para generar predicciones precisas en escalas locales. Para mejorar en este aspecto, futuros estudios podrían integrar datos satelitales de mayor resolución y realizar simulaciones más detalladas del comportamiento del fuego en diferentes escenarios.

Lo anterior da cabida a nuevas investigaciones que tengan un enfoque similar, además de proporcionar la información y herramientas para establecer o adaptar estrategias adecuadas para el control/prevención de siniestros en la región.

Se incita al estudio a detalle los procedimientos de la investigación para la búsqueda de áreas de mejora y su replicación fuera del área de estudio. Esto asegurará y permitirá seguir adaptando el método a provincias específicas y desarrollar protocolos para la protección y conservación de los recursos naturales de la república o del mundo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abid, F. (2021). A Survey of Machine Learning Algorithms Based Forest Fires Prediction and Detection Systems. *Fire Technology* 57, 559 – 590. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01056-z>
- Aguirre-Calderón, O.; Jiménez-Pérez, J.; Alanís-Rodríguez, E. y Yerena-Yamallel, Y. (2013). Manejo Forestal. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 275 – 286). México: UANL-CONANP.
- Alanís-Flores, G. y Velazco-Macías, C. (2013). Tipos de Vegetación. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 117 – 126). México: UANL-CONANP.
- Arkin, J.; N. C., Coops; Hermosilla, T.; Daniels, L. D. y Plowright, A. (2019). Integrated Fire Severity-Land Cover Mapping using Very-High-Spatial-Resolution Aerial Imagery and Point Clouds. *International Journal of Wildland Fire*. 28(11), 840 – 860. <https://doi.org/10.1071/WF19008>
- Bailey, R. P. (2001). *Forest Fire Prevention and Suppression Guidelines for Industrial Activities*. Canadá: Gobierno de los Territorios del Noroeste.
- Barmpoutis, P.; Stathaki, T.; Dimitropoulos, K. y Grammalidis, N. (2020). Early Fire Detection based on Aerial 360-Degree Sensors, Deep Convolution Neural Networks and Exploitations of Fire Dynamic Textures. *Remote Sensing* 12(19), 3177. <https://doi.org/10.3390/rs12193177>
- Bax, B. y Francesconi, W. (2018). Environmental Predictors of Forest Change: An Analysis of Natural Predisposition to Deforestation in the Tropical Andes Region, Peru. *Applied Geography* 91, 99 – 110. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.002>
- Bonilla, R. J. (2001). *Guía Técnica en Prevención y Control de Incendios Forestales*. Guatemala: PROPETEN – Conservación Internacional, C. A.
- Brigato, L y Iocchi, L. (2021). A Close Look at Deep Learning with Small Data. 2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). <https://doi.org/10.1109/ICPR48806.2021.9412492>

- Cantú-Ayala, C.; García-Jiménez, J.; Murguía-Romero, M.; Leal-Lozano, L.; Chapa-Vargas, L.; González-Uribe, D.; Aragón-Palacios, J.; Nájera-Sánchez, R.; González-Saldivar, F.; Marmolejo-Moncivais, J.; Uvalle-Sauceda, J. y Hinojosa-Torres, P. (2013). Percepción Social sobre los Servicios Ambientales. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 261 – 273). México: UANL-CONANP.
- Cantú-Ayala, C.; González, F.; Marmolejo, J. y Uvalle, J. (2010). Paisaje y Aspectos Turísticos. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Biodiversidad y Conservación del Monumento Natural Cerro de La Silla, México* (Pp. 106 – 133). México: UANL-CONABIO-CONANP.
- Castillo, M.; Pedernera, P. y Peña, E. (2003). Incendios Forestales y Medio ambiente: una Síntesis Global. *Revista Ambiente y Desarrollo* 19(3-4), 44 – 53.
- CBD. Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2022). *Decisión Adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica*. [Consultado el 18 de febrero de 2024]. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-es.pdf>
- Cerca-Martínez, M; Ferrari, L.; Chávez Cabello, G y Calmus, T. (2004). La Deformación Laramide en México: Una Evolución Geológica no Resuelta. *GEOS* 24(2), 306. https://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos04-2/sesiones_especiales/SE04.pdf
- Chong, G. y Medina-Viezca, B. (2019). Especies Exóticas Invasoras Amenazan al Parque Nacional Cumbres de Monterrey. *UANL Noticias: Sustentabilidad*. [Consultado el 23 de octubre de 2024]. <https://www.uanl.mx/noticias/especies-exoticas-invasoras-amenazan-al-parque-nacional-cumbres-de-monterrey/>
- Chuvieco, E. y Congalton, R. G. (1989). Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. *Remote Sensing of Environment* 29, 147 – 159. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90023-0)
- Código Penal Estatal para el Estado de Nuevo León [CPEENL]. Artículo 446. 20 de noviembre de 2020 (México).

Código Penal Estatal para el Estado de Nuevo León [CPEENL]. Artículo 446 Bis. 17 de marzo de 2023 (México).

Código Penal Federal [CPF]. Artículo 420 Bis. 06 de febrero de 2002 (México).

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (1998). *Carta de Climatología, escala 1:1,000,000*. [Consultado el 03 de septiembre de 2023]. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/clima1mgw.html>

CONAFOR. (2024). *Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales (SPPIF)*. [Consultado el 03 de septiembre de 2023]. <http://forestales.ujed.mx/incendios2/>

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2011). *Parque Nacional Cumbres de Majalca. Programa de Manejo*. [Consultado el 03 de septiembre de 2023]. https://www.conanp.gob.mx/rendicion_cuentas/pdf/pdf_rendicion_cuentas/PROG%20DE%20MANEJO%20PNCM%201.pdf

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2020). *Parque Nacional Cumbres de Monterrey. Borrador Programa de Manejo*. [Consultado el 03 de septiembre de 2023]. <https://www.conanp.gob.mx/anp/consulta/Borrador%20PM%20PN%20Cumbres%20Mty%20para%20Consulta%20P%C3%BAblica%202020.pdf>

Conedera, M.; Torriani, D.; Neff, C.; Ricotta, C.; Bajocco, S. y Boris-Pezzatti, G. (2011). Using Monte Carlo simulations to estimate relative fire ignition danger in a low-to-medium fire-prone region. *Forest Ecology and Management* 261(12), 2179 – 2187. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.013>

DOF. Diario Oficial de la Federación (1939). *Decreto que declara Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”, los terrenos que rodean a dicha población*. México: DOF 24/11/1939. [Consultado el 11 de febrero de 2024]. https://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4495669&fecha=24/11/1939&cod_diario=191064

DOF. Diario Oficial de la Federación. (2000). *Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de parque nacional, la región conocida con el nombre de*

- Cumbres de Monterrey, ubicada en los municipios de Allende, García, Montemorelos, Monterrey, Rayones, Santa Catarina, Santiago y San Pedro Garza García, Estado de Nuevo León*. México: DOF 17/11/2000. [Consultado el 11 de febrero de 2024]. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063788&fecha=17/11/2000#gsc.tab=0
- Eguiluz de Antuña, S.; Aranda García, M. y Marrett. R. (2000). Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 53, 1 – 26. <https://doi.org/10.18268/bsgm2000v53n1a1>
- Eguiluz de Antuñano, S. (2004). Tectónica Laramide en la Cuenca de Burgos, México. *GEOS* 24(2), 307 – 308. https://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos04-2/sesiones_especiales/SE04.pdf
- Eskarandi, S.; Oladi Ghadikolaei, J.; Jalilvand, H. y Reza Saradjian, M. (2015). Prediction of Future Forest Fires using the MCDM Method. *Polish Journal of Environmental Studies* 24(5), 2309 – 2314.
- Esparza-Hernández, L. G. (2014). *Estudio del manejo y Conservación del Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM), según Decreto del 2000 bajo un Enfoque de Desarrollo Sustentable basado en la Participación Ciudadana*. [Tesis doctorado]. Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Estrada-Castillón, E.; Villareal-Quintanilla, J. A. y Salinas-Rodríguez, M. M. (2013). Angiospermas. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 41 – 51). México: UANL-CONANP.
- Favela-Lara, S. (2013). Gimnospermas. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 175 – 186). México: UANL-CONANP.
- Ferrari, L.; Valencia-Moreno, M. y Bryan, S. (2005). Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 58(3), 343 – 378. <https://doi.org/10.18268/bsgm2005v57n3a5>

- Fueyo-Mac Donald, L. (2013). Las Áreas Naturales Protegidas en México y el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 37 – 40). México: UANL-CONANP.
- García-Salas, J. A.; Contreras-Balderas, A.; Ortega-Pimienta, J.; Castillo-Hernández, J.; López-Villareal, A.; Ballesteros-Medrano, O.; González-Páez, H.; Banda-Villanueva, I.; García-Hernández, J.; Torres-Ayala, J.; Contreras-Lozano, J.; Correa-Nieto, J.; Chávez-Cisneros, J.; Narváez-Torres, S.; Salinas-Camarena, M. y Borré-González, D. (2013). Aves. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 221 – 235). México: UANL-CONANP.
- Gobierno de Nuevo León. (2023a). *Evita incendios en nuestras montañas y bosques*. [Consultado el 19 de febrero de 2024]. <https://www.nl.gob.mx/evita-incendios-forestales>.
- Gobierno de Nuevo León. (2023b). *Refuerzan Estado y Federación Coordinación para Combatir Incendios Forestales*. [Consultado el 19 de febrero de 2024]. <https://www.nl.gob.mx/boletines-comunicados-y-avisos/refuerzan-estado-y-federacion-coordinacion-para-combatir-incendios>
- González-Saldivar, F.; Uvalle-Sauceda, J.; Avendaño, J. y Niño-Ramírez, A. (2013). Mamíferos. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 237 – 251). México: UANL-CONANP.
- Hong, H.; Tsangaratos, P.; Ilia, I.; Liu, J.; Zhu, A. X. y Xu, C. (2018). Applying Genetic Algorithms to set the Optimal Combination of Forest Fire Related Variables and Model Forest Fire Susceptibility Based on Data Mining Models. The case of Dayu County, China. *Science of the Total Environment* 630, 1044 – 1056. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.278>
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Marco Geoestadístico, diciembre 2021*. [Consultado el 03 de septiembre de 2023]. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463849568>

- Jacques Ayala, C. (2004). The Laramide in Northern Sonora: Timing and Basin Evolution. *GEOS* 24(2), 306. https://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos04-2/sesiones_especiales/SE04.pdf
- Jain, P.; Coogan, S. C. P.; Ganapathi Subramanian, S.; Crowley, M.; Taylor, S. y Flannigan, M. D. (2020). A Review of Machine Learning Applications in Wildfire Science and Management. *Environmental Reviews* 28(4). <https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.1139/er-2020-0019>
- Jiménez-Pérez, J.; Aguirre-Calderón, O.; Yereña-Yamallel, I. y Alanís-Rodríguez, E. (2013). Cambio Climático. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 325 – 334). México: UANL-CONANP.
- Kondylatos, S.; Prapas, I.; Ronco, M.; Papoutsis, I.; Camps-Valls, G.; Piles, M.; Fernández-Torres, M. A. y Carvalhais, N. (2022). Wildfire Danger Prediction and Understanding with Deep Learning. *Geophysical Research Letters* 49(17), e2022GL099368. <https://doi.org/10.1029/2022GL099368>
- Likens, G. E. (1991). Some Consequences of Long-Term Human Impacts on Ecosystems. *Revista Chilena de Historia Natural* 64, 597 – 614. https://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1991/3/Likens_1991.pdf
- Lozano-Vilano, M.; García-Ramírez, M. y Espinoza-Narváez, M. (2013). Peces. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 195 – 206). México: UANL-CONANP.
- Marmolejo-Moncivais, J.; Valenzuela-Garza, R.; Garza-Ocañas, F. y García-Jiménez, J. (2013). Micobiota. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 127 – 132). México: UANL-CONANP.
- Ministerio de Ambiente. (2015). *Fortalecimiento Institucional de la ANAM en el Manejo Integrado del Fuego en los Bosques Tropicales de Panamá*. [Consultado el 12 de febrero de 2024]. http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2902/Technical/PROTOCOLO%20AC TUACION.pdf

- Mohajane, M.; Costache, R.; Karimi, F.; Bao-Pham, Q.; Essahlaoui, A.; Nguyen, H.; Laneve, G. y Oudija, F. (2021). Application of Remote Sensing and Machine Learning Algorithms for Forest Fire Mapping in a Mediterranean Area. *Ecological Indicators* 129, 107869. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107869>
- Narváez-Torres, S. y Lazcano-Villareal, D. (2013). Anfibios y reptiles. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 207 – 220). México: UANL-CONANP.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. (2000). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. [Consultado el 03 de septiembre de 2023]. <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. (2024). *NASA's Fire Information for Resource Management System (FIRMS)*. [Consultado el 03 de septiembre de 2023]. <https://earthdata.nasa.gov/firms>
- Nguyen, P. T.; Di Rocco, J.; Lovino, L.; Di Ruscio, D. y Pierantonio, A. (2021). Evaluation of a Machine Learning Classifier for Metamodels. *Software and Systems Modeling* 20, 1797 – 1821. <https://doi.org/10.1007/s10270-021-00913-x>
- Ortiz-Hernández, S. E. (2015). *Efectos de la Ganadería en un Bosque de Pino del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México*. [Tesis doctoral]. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ortiz-Hernández, S.; Cantú-Ayala, C.; Uvalle-Sauceda, J. y González-Saldivar, F. (2013). Actividades Pecuarias. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 287 – 295). México: UANL-CONANP.
- Ortiz-Morales, K. L. (2022). *Análisis de Riesgo e Impacto de los Mamíferos Exóticos en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey en el Municipio de Santiago, Nuevo León, México*. [Tesis maestría]. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

- Özbayoglu, A. M. y Bozer, R. (2012). Estimation of the Burned Area in forest Fires using Computational Intelligence Techniques. *Procedia Computer Science*. 12, 282 – 287. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.09.070>
- Pérez-Ortiz, J. (2013). Hidrología y Geohidrología. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 89 – 98). México: UANL-CONANP.
- Prapas, I.; Kondylatos, S.; Camps-Valls, G.; Ronco, M.; Fernández-Torres, M. A.; Piles Guillem, M. y Carvalhais, N. (2021). Deep Learning Methods for Daily Wildfire Danger Forecasting. *Atmosphere* 12(1), 109. <https://doi.org/10.3390/atmos12010109>
- Preeti, T.; Kanakaraddi, S.; Beelagi, A.; Malagi, S. y Sudi, A. (2021). Forest Fire Prediction using Machine Learning Techniques. *2021 International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)* 2021, 1 – 6. <https://doi.org/10.1109/CONIT51480.2021.9498448>
- Quiroz-Martínez, H.; Rodríguez-Castro, V.; Siller-Aguillón, I.; Zepeda-Cavazos, I. y Alanís-Rodríguez, E. (2013). Insectos. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 187 – 194). México: UANL-CONANP.
- Rodríguez Castañeda, J. L. (2004). Levantamientos Verticales Diferenciales: Una Explicación a la Evolución Estructural del Norte de Sonora durante el Cretácico Tardío y Terciario. *GEOS* 24(2), 307. https://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos04-2/sesiones_especiales/SE04.pdf
- Rodríguez-Almaraz, G.; Ortega-Vidales, V. y Treviño-Flores, J. (2013). Crustáceos. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 161 – 174). México: UANL-CONANP.
- Rubio-Cano, R. A. (2021). Parque Nacional Cumbres de Monterrey, padece el más grande incendio de su historia. *Demócrata Norte de México*. [Consultado el 23 de octubre de 2024]. <https://democratanortedemexico.com/2021/03/27/parque-nacional-cumbres-de-monterrey-padece-el-mas-grande-incendio-de-su-historia/>

- Saldívar, A.; Olivera, S. M.; Isidro, A. (2013). Valoración y Demanda del Servicio Ambiental Hidrológico en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. *Natura@economía* 1(2), 9 – 28.
- Sandoval-García, R.; Jiménez-Pérez, J.; Yerena-Yamallel, J. I.; Aguirre-Calderón, O. A.; Alanís-Rodríguez, E. y Gómez-Meza, M. V. (2021). Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Vegetación en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(66), 70 – 95. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.896>
- SCMF. Sociedad de Consultores en Manejo del Fuego. (2017). *Programa de Manejo del Fuego. Parque Nacional Cumbres de Monterrey*. México: CONANP.
- SEDEMA. Secretaría del Medio Ambiente. (2019). *Protocolo para la Atención de Incendios Forestales en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México*. [Consultado el 12 de febrero de 2024]. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/protocolo-de-incendios-forestales-1.pdf>
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2008). *Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales*. México: CONAFOR.
- Singh, K. R.; Neethu, K. P.; Madhurekaa, K.; Harita, A. y Mohan, P. (2021). Parallel SVM model for Forest Fire Prediction. *Soft Computing Letters* 3, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.socl.2021.100014>
- Solís-Rojas, C. y Rojas-Malacara, R. (2013). Arácnidos. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 175 – 186). México: UANL-CONANP.
- Solís-Rojas, C. y Rojas-Malacara, R. (2013). Arácnidos. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 175 – 186). México: UANL-CONANP.
- SSC. Secretaría de Seguridad Ciudadana. (2014). *Programa de Protección Civil para Incendios Forestales*. [Consultado el 12 de febrero de 2024].

https://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/swbcalendario_ElementoSeccion/265/PPC_20INCENDIOS_202014.PDF

Tadesse, E. y Seboko, B. (2013). *Training Manual on: Forest/Wildland Fire Prevention and Control for Sustainable Forest Management*. Ethiopia: Hawassa University.

Thai Pham, B.; Jaafari, A.; Avand, M.; Al-Ansari, N.; Dinh Du, T.; Hai Yen, H. P.; Van Phong, T.; Huu Nguyen, D.; Van Le, H.; Mafi-Gholame, D.; Prakash, I.; Thi Thuy, H. y Thi Tuyen, T. (2020). Performance Evaluation of Machine Learning Methods for Forest Fire Modeling and Prediction. *Symmetry* 12(6), 1022. <https://doi.org/10.3390/sym12061022>

Tzu-Tsung, W. y Po-Yang, Y. (2020). Reliable Accuracy Estimates from k-Fold Cross Validation. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 32(8), 1586 – 1594. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2019.2912815>

Uvalle-Sauceda, J.; Cantú-Ayala, C.; González-Saldivar, F. y Marmolejo-Moncivais, M. (2013). Climas. En: Cantú-Ayala *et al.* [Eds.], *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (Pp. 41 – 51). México: UANL-CONANP.

Western, D. (2001). Human-modified ecosystems and Future Evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98(10), 5458 – 5465. <https://doi.org/10.1073/pnas.101093598>

Xie, L.; Zhang, R.; Zhan, J.; Li, S.; Shama, A.; Zhan, R.; Wang, T.; Lv, J.; Bao, X. y Wu, R. (2022). Wildfire Risk Assessment in Liangshan Prefecture, China based on and Integration Machine Learning Algorithm. *Remote Sensing* 14(18), 4592. <https://doi.org/10.3390/rs14184592>

ANEXOS

Anexo 1

Listado florístico del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” y estatus respectivo por especie según la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Familia	Especie	NOM-059
Acanthaceae	<i>Anisacanthus quadrifidus</i> var. <i>wrightii</i>	
	<i>Beloperone fulvicoma</i>	
	<i>Carlwrightia parviflora</i>	
	<i>Dyschoriste poliodes</i>	
	<i>Dyschoriste schiedeana</i> var. <i>schiedeana</i>	
	<i>Elytraria bromoides</i>	
	<i>Jacobinia incana</i>	
	<i>Justicia pilosella</i>	
	<i>Justicia turneri</i>	
	<i>Miraea huastescensis</i>	
	<i>Ruellia corzoi</i>	
	<i>Ruellia malacosperma</i>	
	<i>Ruellia occidentalis</i>	
	<i>Ruellia parryi</i>	
	<i>Ruellia yucatanica</i>	
	<i>Siphonoglossa canbyi</i>	
	<i>Tetramerium nervosum</i>	
Aceraceae	<i>Acer negundo</i>	Pr
Agavaceae	<i>Agave bracteosa</i>	A
	<i>Agave lecheguilla</i>	
	<i>Agave striata</i>	
	<i>Agave victoriae-reginae</i>	P
	<i>Dasyllirion berlandieri</i>	Pr
	<i>Dasyllirion texanum</i>	
	<i>Hesperaloe funifera</i> ssp. <i>funifera</i>	
	<i>Nolina caespitifera</i>	
	<i>Yucca</i> sp.	
Amaranthaceae	<i>Amaranthus palmeri</i>	
	<i>Amaranthus spinosus</i>	
	<i>Amaranthus viridis</i>	
	<i>Froelichia arizonica</i>	
	<i>Iresine calea</i>	
	<i>Iresine orientalis</i>	
Anacardiaceae	<i>Iresine palmeri</i>	
	<i>Pistacia texana</i>	
	<i>Rhus allophylloides</i>	
	<i>Rhus aromatica</i>	
	<i>Rhus lanceolata</i>	
	<i>Rhus muelleri</i>	
	<i>Rhus pachyrrhachis</i>	
	<i>Rhus radicans</i>	
	<i>Rhus virens</i> var. <i>choriophylla</i>	
	<i>Rhus virens</i> var. <i>virens</i>	
	<i>Schmaltzia glabra</i>	
	<i>Toxicodendron radicans</i>	
Anemiaceae	<i>Toxicodendron radicans</i> ssp. <i>divaricatum</i>	
	<i>Anemia adiantifolia</i>	
Apiaceae	<i>Apium graveolens</i>	
	<i>Apium leptophyllum</i>	
	<i>Arracacia atropurpurea</i>	

	<i>Arracacia ternata</i> <i>Cicuta maculata</i> <i>Coriandrum sativum</i> <i>Daucus carota</i> <i>Daucus montanus</i> <i>Daucus pusillus</i> <i>Donnellsmithia ternata</i> <i>Eryngium longifolium</i> <i>Eryngium venustum</i> <i>Prionosciadium humile</i> <i>Sanicula canadensis</i> <i>Sanicula liberta</i> <i>Tauschia bicolor</i> <i>Torilis arvensis</i>	Pr
Apocynaceae	<i>Apocynum cannabinum</i> <i>Mandevilla foliosa</i> <i>Vinca major</i>	
Aquifoliaceae	<i>Ilex braegeana</i> <i>Ilex rubra</i>	
Araceae	<i>Arisaema dracontium</i> <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	
Asclepiadaceae	<i>Aristolochia elegans</i> <i>Asclepias angustifolia</i> <i>Asclepias curassavica</i> <i>Asclepias linaria</i> <i>Asclepias oenotheroides</i> <i>Asclepias similis</i> <i>Asclepias subverticillata</i> <i>Asclepias tuberosa</i> <i>Cynanchum kunthii</i> <i>Cynanchum pringlei</i> <i>Cynanchum racemosum</i> <i>Cynoctonum mitreola</i> <i>Marsdenia pringlei</i> <i>Matelea reticulata</i> <i>Sarcostemma torreyi</i>	
Aspleniaceae	<i>Asplenium resiliens</i> <i>Phanerophlebia auriculata</i> <i>Phanerophlebia umbonata</i> <i>Scolopendrium scolopendrium</i>	
Asteraceae	<i>Achillea millefolium</i> var. <i>pacifica</i> <i>Acmella repens</i> <i>Ageratina calaminthifolia</i> <i>Ageratina espinosarum</i> var. <i>subintegrifolia</i> <i>Ageratina gypsophila</i> <i>Ageratina havanensis</i> <i>Ageratina herbacea</i> <i>Ageratina nesomii</i> <i>Ageratina petiolaris</i> <i>Ageratina pichinchensis</i> <i>Ageratina rollinsii</i> <i>Ageratina saltillensis</i> <i>Ageratina scorodonnioides</i> <i>Ageratina viburnoides</i> <i>Ageratina wrightii</i> <i>Ageratum corymbosum</i> <i>Ambrosia artemisiifolia</i> <i>Ambrosia confertiflora</i> <i>Ambrosia psilostachya</i>	

Aphanostephus ramosissimus var. *ramosissimus*
Artemisia ludoviciana
Aster ericoides
Astranthium integrifolium
Astranthium integrifolium var. *triflorum*
Baccharis bigelovii
Baccharis crassifolia
Baccharis neglecta
Baccharis salicifolia
Baccharis salicina
Bahia absinthifolia var. *dealbata*
Bahia autumnalis
Bidens odorata
Brickellia coahuilensis
Brickellia eupatorioides var. *chlorolepis*
Brickellia grandiflora
Brickellia laciniata
Brickellia lemmonii
Brickellia lemmonii var. *nelsonii*
Brickellia secundiflora
Brickellia secundiflora var. *parryi*
Brickellia urolepis
Brickellia veronicifolia
Calea ternifolia var. *calyculata*
Calypocarpus vialis
Carduus tenuiflorus
Centaurea americana
Chaetopappa bellioides
Chaptalia lyratifolia
Chaptalia texana
Chaptalia transiliensis
Chromolaena odorata
Chromolaena turbinata
Chrysactinia mexicana
Chrysactinia pinnata
Chrysactinia truncata
Chrysanthemum leucanthemum
Chrysanthemum parthenium
Chrysanthemum procumbens
Cirsium acrolepis
Cirsium pringlei
Cirsium texanum
Conoclinium betonicifolium var. *integrifolium*
Conyza canadensis var. *canadensis*
Cosmos bipinnatus
Cosmos crithmifolius
Dahlia coccinea
Dahlia tubulata
Dichaetophora campestris
Dyssodia greggii
Dyssodia papposa
Dyssodia pinnata
Dyssodia pinnata var. *glabrescens*
Erigeron basilobatus
Erigeron calcicola
Erigeron dryophyllus
Erigeron metrius
Erigeron veracruzensis
Evax multicaulis

Flaveria trinervia
Fleischmannia porphyranthema
Fleischmannia pycnocephala
Florestina triperis
Flourensia cernua
Flourensia monticola
Flyriella leonensis
Gaillardia mexicana
Gaillardia pulchella
Gnapahliopsis micropoides
Gnaphalium brachypterum
Gnaphalium elegans
Gnaphalium semiamplexicaule
Gochnatia hypoleuca
Greenmaniella resinosa
Grindelia greenmanii
Grindelia tenella
Gutierrezia ana var. *glutinosa*
Gutierrezia microcephala
Gutierrezia sarothrae
Gutierrezia texana var. *texana*
Gymnosperma glutinosa
Haploesthes greggii var. *multiflora*
Helenium elegans var. *amphibolum*
Helenium microcephalum var. *ooclinium*
Helianthus annuus
Helianthus hirsutus
Helianthus laciniatus
Heliopsis parvifolia
Heterotheca chrysopsidis
Heterotheca latifolia
Heterotheca mucronata
Heterotheca subaxillaris
Hieracium abscissum
Hieracium crepidispermum
Hieracium gypsophilum
Hymenoxys linearifolia
Hymenoxys scaposa
Iva ambrosiifolia var. *lobata*
Jefea brevifolia
Koanophyllon longifolia
Koanophyllon reyrobinsonii
Lactuca ludoviciana
Lactuca sativa
Laennecia schiedeana
Laennecia sophiifolia
Machaeranthera pinnatifida
Machaeranthera scabrella
Machaeranthera tanacetifolia
Matricaria chamomilla
Melampodium divaricatum
Osbertia bartletti
Palafoxia texana
Parthenium confertum
Parthenium confertum
Parthenium hysterophorus
Peteravenia malvaefolia
Pinaropappus roseus
Piqueria trinervia

Pluchea carolinensis
Pluchea symphytifolia
Porophyllum amplexicaule
Porophyllum scoparium
Psacalium peltatum var. *adenophorum*
Pseudognaphalium austrotexanum
Pseudognaphalium brachypterum
Pseudognaphalium canescens
Pseudognaphalium roseum
Pseudognaphalium viscosum
Psilactis tenuis
Psilostrophe gnaphalodes
Pyrrhopappus multicaulis
Pyrrhopappus pauciflorus
Ratibida columnifera
Roldana sundbergii
Rumfordia alcortae
Rumfordia exauriculata
Sanvitalia aberti
Sanvitalia ocymoides
Schkuhria pinnata var. *guatemalensis*
Sclerocarpus uniserialis
Sclerocarpus uniserialis var. *frutescens*
Senecio coahuilensis
Senecio leonensis
Senecio loratifolius
Senecio madrensis
Senecio montereyanus
Senecio platypus
Senecio richardsonii
Senecio salignus
Senecio sundbergii
Senecio tampicanus
Senecio vulgaris
Shinners var. *pinnatifida*
Simsia amplexicaulis
Simsia calva
Simsia eurylepis
Smallanthus maculatus
Smallanthus uvedalius
Solidago altissima
Solidago hintoniorum
Solidago juliae
Solidago pringlei
Sonchus oleraceus
Stephanomeria tenuifolia
Stevia berlandieri var. *berlandieri*
Stevia ovata
Stevia porphyrea
Stevia pyrolifolia
Stevia salicifolia var. *salicifolia*
Symphotrichum carnerosanum
Symphotrichum expansum
Tagetes lucida
Tamaulipa azurea
Taraxacum officinale
Tetraneuris linearifolia var. *linearifolia*
Tetraneuris scaposa var. *scaposa*
Thelesperma longipes

	<i>Thelesperma megapotamicum</i> var. <i>megapotamicum</i>	
	<i>Thelesperma subaequale</i>	
	<i>Thymophylla pentachaeta</i> var. <i>pentachaeta</i>	
	<i>Tridax coronopifolia</i>	
	<i>Trixis inula</i>	
	<i>Verbesina chihuahuensis</i>	
	<i>Verbesina coahuilensis</i>	
	<i>Verbesina daviesiae</i>	
	<i>Verbesina encelioides</i>	
	<i>Verbesina hypomalaca</i> var. <i>saltillensis</i>	
	<i>Verbesina longipes</i>	
	<i>Verbesina microptera</i>	
	<i>Verbesina mollis</i>	
	<i>Verbesina olsenii</i>	
	<i>Verbesina persicifolia</i>	
	<i>Verbesina zaragosana</i>	
	<i>Vernonia greggii</i>	
	<i>Vernonia greggii</i> var. <i>ervendergii</i>	
	<i>Vigethia mexicana</i>	
	<i>Viguiera adenophylla</i>	
	<i>Viguiera cordifolia</i> var. <i>latisquama</i>	
	<i>Viguiera dentata</i> var. <i>dentata</i>	
	<i>Wedelia acapulcensis</i>	
	<i>Wedelia acapulcensis</i> var. <i>hispida</i>	
	<i>Wedelia ayerscottiana</i>	
	<i>Wedelia hispida</i>	
	<i>Zaluzania megacephala</i>	
	<i>Zinnia peruviana</i>	
Balsaminaceae	<i>Impatiens capensis</i>	
Basellaceae	<i>Anredera vesicaria</i>	
Begoniaceae	<i>Begonia uniflora</i>	
	<i>Berberis eutriphylla</i>	
	<i>Berberis gracilis</i>	
Berberidaceae	<i>Berberis gracilis</i> var. <i>madrensis</i>	
	<i>Berberis trifoliolata</i>	
Betulaceae	<i>Ostrya virginiana</i> ssp. <i>virginiana</i>	Pr
Bignoniaceae	<i>Chilopsis linearis</i> var. <i>tomenticaulis</i>	
	<i>Tecoma stans</i>	
	<i>Cordia boissieri</i>	
	<i>Cryptantha mexicana</i>	
	<i>Ehretia anacua</i>	
	<i>Heliotropium angiospermum</i>	
	<i>Heliotropium calcicola</i>	
	<i>Heliotropium confertifolium</i>	
	<i>Heliotropium fruticosum</i>	
	<i>Heliotropium glabriusculum</i>	
	<i>Heliotropium procumbens</i>	
	<i>Heliotropium torreyi</i>	
Boraginaceae	<i>Lithospermum calcicola</i>	
	<i>Lithospermum calycosum</i>	
	<i>Lithospermum distichum</i>	
	<i>Lithospermum mirabile</i>	
	<i>Lithospermum nelsonii</i>	
	<i>Lithospermum palmeri</i>	
	<i>Lithospermum viride</i>	
	<i>Macromeria barbigera</i>	
	<i>Macromeria leonitis</i>	
	<i>Omphalodes cardiophylla</i>	
	<i>Omphalodes mexicana</i>	

	<i>Onosmodium dodrantale</i>	
Brassicaceae	<i>Brassica campestris</i> var. <i>rapa</i>	
	<i>Brassica nigra</i>	
	<i>Cardamine auriculata</i>	
	<i>Cardamine macrocarpa</i>	
	<i>Diplotaxis muralis</i>	
	<i>Eruca sativa</i>	
	<i>Erysimum asperum</i>	
	<i>Erysimum asperum</i>	
	<i>Erysimum capitatum</i>	
	<i>Lepidium austrinum</i>	
	<i>Lepidium lasiocarpum</i>	
	<i>Lepidium virginicum</i>	
	<i>Lepidium virginicum</i> var. <i>pubescens</i>	
	<i>Lesquerella lasiocarpa</i>	
	<i>Lunaria annua</i>	
	<i>Lunaria rediviva</i>	
	<i>Nerisyrenia powellii</i>	
	<i>Physaria mirandiana</i>	
	<i>Rorippa mexicana</i>	
	<i>Rorippa nasturtium-aquaticum</i>	
	<i>Sisymbrium auriculatum</i>	
	<i>Sisymbrium irio</i>	
	<i>Synthlipsis greggii</i>	
	<i>Thelypodium longipes</i>	
Bromeliaceae	<i>Hechtia texensis</i>	
	<i>Tillandsia bartramii</i>	
	<i>Tillandsia parryi</i>	
	<i>Tillandsia recurvata</i>	
Buddlejaceae	<i>Tillandsia usneoides</i>	
	<i>Buddleja cordata</i> ssp. <i>cordata</i>	
	<i>Buddleja cordata</i> ssp. <i>tometella</i>	
Cactaceae	<i>Buddleja marrubifolia</i>	
	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	
	<i>Echinocereus reichenbachii</i>	A
	<i>Echinocereus stramineus</i>	
	<i>Echinocereus viereckii</i> ssp. <i>morricalii</i>	
	<i>Epithelantha micromeris</i>	Pr
	<i>Ferocactus haematacanthus</i>	Pr
	<i>Ferocactus pilosus</i>	Pr
	<i>Mammillaria chionocephala</i>	
	<i>Mammillaria melanocentra</i>	Pr
	<i>Mammillaria prolifera</i>	
	<i>Mammillaria winterae</i>	
	<i>Neolloydia conoidea</i>	
	<i>Opuntia engelmannii</i>	
	<i>Opuntia imbricata</i>	
	<i>Opuntia lindheimeri</i>	
	<i>Opuntia microdasys</i>	
	<i>Opuntia stenopetala</i>	
	<i>Selenicereus spinulosus</i>	
	<i>Turbincarpus beguinii</i> ssp. <i>beguinii</i>	Pr
Campanulaceae	<i>Campanula rotundifolia</i>	
	<i>Lobelia calcarea</i>	
	<i>Lobelia cardinalis</i>	
	<i>Lobelia ehrenbergii</i> var. <i>ehrenbergii</i>	
	<i>Lobelia sublibera</i>	
	<i>Triodanis biflora</i>	

	<i>Triodanis coloradoensis</i>	
Cannaceae	<i>Canna indica</i>	
Caparaceae	<i>Koeberlinia spinosa</i> <i>Polanisia dodecandra</i> <i>Polanisia uniglandulosa</i>	
Caprifoliaceae	<i>Abelia coriacea</i> var. <i>subcoriacea</i> <i>Lonicera japonica</i> <i>Lonicera pilosa</i> <i>Sambucus caerulea</i> <i>Sambucus mexicana</i> <i>Sambucus nigra</i> ssp. <i>canadensis</i> <i>Sambucus nigra</i> ssp. <i>cerulea</i> <i>Symphoricarpos orbiculatus</i> <i>Symphoricarpus microphyllus</i>	
Caryophyllaceae	<i>Arenaria benthamii</i> <i>Arenaria lanuginosa</i> <i>Arenaria lanuginosa</i> var. <i>saxosa</i> <i>Arenaria lycopodioides</i> <i>Saponaria officinalis</i> <i>Silene laciniata</i> <i>Silene laciniata</i> var. <i>greggii</i> <i>Stellaria cuspidata</i> <i>Stellaria prostrata</i>	
Celastraceae	<i>Mortonia greggii</i>	
Chenopodiaceae	<i>Beta vulgaris</i> <i>Chenopodium ambrosioides</i> <i>Chenopodium berlandieri</i> <i>Chenopodium graveolens</i> <i>Chenopodium incidium</i> <i>Chenopodium murale</i>	
Clusacieae	<i>Ascyrum hypericoides</i> <i>Hypericum formosum</i>	
Commelinaceae	<i>Aneilema geniculata</i> <i>Commelina dianthifolia</i> <i>Commelina erecta</i> var. <i>angustifolia</i> <i>Gibasis karwinskyana</i> ssp. <i>palmeri</i> <i>Gibasis pellucida</i> <i>Gibasis pulchella</i> <i>Tinantia pringlei</i> <i>Tradescantia brevifolia</i> <i>Tradescantia crassifolia</i> <i>Tradescantia pringlei</i> <i>Tripogandra angustifloia</i>	
Convolvulaceae	<i>Convolvulus equitans</i> <i>Dichondra repens</i> <i>Dichondra sericea</i> <i>Evolvulus alsinodes</i> <i>Hydrocotyle verticillata</i> <i>Ipomoea collina</i> <i>Ipomoea cristulata</i> <i>Ipomoea hederifolia</i> <i>Ipomoea nil</i> <i>Ipomoea orizabensis</i> var. <i>collina</i> <i>Ipomoea pubescens</i> <i>Ipomoea purpurea</i> <i>Ipomoea simulans</i>	
Cornaceae	<i>Cornus florida</i> ssp. <i>urbiniana</i>	Pr
Crassulaceae	<i>Echeveria simulans</i>	

	<i>Echeveria strictiflora</i> <i>Kalanchoe daigremontiana</i> <i>Lenophyllum acutifolium</i> <i>Sedum calcicola</i> <i>Sedum diffusum</i> <i>Sedum palmeri</i> <i>Sedum papillicaulum</i> <i>Sedum praealtum</i> <i>Sedum rhodocarpum</i> <i>Villadia squamulosa</i>
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita foetidissima</i> <i>Cyclanthera dissecta</i> <i>Cyclanthera langei</i> <i>Cyclanthera ribiflora</i> <i>Melothria pendula</i> <i>Sechium edule</i>
Cupressaceae	<i>Cupressus arizonica</i> var. <i>arizonica</i> <i>Juniperus deppeana</i> var. <i>deppeana</i> <i>Juniperus flaccida</i> var. <i>flaccida</i> <i>Taxodium mucronatum</i>
Cuscutaceae	<i>Cuscuta glabrior</i> <i>Cuscuta indecora</i> <i>Cuscuta mitriformis</i> <i>Cuscuta rugosiceps</i> <i>Cuscuta tinctoria</i>
Cyperaceae	<i>Bulbostylis juncoides</i> <i>Carex leucodonta</i> <i>Carex planostachys</i> <i>Cyperus hermaphroditus</i> <i>Cyperus niger</i> <i>Cyperus ochraceus</i> <i>Cyperus odoratus</i> <i>Cyperus pallidicolor</i> <i>Cyperus pseudothyrsiflorus</i> <i>Cyperus retroflexus</i> <i>Cyperus rotundus</i> <i>Eleocharis geniculata</i> <i>Fuirena simplex</i> <i>Rhynchospora colorata</i> <i>Scleria oligantha</i>
Ebenaceae	<i>Diospyros texana</i>
Equisetaceae	<i>Equisetum hyemale</i> var. <i>affine</i> <i>Equisetum laevigatum</i>
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> <i>Comarostaphylis polifolia</i> <i>Leucothoe mexicana</i> <i>Lyonia squamulosa</i> <i>Vaccinium kunthianum</i> <i>Vaccinium stramineum</i>
Euphorbiaceae	<i>Acalypha dioica</i> <i>Acalypha hederacea</i> <i>Acalypha lindheimeri</i> <i>Acalypha monostachya</i> <i>Acalypha ostryifolia</i> <i>Acalypha phleoides</i> <i>Argythamnia astroplethes</i> <i>Argythamnia neomexicana</i> <i>Bernardia myricaefolia</i> <i>Cnidoscolus rotundifolius</i>

	<i>Croton ciliatoglandulifer</i>
	<i>Croton dioicus</i>
	<i>Croton fruticosus</i>
	<i>Croton incanus</i>
	<i>Croton suaveolens</i>
	<i>Croton virletianus</i>
	<i>Euphorbia antisyphilitica</i>
	<i>Euphorbia campestris</i>
	<i>Euphorbia dentata</i>
	<i>Euphorbia fendleri</i>
	<i>Euphorbia furcillata</i>
	<i>Euphorbia graminea</i>
	<i>Euphorbia greggii</i>
	<i>Euphorbia heterophylla</i>
	<i>Euphorbia hyssopifolia</i>
	<i>Euphorbia lathyris</i>
	<i>Euphorbia macropus</i>
	<i>Euphorbia macropus</i> var. <i>novoleonensis</i>
	<i>Euphorbia montereyana</i>
	<i>Euphorbia nutans</i>
	<i>Euphorbia prostrata</i>
	<i>Euphorbia serpens</i>
	<i>Euphorbia villifera</i>
	<i>Jatropha dioica</i>
	<i>Keraselma lathyris</i>
	<i>Phyllanthus neoleonensis</i>
	<i>Phyllanthus polygonoides</i>
	<i>Poinsettia tubadenia</i>
	<i>Ricinus communis</i>
	<i>Sebastiania longipes</i>
	<i>Stillingia sanguinolenta</i>
	<i>Stillingia treculiana</i>
	<i>Tragia nepetaefolia</i>
	<i>Quercus acutifolia</i> var. <i>conspersa</i>
	<i>Quercus affinis</i>
	<i>Quercus canbyi</i>
	<i>Quercus coccolobaefolia</i>
	<i>Quercus eduardi</i>
	<i>Quercus endlichiana</i>
	<i>Quercus endlichiana</i> f. <i>serrata</i>
	<i>Quercus glaucoides</i>
	<i>Quercus graciliformis</i>
	<i>Quercus greggii</i>
	<i>Quercus hintoniorum</i>
	<i>Quercus intricata</i>
Fagaceae	<i>Quercus laceyi</i>
	<i>Quercus laeta</i>
	<i>Quercus laurina</i>
	<i>Quercus mexicana</i>
	<i>Quercus microphylla</i>
	<i>Quercus opaca</i>
	<i>Quercus pinnativenulosa</i>
	<i>Quercus polymorpha</i>
	<i>Quercus pringlei</i>
	<i>Quercus rysophylla</i>
	<i>Quercus saltillensis</i>
	<i>Quercus sartorii</i> x <i>mexicana</i>
	<i>Quercus striatula</i>
	<i>Quercus trinidadensis</i>

	<i>Quercus tuberculata</i>	
	<i>Quercus virginiana</i> var. <i>fusiformis</i>	
Flacourtiaceae	<i>Neopringlea integrifolia</i>	
	<i>Xylosma flexuosum</i>	
Fouquieriaceae	<i>Fouquieria splendens</i>	
Fumariaceae	<i>Corydalis pseudomicrantha</i>	
	<i>Garrya glaberrima</i>	
	<i>Garrya laurifolia</i>	
Garryaceae	<i>Garrya laurifolia</i> var. <i>macrophylla</i>	
	<i>Garrya ovata</i> var. <i>mexicana</i>	
	<i>Garrya wrightii</i>	
Gentianaceae	<i>Centaurium arizonicum</i>	
	<i>Eustoma exaltatum</i>	
	<i>Erodium cicutarium</i>	
Geraniaceae	<i>Geranium seemanni</i>	
	<i>Pelargonium odoratissimum</i>	
	<i>Fendlera linearis</i>	
	<i>Fendlerella lasiopetala</i>	
Hydrangeaceae	<i>Philadelphus calcicola</i>	
	<i>Philadelphus madrensis</i>	
	<i>Philadelphus microphyllus</i> var. <i>palmeri</i>	
	<i>Philadelphus pringlei</i>	
	<i>Drymaria barkleyi</i>	
	<i>Drymaria glandulosa</i>	
	<i>Drymaria laxiflora</i>	
	<i>Nama biflorum</i>	
	<i>Nama hintoniorum</i>	
	<i>Nama hispidum</i>	
Hydrophyllaceae	<i>Nama hispidum</i> var. <i>spathulatum</i>	
	<i>Nama palmeri</i>	
	<i>Nama propinquum</i>	
	<i>Nama stenophyllum</i>	
	<i>Nama undulatum</i>	
	<i>Phacelia congesta</i>	
	<i>Phacelia rupestris</i>	
	<i>Eustylis purpurea</i>	
	<i>Sisyrinchium demissum</i>	
	<i>Sisyrinchium dimorphum</i>	
Iridaceae	<i>Sisyrinchium novoleonense</i>	
	<i>Sisyrinchium scabrum</i>	
	<i>Sisyrinchium schaffneri</i>	
	<i>Tigridia pavonia</i>	
	<i>Carya illinoensis</i>	
	<i>Carya myristicaeformis</i>	
	<i>Carya ovata</i>	
Juglandaceae	<i>Carya ovata</i> var. <i>mexicana</i>	
	<i>Carya palmeri</i>	
	<i>Juglans major</i>	A
	<i>Juglans mollis</i>	
Juncaceae	<i>Juncus nodosus</i>	
Krameriaceae	<i>Krameria cytisoides</i>	
	<i>Agastache palmeri</i> var. <i>leonensis</i>	
	<i>Hedeoma costatum</i> var. <i>costatum</i>	
	<i>Hedeoma costatum</i> var. <i>pulchellum</i>	
Lamiaceae	<i>Hedeoma drummondii</i>	
	<i>Hedeoma irvingii</i>	
	<i>Hedeoma nanum</i> var. <i>nanum</i>	
	<i>Hedeoma palmeri</i> var. <i>santiagoanum</i>	

	<i>Hedeoma plicata</i>
	<i>Hyptis mutabilis</i>
	<i>Majorana hortensis</i>
	<i>Marrubium vulgare</i>
	<i>Mentha piperita</i>
	<i>Mentha rotundifolia</i>
	<i>Mentha spicata</i>
	<i>Monarda citriodora</i> var. <i>citriodora</i>
	<i>Monarda pringlei</i>
	<i>Physostegia correllii</i>
	<i>Prunella vulgaris</i>
	<i>Rosmarinus officinalis</i>
	<i>Salvia ballotiflora</i>
	<i>Salvia caudata</i>
	<i>Salvia chia</i>
	<i>Salvia coahuilensis</i>
	<i>Salvia coccinea</i>
	<i>Salvia compositachys</i>
	<i>Salvia coulteri</i>
	<i>Salvia forreri</i>
	<i>Salvia greggii</i>
	<i>Salvia hispanica</i>
	<i>Salvia involucrata</i>
	<i>Salvia jaimehintoniana</i>
	<i>Salvia lycioides</i>
	<i>Salvia microphylla</i>
	<i>Salvia reflexa</i>
	<i>Salvia regla</i>
	<i>Salvia roemeriana</i>
	<i>Salvia serotina</i>
	<i>Salvia sharpii</i>
	<i>Salvia urolepis</i>
	<i>Scutellaria drummondii</i>
	<i>Scutellaria monterreyana</i>
	<i>Scutellaria muzquiziana</i>
	<i>Scutellaria ovata</i> ssp. <i>mexicana</i>
	<i>Scutellaria potosina</i> var. <i>novoleonensis</i>
	<i>Scutellaria potosina</i> var. <i>potosina</i>
	<i>Scutellaria seleriana</i>
	<i>Scutellaria suffrutescens</i>
	<i>Stachys agraria</i>
	<i>Stachys bigelovii</i>
	<i>Stachys crenata</i>
	<i>Stachys grahami</i>
	<i>Stachys vulnerabilis</i>
	<i>Teucrium canadense</i>
	<i>Teucrium cubense</i> ssp. <i>cubense</i>
Lauraceae	<i>Litsea glauscecens</i>
	<i>Litsea parvifolia</i>
	<i>Litsea pedicellata</i>
	<i>Litsea pringlei</i>
	<i>Persea longipes</i>
Leguminosae	<i>Acacia berlandieri</i>
	<i>Acacia coulteri</i>
	<i>Acacia farnesiana</i>
	<i>Acacia rigidula</i>
	<i>Acacia roemeriana</i>
	<i>Acacia wrightii</i>
	<i>Acaciella angustissima</i> var. <i>angustissima</i>

Acaciella villosa
Amicia zygozeris
Astragalus austrinus var. *austrinus*
Astragalus emoryanus
Astragalus greggii
Astragalus mario-sousae
Astragalus regiomontanus
Astragalus sanguineus
Bauhinia macranthera
Caesalpinia mexicana
Calia secundiflora
Calliandra conferta
Canavalia septentrionalis
Canavalia villosa
Centrosema sagittatum
Centrosema virginianum
Cercis canadensis var. *mexicana*
Chamaecrista greggii var. *greggii*
Chamaecrista nictitans ssp. *disadena*
Clitoria mexicana
Cologania angustifolia
Cologania broussonetii
Coursetia caribaea var. *caribaea*
Coursetia glabella
Crotalaria incana
Crotalaria polyphylla
Crotalaria pumila
Crotalaria rotundifolia var. *vulgaris*
Crotalaria sagittalis
Dalea bicolor var. *bicolor*
Dalea greggii
Dalea hospes
Dalea longipila
Dalea lutea var. *lutea*
Dalea nana var. *carnescens*
Dalea pogonathera var. *walkerae*
Dalea saffordii
Dalea scandens
Dalea scandens var. *paucifolia*
Dalea wrightii
Desmanthus pringlei
Desmodium angustifolium
Desmodium caripense
Desmodium glutinosum
Desmodium grahami
Desmodium lindheimeri
Desmodium macrostachyum
Desmodium molliculum
Desmodium procumbens
Desmodium psilophyllum
Desmodium retinens
Ebenopsis ebano
Eysenhardtia texana
Galactia brachystachya
Galactia striata
Galactia texana
Havardia pallens
Hoffmanseggia glauca
Indigofera acutifolia

Indigofera hartwegii
Indigofera miniata var. *leptosepala*
Indigofera miniata var. *miniata*
Indigofera suffruticosa
Lathyrus longipes
Lathyrus parvifolius
Lespedeza virginica
Leucaena greggii
Leucaena pulverulenta
Lupinus caballoanus
Lupinus muelleri
Lupinus texensis
Macroptilium gibbosifolium
Marina scopa
Medicago lupulina
Medicago polymorpha
Medicago sativa
Melilotus albus
Melilotus indicus
Mimosa malacophylla
Mimosa quadrivalvis var. *latidens*
Mimosa texana var. *texana*
Mimosa zygophylla
Nissolia platycalyx
Nissolia platycarpa
Orbexilum melanocarpum
Orbexilum oliganthum
Painteria elachistophylla
Pedimelum rhombifolium
Phaseolus albiflorus
Phaseolus leptostachyus var. *leptostachyus*
Phaseolus maculatus ssp. *ritensis*
Phaseolus neglectus
Phaseolus scabrellus
Phaseolus vulgaris
Pisum sativum
Prosopis glandulosa var. *glandulosa*
Prosopis glandulosa var. *torreyana*
Prosopis laevigata
Rhynchosia difformis
Rhynchosia longeracemosa
Rhynchosia minima
Rhynchosia senna var. *angustifolia*
Robinia pseudo-acacia
Securigera varia
Senna lindheimerana
Senna occidentalis
Trifolium amabile
Trifolium amabile var. *hemsleyi*
Trifolium repens
Vicia americana ssp. *americana*
Vicia humilis
Vicia pulchella
Vicia villosa
Vigna populnea
Zapoteca media

Lentibulariaceae	<i>Pinguicula cyclosecta</i>
Liliaceae	<i>Allium glandulosum</i> <i>Allium hintoniorum</i>

	<i>Allium sativum</i>	
	<i>Asphodelus fistulosus</i>	
	<i>Cooperia pedunculata</i>	
	<i>Echeandia chandler</i>	
	<i>Echeandia durangensis</i>	
	<i>Echeandia flavescens</i>	
	<i>Echeandia skinneri</i>	
	<i>Hypoxys mexicana</i>	
	<i>Hypoxys pulchella</i>	
	<i>Manfreda maculosa</i>	
	<i>Manfreda variegata</i>	
	<i>Nothoscordum bivalve</i>	
	<i>Schoenocaulon macrocarpum</i>	
	<i>Schoenocaulon texanum</i>	
	<i>Zigadenus virescens</i>	Pr
Linaceae	<i>Linum lasiocarpum</i>	
	<i>Linum nelsoni</i>	
Linaceae	<i>Linum schiedeanum</i>	
	<i>Cevallia sinuata</i>	
	<i>Eucnide lobata</i>	
Loasaceae	<i>Eucnide xylinea</i>	
	<i>Mentzelia hispida</i>	
	<i>Mentzelia incisa</i>	
	<i>Mentzelia lindheimeri</i>	
Loganiaceae	<i>Cynoctonum mitreola</i>	
	<i>Cuphea aequipetala</i>	
	<i>Cuphea cyanea</i>	
Lythraceae	<i>Heimia salicifolia</i>	
	<i>Lythrum acinifolium</i>	
	<i>Lythrum californicum</i>	
Magnoliaceae	<i>Magnolia dealbata</i>	P
	<i>Callaeum septentrionale</i>	
Malpighiaceae	<i>Malpighia glabra</i>	
	<i>Mascagnia lilacina</i>	
	<i>Mascagnia macroptera</i>	
	<i>Abutilon fruticosum</i>	
	<i>Abutilon hypoleucum</i>	
	<i>Allowissadula holosericea</i>	
	<i>Anoda cristata</i>	
	<i>Anoda leonensis</i>	
	<i>Batesimalva violacea</i>	
	<i>Herissantia crispa</i>	
	<i>Hibiscus acicularis</i>	
	<i>Hibiscus coulteri</i>	
	<i>Hibiscus denudatus</i>	
	<i>Hibiscus martianus</i>	
Malveaceae	<i>Malva parviflora</i>	
	<i>Malvastrum americanum</i>	
	<i>Malvastrum coromandelianum</i>	
	<i>Melochia pyramidata</i>	
	<i>Pavonia lasiopetala</i>	
	<i>Sida abutilifolia</i>	
	<i>Sida elliottii</i> var. <i>parvifolia</i>	
	<i>Sida rhombifolia</i>	
	<i>Sida spinosa</i>	
	<i>Sphaeralcea angustifolia</i>	
	<i>Sphaeralcea endlichii</i>	
	<i>Sphaeralcea hastulata</i>	

	<i>Wissadula amplissima</i>
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i>
Menispermaceae	<i>Cocculus carolinus</i>
Monotropaceae	<i>Monotropa hypopithys</i>
	<i>Ficus carica</i>
Moraceae	<i>Morus alba</i>
	<i>Morus celtidifolia</i>
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>
Najadaceae	<i>Najas guadalupensis</i>
	<i>Acleisanthes longiflora</i>
	<i>Allionia choisyi</i>
	<i>Allionia incarnata</i> var. <i>incarnata</i>
	<i>Boerhavia coccinea</i>
	<i>Cyphomeris crassifolia</i>
	<i>Mirabilis albida</i>
Nyctaginaceae	<i>Mirabilis glabrifolia</i>
	<i>Mirabilis jalapa</i>
	<i>Mirabilis longiflora</i> var. <i>wrightiana</i>
	<i>Mirabilis nesomii</i>
	<i>Mirabilis oxybaphoides</i>
	<i>Mirabilis polonii</i>
	<i>Nyctaginia capitata</i>
	<i>Forestiera reticulata</i>
	<i>Fraxinus cuspidata</i>
Oleaceae	<i>Fraxinus greggii</i>
	<i>Menodora longiflora</i>
	<i>Osmanthus americana</i>
	<i>Calylophus hartwegii</i> var. <i>hartwegii</i>
	<i>Gaura calcicola</i>
	<i>Gaura coccinea</i>
	<i>Lopezia nuevo-leonis</i>
Onagraceae	<i>Lopezia racemosa</i>
	<i>Oenothera jamesii</i>
	<i>Oenothera kunthiana</i>
	<i>Oenothera rosea</i>
	<i>Oenothera speciosa</i>
	<i>Oenothera tetraptera</i>
	<i>Corallorhiza bulbosa</i>
	<i>Corallorhiza maculata</i>
	<i>Corallorhiza wisteriana</i>
	<i>Dichromanthus</i> sp.
	<i>Goodyera oblongifolia</i>
	<i>Govenia liliacea</i>
	<i>Hexalectris grandiflora</i>
Orchidaceae	<i>Malaxis corymbosa</i>
	<i>Malaxis hintonii</i>
	<i>Malaxis wendtii</i>
	<i>Platanthera limosa</i>
	<i>Platanthera sparsiflora</i> var. <i>sparsiflora</i>
	<i>Prescottia tubulosa</i>
	<i>Schiedeella rubrocalosa</i>
	<i>Spiranthes vernalis</i>
Orobanchaceae	<i>Conopholis alpina</i>
	<i>Oxalis berlandieri</i>
	<i>Oxalis corniculata</i>
Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> var. <i>pilosa</i>
	<i>Oxalis drummondii</i>
	<i>Oxalis latifolia</i>

Papaveraceae	<i>Argemone aenea</i>	
	<i>Argemone albiflora</i>	
	<i>Argemone echinata</i>	
	<i>Argemone mexicana</i> ssp. <i>mexicana</i>	
	<i>Bocconia frutescens</i>	
	<i>Hunnemannia fumariaefolia</i>	
Passifloraceae	<i>Passiflora affinis</i>	
	<i>Passiflora suberosa</i>	
Pedaliaceae	<i>Proboscidea louisianica</i> var. <i>fragrans</i>	
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca icosandra</i>	
	<i>Rivina humilis</i>	
Pinaceae	<i>Abies vejarii</i>	
	<i>Picea martinezii</i>	P
	<i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>cembroides</i>	
	<i>Pinus cembroides</i> var. <i>bicolor</i>	
	<i>Pinus greggii</i> var. <i>greggii</i>	
	<i>Pinus hartwegii</i>	
	<i>Pinus johannis</i>	
	<i>Pinus montezumae</i> var. <i>montezumae</i>	
	<i>Pinus pinceana</i>	P
	<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	
	<i>Pinus remota</i>	Pr
	<i>Pinus teocote</i>	
Piperaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i> var. <i>glauca</i>	Pr
	<i>Peperomia berlandieri</i>	
	<i>Peperomia blanda</i>	
	<i>Peperomia quadrifolia</i>	
	<i>Piper auritum</i>	
Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i>	
	<i>Plantago australis</i> ssp. <i>hirtella</i>	
	<i>Plantago hookeriana</i>	
	<i>Plantago lanceolata</i>	
	<i>Plantago major</i>	
	<i>Plantago rhodosperma</i>	
Platanaceae	<i>Platanus occidentalis</i> var. <i>glabrata</i>	
	<i>Platanus occidentalis</i> var. <i>mexicana</i>	
	<i>Platanus rzedowskii</i>	
Plumbaginaceae	<i>Plumbago scandens</i>	
Poaceae	<i>Agrostis exarata</i>	
	<i>Agrostis semiverticillata</i>	
	<i>Andropogon glomeratus</i>	
	<i>Aristida glauca</i>	
	<i>Aristida purpurea</i>	
	<i>Aristida purpurea</i> var. <i>purpurea</i>	
	<i>Aristida roemeriana</i>	
	<i>Arundinella berteroniana</i>	
	<i>Avena fatua</i> var. <i>fatua</i>	
	<i>Avena fatua</i> var. <i>sativa</i>	
	<i>Bothriochloa isaechaemum</i> var. <i>songarica</i>	
	<i>Bothriochloa saccharoides</i>	
	<i>Bothriochloa saccharoides</i> var. <i>torreyana</i>	
	<i>Bouteloua barbata</i>	
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	
	<i>Bouteloua curtipendula</i> var. <i>caespitosa</i>	
	<i>Bouteloua repens</i>	
	<i>Bouteloua trifida</i>	
	<i>Brachypodium mexicanum</i>	
	<i>Briza minor</i>	

Briza subaristata
Bromus anomalus
Bromus carinatus
Bromus catharticus
Bromus marginatus
Bromus meyeri
Bromus unioloides
Buchloe dactyloides
Cenchrus incertus
Chasmanthium latifolium
Chloris andropogonoides
Chloris submutica
Cynodon dactylon
Dasyochloa pulchella
Dichanthelium acuminatum
Dichanthelium angustifolium
Dichanthelium lanuginosum var. *lanuginosum*
Dichanthelium laxiflorum
Dichanthelium malacophyllum
Dichanthelium pedicellatum
Dichanthelium sphaerocarpon
Digitaria adscendens
Digitaria bicornis
Digitaria californica
Digitaria ciliaris
Digitaria cognata ssp. *pubiflora*
Digitaria hitchcockii
Digitaria insularis
Digitaria sanguinalis
Eleusine indica
Elymus canadensis
Elymus canadensis var. *brachystachys*
Elymus longifolius
Elymus pringlei
Enneapogon desvauxii
Eragrostis barrelieri
Eragrostis capillaris
Eragrostis ciliaris
Eragrostis diffusa
Eragrostis intermedia var. *oreophila*
Eragrostis lugens
Eragrostis mexicana
Eragrostis pilosa
Erioneuron pilosum
Festuca amplissima
Glyceria striata
Hyparrhenia hirta
Koeleria pyramidata
Leersia monara
Leersia virginica
Leptoloma cognata
Link ssp. mexicana
Lycurus phleoides
Muhlenbergia dubia
Muhlenbergia emersleyi
Muhlenbergia monticola
Muhlenbergia parviglumis
Muhlenbergia peruviana
Muhlenbergia utilis

	<i>Nassella leucotricha</i>
	<i>Nassella mucronata</i>
	<i>Oplismenus cristatus</i>
	<i>Oplismenus hirtellus</i>
	<i>Panicum acuminatum</i>
	<i>Panicum antidotale</i>
	<i>Panicum bulbosum</i>
	<i>Panicum diffusum</i>
	<i>Panicum fasciculatum</i>
	<i>Pappophorum bicolor</i>
	<i>Paspalum botteri</i>
	<i>Paspalum conjugatum</i>
	<i>Paspalum convexum</i>
	<i>Paspalum dilatatum</i>
	<i>Paspalum distichum</i>
	<i>Paspalum hartwegianum</i>
	<i>Paspalum langei</i>
	<i>Paspalum mutabile</i>
	<i>Paspalum pubiflorum</i>
	<i>Paspalum tinctum</i>
	<i>Paspalum unispicatum</i>
	<i>Piptochaetium angustifolium</i>
	<i>Piptochaetium fimbriatum</i>
	<i>Poa annua</i>
	<i>Poa compressa</i>
	<i>Polypogon monspeliensis</i>
	<i>Polypogon viridis</i>
	<i>Rhynchelytrum repens</i>
	<i>Schizachyrium cirratum</i> var. <i>cirratum</i>
	<i>Schizachyrium scoparium</i> var. <i>littorale</i>
	<i>Setaria geniculata</i>
	<i>Setaria glauca</i>
	<i>Setaria grisebachii</i>
	<i>Setaria leucophylla</i>
	<i>Setaria parvifolia</i>
	<i>Setaria scheelei</i>
	<i>Setaria viridis</i>
	<i>Sorghastrum brunneum</i>
	<i>Sorghum halepense</i>
	<i>Sporobolus buckleyi</i>
	<i>Sporobolus indicus</i> var. <i>indicus</i>
	<i>Stipa clandestina</i>
	<i>Stipa constricta</i>
	<i>Stipa eminens</i>
	<i>Stipa leucotricha</i>
	<i>Stipa mucronata</i>
	<i>Tragus berteronianus</i>
	<i>Tridens muticus</i>
	<i>Tridens texanus</i>
	<i>Tripsacum dactyloides</i>
	<i>Cobaea pringlei</i>
	<i>Gilia acerosa</i>
	<i>Gilia incisa</i>
Polemoniaceae	<i>Gilia rigidula</i> var. <i>rigidula</i>
	<i>Gilia stewartii</i>
	<i>Ipomopsis aggregata</i> ssp. <i>formosissima</i>
	<i>Loeselia coerulea</i>
Polygalaceae	<i>Polygala alba</i>
	<i>Polygala glandulosa</i>

	<i>Polygala lindheimeri</i> var. <i>eucosma</i> <i>Polygala ovatifolia</i> <i>Polygala scoparioides</i> <i>Polygala semialata</i> <i>Polygala viridis</i>
Polygonaceae	<i>Eriogonum greggii</i> <i>Eriogonum jamesii</i> <i>Eriogonum jamesii</i> var. <i>undulatum</i> <i>Polygonum aviculare</i> <i>Polygonum lapathifolium</i> <i>Rumex mexicanus</i> <i>Rumex pulcher</i> var. <i>eupulcher</i>
Polypodiaceae	<i>Phlebodium aureum</i> <i>Pleopeltis guttata</i> <i>Pleopeltis polylepsis</i> var. <i>erythrolepis</i> <i>Pleopeltis polylepsis</i> var. <i>polylepsis</i> <i>Pleopeltis polypodioides</i> var. <i>michauxiana</i> <i>Polypodium plesiosorum</i> <i>Polypodium polypodiodes</i> <i>Polypodium polypodiodes</i> var. <i>michauxianum</i> <i>Polypodium subpetiolatum</i>
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> <i>Portulaca pilosa</i> <i>Talinum aurantiacum</i> <i>Talinum paniculatum</i>
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton illinoensis</i>
Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i> <i>Samolus ebracteatus</i> <i>Samolus parviflorus</i>
Pteridaceae	<i>Adiantum capillus-veneris</i> <i>Allosorus tomentosus</i> <i>Argyrochosma microphylla</i> <i>Astrolepis integerrima</i> <i>Astrolepis integerrima</i> <i>Astrolepis sinuata</i> <i>Cheilanthes aemula</i> <i>Cheilanthes alabamensis</i> <i>Cheilanthes bonariensis</i> <i>Cheilanthes candida</i> <i>Cheilanthes eatonii</i> <i>Cheilanthes horridula</i> <i>Cheilanthes integerrima</i> <i>Cheilanthes microphylla</i> <i>Cheilanthes sinuata</i> <i>Llavea cordifolia</i> <i>Mildella fallax</i> <i>Mildella intramarginalis</i> var. <i>intramarginalis</i> <i>Notholaena aschenborniana</i> <i>Notholaena candida</i> var. <i>copelandii</i> <i>Notholaena nealleyi</i> <i>Pellaea atropurpurea</i> <i>Pellaea ovata</i> <i>Pteris cretica</i> <i>Pteris longifolia</i> <i>Pteris vittata</i>
Ranunculaceae	<i>Aquilegia chrysantha</i> <i>Aquilegia longissima</i> <i>Clematis drummondii</i> <i>Clematis grossa</i>

	<i>Clematis pitcheri</i> <i>Delphinium madrense</i> <i>Ranunculus peruvianus</i> <i>Ranunculus petiolaris</i> <i>Ranunculus petiolaris</i> var. <i>sierrae-orientalis</i> <i>Thalictrum fendleri</i> <i>Thalictrum grandifolium</i>
Resedaceae	<i>Oligomeris linifolia</i>
	<i>Ceanothus buxifolius</i> <i>Ceanothus coeruleus</i> <i>Ceanothus fendleri</i> <i>Ceanothus greggii</i> <i>Colubrina greggii</i> var. <i>greggii</i> <i>Condalia correllii</i> <i>Condalia hookeri</i> <i>Condalia viridis</i> <i>Karwinskia humboltiana</i> <i>Rhamnus betulifolia</i> <i>Rhamnus revoluta</i> <i>Rhamnus serrata</i>
	<i>Cercocarpus fothergilloides</i> <i>Cercocarpus macrophyllus</i> <i>Cercocarpus mojadensis</i> <i>Cowania plicata</i> <i>Crataegus crus-galli</i> <i>Crataegus rosei</i> <i>Crataegus tracyi</i> var. <i>madrensis</i> <i>Duchesnea indica</i> <i>Fragaria californica</i> <i>Fragaria mexicana</i> <i>Fragaria virginiana</i> var. <i>ovalis</i> <i>Holodiscus discolor</i> <i>Lindleya mespiloides</i> <i>Malacomeles denticulata</i> var. <i>denticulata</i> <i>Malacomeles paniculata</i> <i>Physocarpus opulifolius</i> var. <i>intermedius</i> <i>Prunus domestica</i> <i>Prunus mexicana</i> <i>Prunus serotina</i> ssp. <i>serotina</i> <i>Prunus serotina</i> ssp. <i>virens</i> <i>Rosa carolina</i> <i>Rosa serrulata</i> <i>Rubus flagellaris</i> <i>Rubus humistratus</i> <i>Rubus trivialis</i> <i>Vauquelinia corymbosa</i> <i>Vauquelinia corymbosa</i> var. <i>saltillensis</i>
Rosaceae	
	<i>Borreria laevis</i> <i>Bouvardia ternifolia</i> <i>Cephalanthus occidentalis</i> <i>Chiococca alba</i> <i>Crusea diversifolia</i> <i>Diodia teres</i> <i>Galium aschenbornii</i> <i>Galium mexicanum</i> <i>Galium microphyllum</i> <i>Galium oresbium</i> <i>Galium pringlei</i> <i>Galium rzedowskii</i>
Rubiaceae	

	<i>Galium uncinulatum</i> <i>Hedyotis intricata</i> <i>Hedyotis nigricans</i> var. <i>nigricans</i> <i>Hedyotis palmeri</i> <i>Houstonia acerosa</i> ssp. <i>acerosa</i> <i>Oldenlandia ovata</i> <i>Randia laetevirens</i> <i>Randia pringlei</i>
Rutaceae	<i>Amyris madrensis</i> <i>Amyris marshii</i> <i>Casimiroa greggii</i> <i>Casimiroa pringlei</i> <i>Decatropis bicolor</i> <i>Esenbeckia berlandieri</i> <i>Helietta parvifolia</i> <i>Ptelea trifoliata</i> <i>Ruta graveolens</i> <i>Sargentia greggii</i> <i>Thamnosma texana</i> <i>Zanthoxylum fagara</i>
Sabiaceae	<i>Meliosma alba</i>
Salicaceae	<i>Populus mexicana</i> <i>Populus tremuloides</i> <i>Salix jaliscana</i> <i>Salix nigra</i>
Sapindaceae	<i>Cardiospermum halicacabum</i> <i>Dodonaea viscosa</i> <i>Koerleuteria paniculata</i> <i>Sapindus saponaria</i> <i>Serjania brachycarpa</i> <i>Serjania incisa</i> <i>Ungnadia speciosa</i> <i>Urvillea ulmacea</i>
Sapotaceae	<i>Syderoxylon lanuginosum</i>
Saxifragaceae	<i>Heuchera mexicana</i> <i>Heuchera rubescens</i>
Scrophulariaceae	<i>Bacopa monnieri</i> <i>Castilleja integrifolia</i> var. <i>integrifolia</i> <i>Castilleja lanata</i> <i>Castilleja scorzoneraefolia</i> <i>Castilleja tenuiflora</i> var. <i>xylorrhiza</i> <i>Cymbalaria muralis</i> <i>Hemichaena cebollana</i> <i>Leucophyllum langmaniae</i> <i>Maurandya barclaiana</i> <i>Mecardonia procumbens</i> <i>Mimulus glabratus</i> <i>Penstemon barbatus</i> <i>Penstemon campanulatus</i> <i>Penstemon lanceolatus</i> <i>Seymeria deflexa</i> <i>Seymeria virgata</i> <i>Veronica persica</i>
Selaginellaceae	<i>Selaginella delicatissima</i> <i>Selaginella lepidophylla</i> <i>Selaginella novoleonensis</i> <i>Selaginella pallescens</i> <i>Selaginella pilifera</i>

	<i>Selaginella wrightii</i>	
Simaroubaceae	<i>Picramnia polyantha</i>	
	<i>Smilax aristolochiifolia</i>	
Smilacaceae	<i>Smilax bona-nox</i>	
	<i>Smilax lanceolata</i>	
	<i>Smilax moranensis</i>	
	<i>Bouchetia erecta</i>	
	<i>Capsicum annuum</i> var. <i>minus</i>	
	<i>Capsicum ciliatum</i>	
	<i>Cestrum anagyris</i>	
	<i>Cestrum oblongifolium</i>	
	<i>Datura stramonium</i>	
	<i>Hunzikeria texana</i>	
	<i>Jaltomata procumbens</i>	
	<i>Lycium berlandieri</i>	
	<i>Nicotiana glauca</i>	
	<i>Nicotiana nudicaulis</i>	
	<i>Nicotiana trigonophylla</i>	
Solanaceae	<i>Petunia parviflora</i>	
	<i>Physalis cinerascens</i>	
	<i>Physalis hederifolia</i>	
	<i>Physalis philadelphica</i>	
	<i>Physalis pubescens</i>	
	<i>Physalis sordida</i>	
	<i>Physalis stapelioides</i>	
	<i>Physalis viscosa</i>	
	<i>Solanum americanum</i>	
	<i>Solanum douglasii</i>	
	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	
	<i>Solanum erianthum</i>	
	<i>Solanum rostratum</i>	
	<i>Witheringia mexicana</i>	
Staphyleaceae	<i>Staphylea pringlei</i>	
Styracaceae	<i>Styrax platanifolius</i> var. <i>mollis</i>	
Taxaceae	<i>Taxus globosa</i>	Pr
	<i>Thelypteris concinna</i>	
Thelypteridaceae	<i>Thelypteris ovata</i> var. <i>lindheimeri</i>	
	<i>Thelypteris rudis</i>	
	<i>Tilia americana</i> var. <i>caroliniana</i>	
Tiliceae	<i>Tilia caroliniana</i>	
	<i>Tilia floridana</i>	
Turneraceae	<i>Turnera diffusa</i>	
	<i>Celtis laevigata</i>	
Ulmaceae	<i>Celtis pallida</i>	
	<i>Ulmus crassifolia</i>	
	<i>Ulmus serotina</i>	
	<i>Boehmeria cylindrica</i>	
Urticaceae	<i>Parietaria pensylvanica</i> var. <i>obtus</i>	
	<i>Pilea microphylla</i>	
	<i>Urtica chamaedryoides</i>	
	<i>Valeriana clematitis</i>	
Valerianaceae	<i>Valeriana scandens</i>	
	<i>Valeriana subincisa</i>	
	<i>Aloysia gratissima</i>	
Verbenaceae	<i>Aloysia macrostachya</i>	
	<i>Glandularia bipinnatifida</i>	
	<i>Glandularia elegans</i>	
	<i>Glandularia polyantha</i>	

	<i>Glandularia quadrangulata</i>
	<i>Lantana achyranthifolia</i>
	<i>Lantana camara</i>
	<i>Lantana canescens</i>
	<i>Lantana hirsuta</i>
	<i>Lantana hirsuta x camara</i>
	<i>Lantana macropoda</i>
	<i>Lantana velutina</i>
	<i>Lippia graveolens</i>
	<i>Phyla fruticosa</i>
	<i>Phyla incisa</i>
	<i>Phyla nodiflora</i>
	<i>Phyla strigulosa</i>
	<i>Priva mexicana</i>
	<i>Umber</i> var. <i>verecunda</i>
	<i>Verbena brasiliensis</i>
	<i>Verbena canescens</i>
	<i>Verbena carolina</i>
	<i>Verbena ciliata</i>
	<i>Verbena cloverae</i>
	<i>Verbena elegans</i>
	<i>Verbena elegans</i> var. <i>asperata</i>
	<i>Verbena litoralis</i>
	<i>Verbena menthaefolia</i>
	<i>Verbena neomexicana</i>
	<i>Verbena officinalis</i>
	<i>Verbena officinalis</i> ssp. <i>halei</i>
	<i>Verbena runyonii</i>
Violaceae	<i>Viola nuevo-leonensis</i>
Viscaceae	<i>Arceuthobium vaginatum</i>
	<i>Phoraderron villosum</i>
Vitaceae	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>
	<i>Vitis berlandieri</i>
	<i>Vitis cinerea</i>
Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>
	<i>Guaiacum angustifolium</i>
Zygophyllaceae	<i>Kallstroemia parviflora</i>
	<i>Larrea tridentata</i>

Anexo 2

Listado faunístico del Parque Nacional “Cumbres de Monterrey” y estatus respectivo por especie según la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Clase	Orden	Familia	Especie	NOM-059
Actinopterygii	Atheriniformes	Atherinopsidae	<i>Menidia beryllina</i>	
	Characiformes	Characidae	<i>Astyanax mexicanus</i>	
	Cichliformes	Cichlidae	<i>Herichthys cyanoguttatus</i>	
			<i>Oreochromis aureus</i>	
	Clupeiformes	Clupeidae	<i>Dorosoma cepedianum</i>	
			<i>Dorosoma petenense</i>	
	Cypriniformes	Catostomidae	<i>Scartomyzon congestus</i>	A
		Cyprinidae	<i>Campostoma anomalum</i>	
			<i>Cyprinella lutrensis</i>	A
			<i>Cyprinella rutila</i>	A
			<i>Cyprinus carpio</i>	
			<i>Dionda melanops</i>	
			<i>Notropis amabilis</i>	A
			<i>Notropis jemezianus</i>	A
			<i>Notropis stramineus</i>	
		Fundulidae	<i>Fundulus sp.</i>	
	Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	
			<i>Heterandria bimaculata</i>	
			<i>Poecilia formosa</i>	
			<i>Poecilia mexicana</i>	
			<i>Poeciliopsis gracilis</i>	
			<i>Xiphophorus hellerii</i>	
Amphibia	Anura	Perciformes	<i>Lepomis macrochirus</i>	
			<i>Lepomis megalotis</i>	
			<i>Micropterus salmoides</i>	
		Percidae	<i>Etheostoma grahami</i>	A
		Siluriformes	<i>Ictalurus lupus</i>	Pr
			<i>Ictalurus punctatus</i>	
		Bufonidae	<i>Anaxyrus cognatus</i>	
			<i>Anaxyrus debilis</i>	Pr
			<i>Anaxyrus punctatus</i>	
			<i>Incilis nebulifer</i>	
			<i>Rhinella marina</i>	
		Craugastoridae	<i>Craugastor augusti</i>	
		Eleutherodactylidae	<i>Eleutherodactylus cystignathoides campi</i>	
			<i>Eleutherodactylus guttilatus</i>	
			<i>Eleutherodactylus longipes</i>	
		Hylidae	<i>Ecnomiophyla miotympanum</i>	
			<i>Smilisca baudinii</i>	
		Leptodactylidae	<i>Leptodactylus fragilis</i>	
		Microhylidae	<i>Gastrophryne olivacea</i>	Pr
			<i>Hypopachus variolosus</i>	
		Ranidae	<i>Lithobates berlandieri</i>	
		Scaphiropodidae	<i>Scaphiopus couchi</i>	
			<i>Spea multiplicata</i>	
Arachnida	Araneae	Caudata	<i>Plethodontidae</i>	Pr
			<i>Agelenidae</i>	
			<i>Araneidae</i>	
			<i>Clubionidae</i>	
			<i>Dipluridae</i>	
			<i>Hersiliidae</i>	
			<i>Homisidae</i>	
			<i>Linyphiidae</i>	
			<i>Lycosidae</i>	

				Oxyopidae	
				Pholcidae	
				Pisauridae	
				Salticidae	
				Tetragnathidae	
				Theraphosidae	<i>Aphonopelma moderatum</i>
					<i>Aphonopelma</i> sp.
				Theridiidae	
				Uloboridae	
Aves					<i>Accipiter cooperii</i>
					<i>Accipiter striatus</i>
					<i>Buteo albonotatus</i>
					<i>Buteo brachyurus</i>
					<i>Buteo jamaicensis</i>
					<i>Buteo lineatus</i>
					<i>Buteo swainsoni</i>
					<i>Buteogallus anthracinus</i>
					<i>Elanus leucurus</i>
					<i>Parabuteo unicinctus</i>
					<i>Cathartes aura</i>
					<i>Coragyps atratus</i>
					<i>Aix sponsa</i>
					<i>Anas clypeata</i>
					<i>Anas platyrhynchos</i>
					<i>Aeronautes saxatalis</i>
					<i>Amazilia yucatanensis</i>
					<i>Archilochus alexandri</i>
					<i>Calothorax lucifer</i>
					<i>Cynanthus latirostris</i>
					<i>Eugenes fulgens</i>
					<i>Hylocharis leucotis</i>
					<i>Lampornis clemenciae</i>
					<i>Selasphorus platycercus</i>
					<i>Phalaenoptilus nuttallii</i>
					<i>Columbina inca</i>
					<i>Columbina passerina</i>
					<i>Leptotila verreaux</i>
					<i>Patagioenas fasciata</i>
					<i>Patagioenas flavirostris</i>
					<i>Streptopelia decaocto</i>
					<i>Zenaida asiatica</i>
					<i>Zenaida macroura</i>
					<i>Chloroceryle americana</i>
					<i>Megaceryle torquata</i>
					<i>Geococcyx californianus</i>
					<i>Falco peregrinus</i>
					<i>Falco sparverius</i>
					<i>Actitis macularius</i>
					<i>Fulica americana</i>
					<i>Callipepla squamata</i>
					<i>Colinus virginianus</i>
					<i>Butorides virescens</i>
					<i>Meleagris gallopavo</i>
					<i>Psaltiriparus minimus</i>
					<i>Cardinalis cardinalis</i>
					<i>Cardinalis sinuatus</i>
					<i>Passerina caerulea</i>
					<i>Passerina ciris</i>
					<i>Passerina cyanea</i>

	<i>Passerina versicolor</i>
	<i>Pheucticus melanocephalus</i>
	<i>Piranga bidentata</i>
	<i>Piranga flava</i>
	<i>Piranga ludoviciana</i>
	<i>Rhodothraupis celaeno</i>
Carduelinae	<i>Carpodacus mexicanus</i>
	<i>Passer domesticus</i>
	<i>Spinus psaltria</i>
	<i>Spinus tristis</i>
Certhiidae	<i>Certhia americana</i>
Corvidae	<i>Aphelocoma ultramarina</i>
	<i>Corvus corax</i>
	<i>Corvus cryptoleucus</i>
	<i>Cyanocorax yncas</i>
	<i>Psilorhinus morio</i>
Emberizidae	<i>Aimophila ruficeps</i>
	<i>Amphispiza bilineata</i>
	<i>Arremonops rufivirgatus</i>
	<i>Atlapetes pileatus</i>
	<i>Junco phaeonotus</i>
	<i>Melospiza lincolni</i>
	<i>Melospiza fusca</i>
	<i>Peucaea botterii</i>
	<i>Pipilo maculatus</i>
	<i>Poocetes gramineus</i>
	<i>Spizella atrogularis</i>
	<i>Spizella pallida</i>
	<i>Spizella passerina</i>
Hirundinidae	<i>Hirundo rustica</i>
	<i>Tachycineta bicolor</i>
Icteridae	<i>Icterus cucullatus</i>
	<i>Icterus graduacauda</i>
	<i>Icterus parisorum</i>
	<i>Molothrus aeneus</i>
	<i>Molothrus ater</i>
	<i>Quiscalus mexicanus</i>
Laniidae	<i>Lanius ludovicianus</i>
Mimidae	<i>Bombycilla cedrorum</i>
	<i>Mimus polyglottos</i>
	<i>Toxostoma crissale</i>
	<i>Toxostoma curvirostre</i>
	<i>Toxostoma longirostre</i>
Paridae	<i>Baeolophus atricristatus</i>
	<i>Baeolophus wollweber</i>
	<i>Poecile sclater</i>
Parulidae	<i>Basileuterus rufifrons</i>
	<i>Cardellina pusilla</i>
	<i>Mniotilta varia</i>
	<i>Myioborus pictus</i>
	<i>Oreothlypis celata</i>
	<i>Oreothlypis crissalis</i>
	<i>Oreothlypis superciliosa</i>
	<i>Setophaga americana</i>
	<i>Setophaga chrysoparia</i>
	<i>Setophaga coronata</i>
	<i>Setophaga petechia</i>
	<i>Setophaga pinus</i>
	<i>Setophaga pitiayumi</i>

		<i>Setophaga townsendi</i>	
		<i>Setophaga virens</i>	
	Peucedramidae	<i>Peucedramus taeniatus</i>	
	Poliophtilidae	<i>Poliophtila caerulea</i>	
		<i>Poliophtila melanura</i>	
	Ptilogonatidae	<i>Phainopepla nitens</i>	
		<i>Ptilogonys cinereus</i>	
	Regulidae	<i>Regulus calendula</i>	
	Remizidae	<i>Auriparus flaviceps</i>	
	Sittidae	<i>Sitta carolinensis</i>	
		<i>Sitta pygmaea</i>	
	Thraupidae	<i>Euphonia elegantissima</i>	
		<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	
		<i>Catherpes mexicanus</i>	
	Troglodytidae	<i>Salpinctes obsoletus</i>	
		<i>Thryomanes bewickii</i>	
		<i>Troglodytes aedon</i>	
		<i>Catharus guttatus</i>	
		<i>Catharus ustulatus</i>	
		<i>Myadestes accidentalis</i>	
		<i>Myadestes occidentalis</i>	Pr
	Turdidae	<i>Myadestes townsendi</i>	
		<i>Sialia mexicana</i>	
		<i>Sialia sialis</i>	
		<i>Turdus grayi</i>	
		<i>Turdus migratorius</i>	
		<i>Contopus pertinax</i>	
		<i>Contopus sordidulus</i>	
		<i>Empidonax fulvifrons</i>	
		<i>Empidonax oberholseri</i>	
		<i>Myiarchus cinerascens</i>	
		<i>Myiarchus tuberculifer</i>	
	Tyrannidae	<i>Myiodynastes luteiventris</i>	
		<i>Pitangus sulphuratus</i>	
		<i>Pyrocephalus rubinus</i>	
		<i>Sayornis nigricans</i>	
		<i>Sayornis phoebe</i>	
		<i>Sayornis saya</i>	
		<i>Tyrannus couchii</i>	
	Vireonidae	<i>Vireo huttoni</i>	
		<i>Vireo solitarius</i>	
		<i>Colaptes auratus</i>	
		<i>Colaptes rubiginosus</i>	
	Piciformes	<i>Melanerpes aurifrons</i>	
	Picidae	<i>Melanerpes formicivorus</i>	
		<i>Picoides scalaris</i>	
		<i>Picoides villosus</i>	
		<i>Sphyrapicus varius</i>	
	Psittaciformes	<i>Rhynchopsitta terrisi</i>	Pr
		<i>Bubo virginianus</i>	A
		<i>Glaucidium gnoma</i>	A
	Strigiformes	<i>Megascops asio</i>	Pr
		<i>Micrathene whitneyi</i>	
		<i>Otus flammeolus</i>	
	Trogoniformes	<i>Trogon elegans</i>	
		<i>Bosmina longirostris</i>	
Branchiopoda	Anomopoda	<i>Eubosmina coregoni</i>	
		<i>Alona circumfimbriata</i>	
		<i>Chydorus sphaericus</i>	

Insecta	Anostraca		<i>Karualona karua</i>
			<i>Leydigia quadrangularis</i>
		Daphniidae	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>
			<i>Daphnia ambigua</i>
			<i>Daphnia parvula</i>
			<i>Daphnia similis</i>
			<i>Scapholeberi</i>
			<i>Scapholeberis</i> sp.
		Ilyocriptidae	<i>Ilyocriptus spinifer</i>
		Macrothricidae	<i>Macrothrix hirsuticornis</i>
			<i>Macrothrix rosea</i>
	Anostraca	Streptocephalidae	<i>Streptocephalus mackini</i>
		Thamnocephalidae	<i>Thamnocephalus mexicanus</i>
	<i>Thamnocephalus platyurus</i>		
	Ctenopoda	Sididae	<i>Diaphanosoma birgei</i>
			<i>Sida crystallina</i>
	Diplostraca	Limnadiidae	<i>Eulimnadia texana</i>
	Notostraca	Triopsidae	<i>Triops</i> sp.
	Blattodea	Blattellidae	<i>Blattella</i> sp.
		Dryopidae	<i>Helichus</i> sp.
	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Copelatus</i> sp.
			<i>Deronectes</i> sp.
			<i>Rhantus atricolor</i>
			<i>Rhantus gutticollis</i>
			<i>Thermonectus marmoratus</i>
		Elmidae	<i>Heterelmis obscura</i>
			<i>Macrelmis</i> sp.
			<i>Microcylloepus inaequalis</i>
			<i>Neocylloepus</i> sp.
			<i>Phanocerus clavicornis</i>
			<i>Stenhelmoides</i> sp.
		Gyrinidae	<i>Dineutus sublineatus</i>
			<i>Gyrinus</i> sp.
		Haliplidae	<i>Haliplus</i> sp.
		Hydrophilidae	<i>Anacaena</i> sp.
			<i>Phaenotum</i> sp.
			<i>Tropisternus ellipticus</i>
		Scirtidae	<i>Prionocyphon</i> sp.
	Silphidae	<i>Nicrophous americana</i>	
		<i>Silpha</i> sp.	
		Staphylinidae	
	Collembola	Poduridae	<i>Podura aquatica</i>
		Tomoceridae	<i>Tomocerus flavescens</i>
	Dermaptera	Laboduridae	<i>Labidura riparia</i>
	Diptera	Calliphoridae	<i>Chrysomya megacephala</i>
			<i>Lucilia illustris</i>
			<i>Lucilia</i> sp.
			<i>Phormia</i> sp.
		Ceratopogonidae	<i>Forcipomyia</i> sp.
		Chironomidae	<i>Alotanypus</i> sp.
			<i>Chironomus</i> sp.
			<i>Corynoneura</i> sp.
			<i>Cyphomella</i> sp.
			<i>Dicrotendipes</i> sp.
			<i>Djalmabatista</i> sp.
			<i>Fittkauimyia</i> sp.
			<i>Macropelopia</i> sp.
			<i>Metriocnemus grupo hygropetricus</i>
			<i>Micropsectra</i> sp.

		<i>Microtendipes</i> sp.
		<i>Polypedilum</i> sp.
		<i>Rheotanytarsus</i> sp.
		<i>Stictochironomus</i> sp.
		<i>Thienemannimyia</i> sp.
	Dolichopodidae	<i>Calyxochaetus</i> sp.
		<i>Stratiomys</i> sp.
	Fanniidae	<i>Fannia</i> sp.
	Psychodidae	<i>Pericoma</i> sp.
	Sarcophagidae	<i>Sarcophaga haemorrhoidalis</i>
		<i>Sarcophaga</i> sp.
	Sciaridae	<i>Corynoptera</i> sp.
		<i>Dixella</i> sp.
	Stratiomyidae	<i>Euparuphus</i> sp.
	Syrphidae	
	Tipulidae	<i>Tipula colei</i>
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetidae</i> sp.
		<i>Callibaetis</i> sp.
	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.
	Heptageniidae	
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i> sp.
	Tricorythidae	<i>Leptohyphes</i> sp.
Hemiptera	Belostomatidae	<i>Abedus breviceps</i>
		<i>Lethocerus medius</i>
	Gerridae	<i>Gerris remigis</i>
	Hebridae	<i>Hebrus major</i>
	Hydrometridae	<i>Hydrometra intonsa</i>
	Naucoridae	<i>Ambrysus lunatus</i>
		<i>Ambrysus tridentatus</i>
	Notonectidae	<i>Notonecta mexicana creaseri</i>
	Ochteridae	<i>Ochterus rotundus</i>
		<i>Microvelia austrina</i>
Hymenoptera		<i>Microvelia paludicola</i>
		<i>Microvelia signata</i>
		<i>Rhagovelia distincta</i>
	Apidae	<i>Apis mellifera</i>
		<i>Camponotus</i> sp.
	Formicidae	<i>Chelyomyrmex</i> sp.
		<i>Crematogaster pilosa</i>
	Vespidae	<i>Polistes</i> sp.
Lepidoptera	Noctuidae	
Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalis cornutus</i>
		<i>Platyneuromus soror</i>
Odonata		<i>Aeshna dugesi</i>
	Aeshnidae	<i>Anax</i> sp.
		<i>Coryphaeschna luteipennis florida</i>
	Calopterygidae	<i>Hetaerina vulnerata</i>
		<i>Argia plana</i>
	Coenagrionidae	<i>Argia tonto</i>
		<i>Hesperagrion heterodoxum</i>
	Lestidae	<i>Archilestes grandis</i>
		<i>Brechmorhoga mendax</i>
	Libellulidae	<i>Libellula croceipennis</i>
Plecoptera		<i>Paltothemis lineatipes</i>
	Pseudostigmatidae	<i>Pseudostigma avernas</i>
	Perlidae	<i>Anacroneuria</i> sp.
Trichoptera	Calamoceratidae	<i>Phylloicus aeneus</i>
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche boreales</i>
		<i>Helicopsyche mexicana</i>

		Hydropsychidae	<i>Cheumatopsychidae gelita</i> <i>Leptonema albobirens</i>	
		Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i> sp.	
		Lepidostomatidae	<i>Lepidostoma knulli</i> <i>Lepidostoma leonilae</i>	
		Leptoceridae	<i>Oecetis avara</i> <i>Oecetis marquezii</i>	
		Philopotamidae	<i>Chimarra schinza</i> <i>Wormaldia arizonensis</i>	
		Polycentropodidae	<i>Polycentropus pimana</i>	
		Rhyacophilidae	<i>Atopsyche calopta</i>	
	Malacostraca	Amphipoda	<i>Procambarus clarkii</i> <i>Procambarus regiomontanus</i>	P
			<i>Hyaella azteca</i>	
		Palaemonidae	<i>Macrobrachium acanthurus</i>	
		Armadillidae	<i>Venezillo osorioi</i>	
		Armadillidiidae	<i>Armadillidium vulgare</i>	
		Isopoda	<i>Conilera stygia</i> <i>Sphaerolana karenae</i>	
			<i>Agabiformius lentus</i> <i>Porcellio laevi</i> <i>Porcellio scaber</i> <i>Porcellionides pruinosus</i>	
		Mysida	Lepidomysidae	<i>Spelaeomysis villalobosi</i>
		Artiodactyla	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus miquihuanensis</i>
			Tayassuidae	<i>Pecari tajacu angulatus</i>
Mammalia		Carnívoros	Canidae	<i>Canis latrans microdon</i> <i>Urocyon cinereoargenteus scottii</i>
			Felidae	<i>Herpailurus yagouaroundi carcomitli</i> A
				<i>Leopardus pardalis albescens</i> P
				<i>Leopardus wiedi</i> P
				<i>Lynx rufus texensis</i>
				<i>Panthera onca veraecrusis</i> P
				<i>Puma concolor stanleyana</i>
			Mephitidae	<i>Mephitis mephitis varians</i> <i>Spilogale putorius leucoparia</i>
			Mustelidae	<i>Mustela frenata frenata</i> <i>Taxidea taxus berlandieri</i> A
			Procyonidae	<i>Bassariscus astutus flavus</i> A <i>Nasua nasua molaris</i> <i>Procyon lotor fuscipes</i>
			Ursidae	<i>Ursus americanus eremicus</i> P
		Chiroptera	Molossidae	<i>Eumops perotis californicus</i> <i>Nyctinomops femorosaccus</i> <i>Nyctinomops macrotis</i> <i>Tadarida brasiliensis mexicana</i>
				<i>Mormoops megalophylla megalophylla</i> <i>Pteronotus davyi fulvus</i>
			Natalidae	<i>Natalus stramineus saturatus</i>
			Phyllostomidae	<i>Choeronycteris mexicana</i> A <i>Dermanura azteca azteca</i> <i>Dermanura tolteca tolteca</i> <i>Desmodus rotundus murinus</i>
				<i>Leptonycteris curasoae yerbabuenae</i> A <i>Leptonycteris nivalis</i>
				<i>Antrozous pallidus pallidus</i> <i>Corynorhinus mexicanus</i> <i>Eptesicus fuscus fuscus</i> <i>Idionycteris phyllotis</i>
			Vespertilionidae	

			<i>Lasiurus borealis</i>	
			<i>Lasiurus cinereus cinereus</i>	
			<i>Lasiurus ega panamensis</i>	
			<i>Lasiurus intermedius intermedius</i>	
			<i>Myotis auriculus auriculus</i>	
			<i>Myotis ciliolabrum melanorhinus</i>	
			<i>Myotis planiceps</i>	P
			<i>Myotis thysanodes thysanodes</i>	
			<i>Myotis velifer incauta</i>	
			<i>Nycticeius humeralis mexicanus</i>	
Didelphimorpha	Didelphidae		<i>Didelphis virginiana californica</i>	
Edentata	Dasypodidae		<i>Dasypus novemcinctus mexicana</i>	
Insectivora	Soricidae		<i>Cryptotis parva berlandieri</i>	
			<i>Sorex milleri</i>	Pr
Lagomorpha	Leporidae		<i>Lepus californicus merriami</i>	
			<i>Sylvilagus floridanus chapmani</i>	
	Geomyidae		<i>Thomomys umbrinus perditus</i>	
			<i>Dipodomys merriami ambiguus</i>	
			<i>Dipodomys ordii durrant</i>	
	Heteromyidae		<i>Liomys irroratus alleni</i>	
			<i>Liomys irroratus texensis</i>	
			<i>Perognathus flavus</i>	
			<i>Perognathus merriani</i>	
			<i>Baiomys taylori taylori</i>	
			<i>Microtus mexicanus subsimus</i>	
			<i>Mus musculus domesticus</i>	
			<i>Neotoma albigula subsolana</i>	
			<i>Neotoma micropus micropus</i>	
			<i>Oryzomys couesi acuaticus</i>	
			<i>Peromyscus boylii ambiguus</i>	
			<i>Peromyscus difficilis petricola</i>	
			<i>Peromyscus eremicus collinus</i>	
			<i>Peromyscus eremicus eremicus</i>	
			<i>Peromyscus eremicus phaeurus</i>	
			<i>Peromyscus leucopus texanus</i>	
			<i>Peromyscus maniculatus blandus</i>	
			<i>Peromyscus melanotis</i>	
			<i>Peromyscus pectoralis laceianus</i>	
			<i>Rattus rattus</i>	
			<i>Reithrodontomys fulvescens intermedius</i>	
			<i>Reithrodontomys megalotis saturatus</i>	
			<i>Sigmodon hispidus berlandieri</i>	
			<i>Sciurus alleni</i>	
			<i>Sciurus aureogaster aureogaster</i>	
			<i>Spermophilus mexicanus parvidens</i>	
			<i>Spermophilus variegatus couchii</i>	
			<i>Ectocyclops pharellatus</i>	
			<i>Eucyclops spp.</i>	
			<i>Macrocyclus albidus</i>	
Maxillopoda	Cyclopoida	Cyclopidae	<i>Mesocyclops longisetus</i>	
			<i>Microcyclops rubellus</i>	
			<i>Microcyclops rubellus</i>	
			<i>Tropocyclops prasinus mexicanus</i>	
			<i>Barisia ciliaris</i>	
		Anguidae	<i>Gerrhonotus infernalis</i>	
			<i>Gerrhonotus parvus</i>	Pr
Sauropsida	Squamata		<i>Adelphicos quadrivirgatum newmanorum</i>	
		Colubridae	<i>Amastridium sapper</i>	
			<i>Arizona elegans elegans</i>	

	<i>Bogertophis subocularis</i>	
	<i>Coluber constrictor oaxaca</i>	A
	<i>Coluber flagellum testaceus</i>	A
	<i>Coluber schotti ruthveni</i>	
	<i>Coluber taeneatus</i>	
	<i>Diadophys punctatus regalis</i>	
	<i>Drymarchon melanurus erebennus</i>	
	<i>Drymobius margaritiferus margaritiferus</i>	
	<i>Ficimia streckeri</i>	
	<i>Gyalopion canum</i>	
	<i>Heterodon kennerlyi</i>	
	<i>Hypsiglena jani texana</i>	
	<i>Lampropeltis getula</i>	A
	<i>Lampropeltis alterna</i>	A
	<i>Lampropeltis mexicana</i>	A
	<i>Lampropeltis triangulum</i>	A
	<i>Leptodeira septentrionalis</i>	
	<i>Leptophis mexicanus</i>	A
	<i>Nerodia erythrogaster transversa</i>	A
	<i>Nerodia rhombifer blanchardi</i>	
	<i>Opheodrys aestivus</i>	
	<i>Oxybelis aeneus</i>	
	<i>Pantherophis bairdi</i>	
	<i>Pantherophis emoryi</i>	
	<i>Pituophis catenifer sayi</i>	
	<i>Pituophis deppei jani</i>	A
	<i>Rhadinaea montana</i>	
	<i>Rhinocheilus lecontei</i>	
	<i>Salvadora grahamiae lineate</i>	
	<i>Senticolis triaspis</i>	
	<i>Sonora semiannulata</i>	
	<i>Storeria dekayi texana</i>	
	<i>Storeria hidalgoensis</i>	
	<i>Tantilla atriceps</i>	A
	<i>Tantilla nigriceps</i>	
	<i>Tantilla rubra</i>	Pr
	<i>Tantilla wilcoxi</i>	
	<i>Thamnophis cyrtopsis cyrtopsis</i>	A
	<i>Thamnophis exsul</i>	A
	<i>Thamnophis marcianus marcianus</i>	A
	<i>Thamnophis proximus diabolicus</i>	A
	<i>Trimorphodon tau tau</i>	
	<i>Tropidodipsas sartorii</i>	
Crotalidae	<i>Agkistrodon taylori</i>	A
	<i>Crotalus atrox</i>	Pr
	<i>Crotalus lepidus lepidus</i>	Pr
	<i>Crotalus lepidus morulus</i>	Pr
	<i>Crotalus molossus molossus</i>	Pr
	<i>Crotalus molossus nigrescens</i>	Pr
	<i>Crotalus pricei miquihuanus</i>	Pr
	<i>Crotalus scutulatus</i>	Pr
	<i>Crotalus totonacus</i>	
Crotaphytidae	<i>Crotaphytus collaris</i>	A
Elapidae	<i>Micrurus tener</i>	
Eublepharidae	<i>Coleonyx brevis</i>	Pr
Gekkonidae	<i>Hemidactylus turcicus</i>	
Leptotyphlopidae	<i>Leptotyphlops dulcis</i>	
	<i>Leptotyphlops myopicus</i>	
Phrynosomatidae	<i>Cophosaurus texanus scitulus</i>	A

		<i>Phrynosoma cornotum</i>	
		<i>Phrynosoma modestum</i>	
		<i>Phrynosoma orbiculare orientale</i>	A
		<i>Sceloporus cautus</i>	
		<i>Sceloporus consobrinus</i>	
		<i>Sceloporus couchii</i>	
		<i>Sceloporus goldmani</i>	
		<i>Sceloporus grammicus disparilis</i>	Pr
		<i>Sceloporus marmoratus</i>	
		<i>Sceloporus minor</i>	
		<i>Sceloporus oregon</i>	
		<i>Sceloporus olivaceus</i>	
		<i>Sceloporus parvus</i>	
		<i>Sceloporus poinsettii poinsettii</i>	
		<i>Sceloporus samcolemanni</i>	
		<i>Sceloporus serrifer</i>	
		<i>Sceloporus spinosus</i>	
		<i>Sceloporus torquatus binocularis</i>	
	Scincidae	<i>Plestiodon brevirostris</i>	
	Teiidae	<i>Plestiodon obsoletus</i>	
		<i>Aspidoscelis scalaris gularis</i>	
	Xantusiidae	<i>Lepidophyma sylvaticum</i>	Pr
		<i>Plestiodon tetragrammus tetragrammus</i>	
		<i>Scincella silvicola caudaequinae</i>	A
		<i>Kinosternum flavescens flavescens</i>	
Testudines	Kinosternidae	<i>Kinosternum flavescens flavescens</i>	
	Testudinidae	<i>Gopherus berlandieri</i>	A

Anexo 3

Submodelos de Regresión Logística Estándar y permutaciones en el valor de los argumentos.

Submodelo	Penalty	Mixture
RL_01	1×10^{-10}	0.05
RL_02	1×10^{-5}	0.05
RL_03	1	0.05
RL_04	1×10^{-10}	0.525
RL_05	1×10^{-5}	0.525
RL_06	1	0.525
RL_07	1×10^{-10}	1
RL_08	1×10^{-5}	1
RL_09	1	1

Anexo 4

Submodelos de Árbol de Decisión y permutaciones en el valor de los argumentos.

Submodelo	Cost Complexity	Tree Depth	Min n
AD_01	1×10^{-10}	8	2
AD_02	3.16×10^{-6}	8	2
AD_03	0.1	8	2
AD_04	1×10^{-10}	15	2
AD_05	3.16×10^{-6}	15	2
AD_06	0.1	15	2
AD_07	1×10^{-10}	8	21
AD_08	3.16×10^{-6}	8	21
AD_09	0.1	8	21
AD_10	1×10^{-10}	15	21
AD_11	3.16×10^{-6}	15	21
AD_12	0.1	15	21
AD_13	1×10^{-10}	8	40
AD_14	3.16×10^{-6}	8	40
AD_15	0.1	8	40
AD_16	1×10^{-10}	15	40
AD_17	3.16×10^{-6}	15	40
AD_18	0.1	15	40

Anexo 5

Submodelos de Máquinas de Vectores Soporte (SVM) y permutaciones en el valor de los argumentos.

Submodelo	Cost	RBF Sigma
SVM_01	9.77×10^{-4}	1×10^{-10}
SVM_02	0.177	1×10^{-10}
SVM_03	32	1×10^{-10}
SVM_04	9.77×10^{-4}	1×10^{-5}
SVM_05	0.177	1×10^{-5}
SVM_06	32	1×10^{-5}
SVM_07	9.77×10^{-4}	1
SVM_08	0.177	1
SVM_09	32	1

Anexo 6

Submodelos de k-Vecinos Cercanos (KNN) y permutaciones en el valor de los argumentos.

Submodelo	Neighbors	Weight Func	Dist Powerpr
KNN_01	1	Rectangular	0.1
KNN_02	8	Rectangular	0.1
KNN_03	15	Rectangular	0.1
KNN_04	1	Triangular	0.1
KNN_05	8	Triangular	0.1
KNN_06	15	Triangular	0.1
KNN_07	1	Epanechnikov	0.1
KNN_08	8	Epanechnikov	0.1
KNN_09	15	Epanechnikov	0.1
KNN_10	1	Rectangular	1.05
KNN_11	8	Rectangular	1.05
KNN_12	15	Rectangular	1.05
KNN_13	1	Triangular	1.05
KNN_14	8	Triangular	1.05
KNN_15	15	Triangular	1.05
KNN_16	1	Epanechnikov	1.05
KNN_17	8	Epanechnikov	1.05
KNN_18	15	Epanechnikov	1.05
KNN_19	1	Rectangular	2
KNN_20	8	Rectangular	2
KNN_21	15	Rectangular	2
KNN_22	1	Triangular	2
KNN_23	8	Triangular	2
KNN_24	15	Triangular	2
KNN_25	1	Epanechnikov	2
KNN_26	8	Epanechnikov	2
KNN_27	15	Epanechnikov	2

Anexo 7

Submodelos de Regresión Multinómica y permutaciones en el valor de los argumentos.

Submodelo	Penalty	Mixture
RM_01	1×10^{-10}	0
RM_02	1×10^{-5}	0
RM_03	1	0
RM_04	1×10^{-10}	0.5
RM_05	1×10^{-5}	0.5
RM_06	1	0.5
RM_07	1×10^{-10}	1
RM_08	1×10^{-5}	1
RM_09	1	1

Anexo 8

Submodelos de Bosques Aleatorios y permutaciones en el valor de los argumentos.

Submodelo	Min n	Trees
BA_01	2	1000
BA_02	2	2000
BA_03	21	1000
BA_04	21	2000
BA_05	40	1000
BA_06	40	2000

Anexo 9

Submodelos de Refuerzo de Gradiente Extremo (XGBoost) y permutaciones en el valor de los argumentos.

Submodelo	Learn Rate	Trees	Tree Depth
XGB_01	0.001	1000	1
XGB_02	0.001	2000	1
XGB_03	0.001	1000	8
XGB_04	0.001	2000	8
XGB_05	0.001	1000	15
XGB_06	0.001	2000	15
XGB_07	0.0178	1000	1
XGB_08	0.0178	2000	1
XGB_09	0.0178	1000	8
XGB_10	0.0178	2000	8
XGB_11	0.0178	1000	15
XGB_12	0.0178	2000	15
XGB_13	0.316	1000	1
XGB_14	0.316	2000	1
XGB_15	0.316	1000	8
XGB_16	0.316	2000	8
XGB_17	0.316	1000	15
XGB_18	0.316	2000	15

Anexo 10*Rutas de turismo al interior del PNCM*

ID	Route	Length (km)
1	Trail Planner Map	9.89
2	Trail Planner Map	3.83
3	Bosque de las Brujas	9.06
4	Camino el Chupón	2.11
5	Trail Planner Map	2.81
6	Trail Planner Map	4.54
7	Trail Planner Map	4.51
8	Trail Planner Map	5.95
9	Trail Planner Map	4.89
10	Trail Planner Map	10.25
11	Trail Planner Map	3.22
12	Trail Planner Map	10.87
13	Trail Planner Map	5.78
14	Trail Planner Map	3.03
15	Trail Planner Map	6.75
16	Trail Planner Map	3.21
17	Trail Planner Map	14.60
18	Trail Planner Map	4.90
19	Trail Planner Map	4.39
20	Trail Planner Map	1.97
21	Trail Planner Map	6.09
22	Trail Planner Map	1.59
23	Trail Planner Map	7.76
24	Trail Planner Map	6.50
25	Trail Planner Map	8.16
26	Trail Planner Map	6.89
27	Trail Planner Map	3.75
28	Circuito Escénica Galeana	337.75
29	Trail Planner Map	15.12
30	Trail Planner Map	3.05
31	Trail Planner Map	11.93
32	Trail Planner Map	20.17
33	Trail Planner Map	7.83
34	Trail Planner Map	231.20
35	Trail Planner Map	2.59
36	Trail Planner Map	7.91
37	Trail Planner Map	2.99
38	Trail Planner Map	3.66
39	Trail Planner Map	10.11

40	Trail Planner Map	9.39
41	Trail Planner Map	8.97
42	Trail Planner Map	3.73
43	Trail Planner Map	4.05
44	Florida - San Augustin - Don Toño	12.58
45	Trail Planner Map	7.60
46	Trail Planner Map	4.48
47	Trail Planner Map	10.15
48	Trail Planner Map	17.00
49	Trail Planner Map	5.40
50	Trail Planner Map	4.62
51	Trail Planner Map	68.28
52	Trail Planner Map	31.07
53	Trail Planner Map	13.42
54	Trail Planner Map	10.38
55	Trail Planner Map	11.22
56	Trail Planner Map	8.35
57	Trail Planner Map	4.25
58	Las Adjuntas Poza La Noria	5.15
59	Trail Planner Map	3.43
60	Trail Planner Map	10.21
61	Trail Planner Map	7.05
62	Trail Planner Map	28.54
63	Trail Planner Map	4.14
64	Trail Planner Map	8.09
65	Trail Planner Map	10.32
66	Trail Planner Map	2.85
67	Trail Planner Map	1.93
68	Trail Planner Map	8.86
69	Trail Planner Map	9.18
70	Trail Planner Map	4.63
71	Trail Planner Map	5.28
72	Trail Planner Map	2.29
73	Trail Planner Map	1.67
74	Trail Planner Map	10.63
75	Trail Planner Map	2.15
76	Trail Planner Map	2.15
77	Trail Planner Map	4.47
78	Trail Planner Map	2.70
79	Trail Planner Map	2.08
80	Trail Planner Map	5.88
81	Trail Planner Map	4.21
82	Trail Planner Map	7.64

83	Trail Planner Map	17.14
84	Trail Planner Map	11.48
85	Trail Planner Map	4.25
86	Trail Planner Map	7.02
87	Trail Planner Map	9.76
88	Trail Planner Map	14.30
89	Trail Planner Map	3.90
90	Trail Planner Map	57.62
91	Trail Planner Map	94.62
92	Trail Planner Map	11.12
93	Trail Planner Map	73.56
94	Trail Planner Map	14.51
95	Trail Planner Map	4.51
96	Trail Planner Map	9.14
97	Trail Planner Map	8.06
98	Trail Planner Map	11.78
