



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

**Dirección Específica de Ciencias Ambientales y
Cambio Climático**

Trabajo de Tesis

**Estimación de Riesgo de Incendios Forestales
en Nueva Segovia, para el año 2016**

Autor

Ing. Maya Rebeca Isabel Pérez Mairena

Asesor

PhD. Fernando Mendoza Jara

Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al grado de
Máster en Gestión del Recurso Forestal con Enfoque de Cuencas
Hidrográficas.

Managua, Nicaragua

Octubre, 2024

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la Dirección Específica de Ciencias Ambientales y Cambio Climático, como requisito final para optar al título profesional de:

Maestría en Gestión del Recurso Forestal con Enfoque de Cuencas Hidrográficas

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Andrés López
Presidente

MSc. Edwin Alonzo
Vocal

MSc. Claudio González
Secretario

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 22/noviembre/2024

DEDICATORIA

A mis hijos que son los dos luceros que iluminan mi camino cada día, Miguel Dávila Pérez y Laureano Pérez.

A mis Padres que siempre me han brindado su apoyo y amor, Rebeca Mairena y Manuel Pérez.

A mi Abuelita María Isabel Castellón (q.e.p.d), que ha sido una inspiración de la lucha en la vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios Padre que nunca me ha abandonado y me ha llenado de bendiciones cada día con su inmenso amor y misericordia.

Al Instituto Nacional Forestal, que me ha brindó la oportunidad de continuar desarrollándome profesionalmente.

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADRO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ECUACIONES	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Incendios forestales	5
3.2. Estimación del riesgo de incendios	6
3.3. Regresión logística	8
3.4. Cobertura Vegetal	9
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	10
4.1. Ubicación del estudio	10
4.1.1 Condiciones climáticas	11
4.1.2 Relieve	11
4.1.3 Suelos	12
4.2. Selección de fuente de datos	12
4.3. Proceso Metodológico	14
4.3.1. Covariable dependiente	15
4.3.2. Covariables Independientes	16
4.3.3 Aplicación de la regresión logística	19
4.3.4 Mapeo de zonas de alto riesgo a incendios	21
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1. Modelo de regresión resultante o modelo de regresión para estimar el riesgo de incendio.	22

5.2.	Mapeo del riesgo a incendios.	25
5.3.	Identificación del riesgo a incendios por municipio.	26
5.3.1	Riesgo bajo	26
5.3.2	Riesgo medio	27
5.3.3	Riesgo Alto	28
VI.	CONCLUSIONES	29
VII.	RECOMENDACIONES	30
VIII.	LITERATURA CITADA	31
IX.	ANEXOS	33

ÍNDICE DE CUADRO

CUADRO		PÁGINA
1.	Distribución de los 150 puntos de calor que se reflejan en los usos de suelos forestales en el departamento de Nueva Segovia	15
2.	Distribución de los puntos con presencia de incendio (SI) y ausencia de incendio con puntos al azar (NO) por municipios del departamento de Nueva Segovia.	15
3.	Correlación de las variables independiente (climática y topográficas) del mejor modelo de regresión logística	24
4.	Municipios con baja probabilidad de riesgo de incendios forestales	27
5.	Municipios con riesgo medio de probabilidad de incendios forestales	28
6.	Municipios con alto riesgo de probabilidad a incendios forestales	28

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Mapa de uso del suelo 2015 del departamento de Nueva Segovia (INETER, 2015)	11
2.	Modelo conceptual de la estimación de riesgo a incendios forestales en el departamento de Nueva Segovia, año 2016.	14
3.	Mapa de cobertura forestal 2015 y puntos calor 2016 (presencia y ausencia de incendios)	16
4.	Mapa de riesgo a incendios forestales en los suelos forestales para el año 2016	26

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIONES		PÁGINA
1.	Modelo de regresión logística	19
2.	Modelo de regresión logística aplicado en el estudio para todas las covariables seleccionadas	22
3.	Modelo de regresión logística aplicado en el estudio del Modelo 2	23
4.	Modelo de regresión logística aplicado en el estudio Modelo 3	23
5.	Mejor modelo para la estimación de presencia de incendios del Modelo 4	23

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Mapa distancia de caminos (m) (Fuente: INETER)	33
2.	Mapa distancia de poblados (m), (Fuente: INETER)	34
3.	Mapa de precipitación media anual (mm) del departamento de Nueva Segovia (Fuente: Interpolación de los datos de las estaciones climáticas del departamento)	34
4.	Mapa de temperatura media anual (°C) del departamento de Nueva Segovia (Fuente: Interpolación de los datos de las estaciones climáticas del departamento)	35
5.	Mapa del Modelo Digital de Elevación (msnm) el departamento de Nueva Segovia (Fuente: INETER)	35
6.	Mapa de pendiente (%) derivado del modelo digital de elevación del departamento de Nueva Segovia (Fuente: INETER)	36
7.	Mapa de aspecto derivado del modelo digital de elevación del departamento de Nueva Segovia (Fuente: INETER)	36

RESUMEN

La importancia de la estimación del riesgo para la gestión forestal y la protección del medio ambiente radica en su capacidad para tomar decisiones y acciones que minimicen los impactos negativos de los incendios forestales. El presente estudio estima el riesgo de incendios forestales en el departamento de Nueva Segovia durante el año 2016, aplicando herramientas estadísticas y Sistemas de Información Geográfica. Como primer paso, se identificó la unidad espacial de estudio, siendo este el departamento de Nueva Segovia por la importancia en la producción forestal de las cuatro especies de conífera del país. Para determinar el año del estudio, el periodo seleccionado de incendios fue el año 2016 debido a la disponibilidad de los datos (puntos) de los incendios, tomando como referencia los datos de puntos de calor del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Estos puntos de incendios se clasificaron como la variable dependiente que implica la presencia de incendios y luego se distribuyeron puntos al azar como ausencia de incendios forestales. Se realizó un análisis estadístico de regresión logística, a través de un código R, para valorar la contribución de los factores edafoclimáticos en la ocurrencia de un evento de incendio en los bosques del departamento. Estos factores edafoclimáticos, que funcionaron como covariables independientes, fueron covariables de ignición, de combustible, meteorológicas y topográficas. Mediante la técnica de regresión logística binaria, una vez eliminadas las covariables que presentaban problemas de colinealidad y utilizando la variable dependiente obtenida a partir de interpolación mediante Kernel adaptativo, se seleccionó el modelo que ofrecía una mejor relación entre complejidad (número de covariables independientes) y acierto en la clasificación. El uso del suelo, precipitaciones, temperaturas y las distancias a caminos fueron las covariables independientes más determinantes en la estimación del riesgo a incendios. Los municipios que resultaron con mayores riesgos a incendios forestales son Ciudad Antigua, San Fernando y Júcaro en el departamento de Nueva Segovia.

Palabras clave: cobertura forestal, riesgo, vulnerabilidad, modelación geoespacial, corredor seco, hotspots, logic.

ABSTRACT

The importance of risk estimation for forest management and environmental protection lies in its ability to make decisions and take actions to minimize the negative impacts of forest fires. This study estimates the risk of forest fires in the department of Nueva Segovia in the year 2016, applying statistical tools and Geographic Information Systems (GIS). First, the spatial unit of study was identified, this being the department of Nueva Segovia due to the importance in forest production of the four coniferous species in the country. To determine the year of the study, the selected period of fires was 2016 due to the availability of data (points) of fires, taking as reference the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) hot spot data. These fire hotspots were classified as the dependent variable implying the presence of fires and then randomly distributed hotspots as the absence of wildfires. A statistical analysis of logistic regression was performed, through an R code, to assess the contribution of edaphoclimatic factors in the occurrence of a fire event in the department's forests. These edaphoclimatic factors, which functioned as independent covariables, were ignition, fuel, meteorological and topographic covariates. Using the binary logistic regression, after eliminating the covariates that presented collinearity problems and using the dependent variable obtained from interpolation by means of adaptive kernel, the model that offered the best relationship between complexity (number of independent covariables) and classification accuracy was selected. Land use, precipitation, temperatures and distances to roads were the most important independent covariates in the estimation of fire risk. The municipalities with the highest forest fire risk were Ciudad Antigua, San Fernando and Jícaro in the department of Nueva Segovia.

Key words: forest cover, risk, vulnerability, geospatial modeling, dry corridor, hotspots, logic.

I. INTRODUCCIÓN

Nicaragua cuenta con 4, 491,023.24 ha entre las diferentes clasificaciones de bosques y plantaciones (INETER, 2015), el departamento de Nueva Segovia, alberga el 40% de los bosques de pino del país, con potencial de producción forestal sostenible, estos cada año se encuentran **amenazados** por causas naturales tales como: huracanes, deslizamientos, inundaciones, sequías, plagas forestales; y antropogénicas, siendo estas: el avance de la frontera agrícola durante las última décadas (agricultura migratoria y ganadería extensiva), tala y extracción ilegal de productos forestales (madera y leña), **Incendios forestales y agropecuarios**, volviendo **vulnerable** los bosques, la biodiversidad y las comunidades.

El riesgo de los incendios forestales es una preocupación a nivel global, debido a las consecuencias ambientales, económicas y sociales. Algunos países de América del Norte y sur, Europa y África, han desarrollado diferentes investigaciones para evaluar el comportamiento de los incendios forestales, así como las probabilidades de ignición, tomando en cuenta las covariables o factores que inciden en este. Éstas han conllevado que se generen sistemas de evaluación de riesgo y/o peligro de incendios se componen de índices, cada uno de los cuales es un indicador de la contribución de un determinado factor a la probable ocurrencia.

La estrategia regional de manejo del fuego para Centroamérica y República Dominicana 2015-2025, entre sus líneas estratégicas, está identificar las áreas de riesgo de incendios forestales, con el fin de permitir a los países de la región priorización de acciones preventivas de manera eficaz y eficientes, que conduzcan a minimizar los efectos e impactos que originan estos incendios.

En Nicaragua anualmente se realizan planes a nivel nacional, regionales, departamental y municipal de prevención y control de incendios forestales y agropecuarios, con el objetivo de reducir los incendios forestales, agropecuarios y maleza para garantizar la integridad y calidad de vida de la población, protección y conservación de nuestros bosques y la biodiversidad, contribuyendo a mitigar los efectos de la variabilidad climática.

Este estudio está dirigido a la estimación del riesgo de incendios forestales para el departamento de Nueva Segovia, por la importancia en la producción forestal de las cuatro especies de conífera del país *Pinus caribaea. v Morelet, var hondurensis. Pinus maximinoii H. Eooreore. Pinus oocarpa Schiede ex Shlecht. Pinus patula Schiede y Deppe* (Centro de Mejoramiento Genético y Banco de Semillas Forestales., 1994).

Para abordar este desafío, se estará realizando una modelación del riesgo ante incendios forestales, aplicando herramientas estadísticas, como es la Regresión logística, teniendo en cuenta las diferentes covariables que puedan tener influencia como: las características de la vegetación, el clima, la topografía, que son factores determinantes en el posterior comportamiento de estos incendios (Dentoni & Muñoz, 2000). La aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección, utilizando datos de puntos de calor generados por el MODIS, nos permitirá mapear las zonas de alto riesgos, para ser utilizado como una herramienta que fortalezca la prevención y la restauración, reduciendo los impactos de los incendios forestales en esa zona.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Estimar el riesgo de incendios forestales en Nueva Segovia, aplicando herramientas estadísticas y Sistemas de Información Geográfica

2.2. Objetivos específicos

1. Analizar estadísticamente las covariables edafoclimáticas y sociales, que han influenciado la ignición y/o propagación de los incendios forestales.
2. Identificar áreas de alto riesgo de incendios forestales en Nueva Segovia, por la influencia de las covariables estudiadas.

III. MARCO DE REFERENCIA

El clima afecta el riesgo de incendios forestales principalmente a través de sus efectos sobre la disponibilidad de humedad. Las condiciones húmedas durante la estación de crecimiento de los combustibles, estimula la producción a través del crecimiento de la vegetación, mientras que las condiciones secas durante y después de la temporada de incendios aumentando la inflamabilidad de la vegetación viva y muerta que alimenta los incendios forestales, siendo la temperatura y la precipitación acumulada de quien depende la disponibilidad de la humedad (Westerling & Bryant, 2008).

El riesgo de incendios forestales es una preocupación global debido a las consecuencias ambientales, económicas y sociales. Estos incendios pueden ocurrir naturalmente, pero también son frecuentemente causados por actividades humanas, como la negligencia, la quema de desechos, o incluso por acciones intencionales como la quema de cultivos (Ossa Ossa, 2013).

Los incendios forestales pueden resultar en la pérdida de vidas humanas, la destrucción de hábitats naturales, la pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo, la contaminación del aire y del agua, así como en importantes pérdidas económicas, para las comunidades afectadas. Además, los incendios forestales pueden tener efectos a largo plazo en el cambio climático al liberar grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera y alterar los ciclos naturales de los ecosistemas (Ipinza, 2021).

La gestión efectiva del riesgo de incendios forestales implica la comprensión y evaluación de una serie de factores, como las condiciones climáticas, la topografía del terreno, el tipo de vegetación, así como también la influencia de las actividades humanas. La prevención, la detección temprana, la supresión rápida y la recuperación posterior al incendio son componentes clave de la gestión integral del riesgo de incendios forestales (Alegría Tardón, 2020).

La importancia de la estimación del riesgo para la gestión forestal y la protección del medio ambiente radica en su capacidad para informar decisiones y acciones que minimicen los impactos negativos de los incendios forestales.

3.1. Incendios forestales

El fuego que afecta vegetación en bosques, selvas y zonas áridas o semiáridas y aéreas preferentemente forestales, ya sea por causas naturales o inducidas, con una ocurrencia y propagación no controlada o programada. Un incendio forestal puede afectar desde una superficie incipiente hasta miles de hectáreas, ocasionando diversos efectos al suelo, flora y fauna, así como a los bienes y servicios como agua disponible en el subsuelo, captura de carbono, emisión de oxígeno, alimentación, recreación y composición de la biodiversidad, así como, en términos globales, contribuyen al cambio climático mundial a través de las emisiones. (SEGOB 2011).

En el departamento de Nueva Segovia, se han realizados diferentes estudios entre ellos sobre evaluación de daños ambientales y socioambientales causados por los incendios, enfocados a estrategias de recuperación y reforestación en áreas afectadas. El MARENA realiza monitoreo de los puntos de calor, haciendo uso de la tecnología, para una respuesta rápida a incendios emergente. Así como anualmente se elaboran y ejecutan Planes de prevención y control de incendios forestales y agropecuarios por municipios.

Según el ThinkHazard que es una herramienta analítica dedicada a mejorar el conocimiento y la comprensión de los peligros naturales, el peligro de incendio forestal en el departamento de Nueva Segovia lo clasifica como **alto** de acuerdo con la información disponible en esta herramienta. Esto significa que hay más de un 50 % de probabilidad de que existan condiciones meteorológicas favorables para que se produzca un incendio forestal importante que podría causar pérdidas de vidas y propiedades en un año dado. La herramienta indica la probabilidad de que los distintos peligros naturales afecten a áreas del proyecto (muy baja, baja, media y elevada) y da orientación sobre cómo reducir los impactos de estos peligros y dónde encontrar información. Los niveles de peligro indicados se basan en los datos de peligros publicados y proporcionados por una serie de organizaciones privadas, académicas y públicas.

Los más simples se componen de un único índice, que generalmente toma en cuenta solo el efecto de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación para proveer información sobre la probabilidad de ignición, dada la existencia de una fuente de ignición. Sistemas más complejos

incorporan relaciones entre las covariables del tiempo, el estado de los combustibles y el comportamiento del fuego, para producir indicadores que provean una medida cuantitativa de las dificultades de control, en términos de características del frente de llamas, y del daño o impacto potencial que causaría el incendio (Dentoni et al, 2000).

3.2. Estimación del riesgo de incendios

La estimación del riesgo de incendios forestales es de suma importancia para la gestión forestal y la protección del medio ambiente por varias razones:

Prevención y mitigación: La estimación del riesgo permite identificar áreas con mayor probabilidad de sufrir incendios forestales, lo que permite implementar medidas preventivas y de mitigación antes de que ocurran los incendios. Estas medidas pueden incluir la creación de cortafuegos, la reducción de la carga de combustible, la planificación de rutas de evacuación y la educación pública sobre la prevención de incendios.

Gestión de recursos: La evaluación del riesgo ayuda a priorizar la asignación de recursos y la planificación de acciones de gestión forestal. Se pueden dirigir recursos financieros, humanos y técnicos a las áreas con mayor riesgo, maximizando así la eficiencia de las medidas de prevención, detección y extinción de incendios.

Conservación de la biodiversidad: Los incendios forestales pueden tener un impacto significativo en la biodiversidad al destruir hábitats naturales y afectar a especies vegetales y animales. La estimación del riesgo permite identificar áreas críticas para la conservación y priorizar la implementación de medidas de gestión que protejan y restauren los ecosistemas afectados por incendios.

Reducción de impactos ambientales: Los incendios forestales pueden tener impactos ambientales graves, incluida la pérdida de suelo, la erosión, la degradación del agua y la liberación de carbono a la atmósfera. La gestión basada en la estimación del riesgo puede reducir estos impactos al anticipar y mitigar los efectos negativos de los incendios en los recursos naturales y los servicios ecosistémicos.

Seguridad pública: La evaluación del riesgo ayuda a proteger la vida y la propiedad al proporcionar información anticipada sobre áreas en riesgo y permitir una planificación efectiva de la respuesta ante incendios. Esto incluye la evacuación de áreas amenazadas, el despliegue oportuno de equipos de extinción y la coordinación de esfuerzos entre agencias gubernamentales y comunidades locales. En su forma más simple el riesgo se postula como el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y consecuencias en un área determinada.

La evaluación del riesgo de incendios es un tema que ha tomado relevancia en las últimas décadas (Chuvienco, 1996), como lo demuestra el creciente número de estos estudios. Esto puede atribuirse a una mayor disponibilidad de información digital y estadística incorporada dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y al avance en la tecnología de teledetección.

Muchos de los estudios de riesgo de incendio o de evaluación de riesgos que utilizan SIG han aplicado métodos probabilísticos como la regresión logística (p. Ej., (Iliadis, 2005), la lógica difusa (por ejemplo, Hernández-Leal y otros, 2006; Martínez y otros, 2009; Preisler et al.), redes neuronales (por ejemplo, Alonso-Betanzos et al., 2002, Vasilakos et al., 2007), árboles de clasificación (por ejemplo, (Lozano, 2008), entre otros. Tales enfoques tradicionales, sin embargo, generalmente carecen de la capacidad de combinar simultáneamente datos y evidencias de diversas fuentes, al mismo tiempo que se tiene en cuenta la incertidumbre y la falta de datos.

Lozano et al 2008, observan que las relaciones entre la ocurrencia de incendios y los factores ambientales son a menudo no paramétricas e implican interacciones complejas, especialmente cuando los seres humanos desempeñan un papel importante en esas dinámicas. Por lo tanto, los modelos de incidencia de incendios lineales y paramétricos tradicionales a menudo no proporcionan buenos ajustes de modelo y a menudo no tienen en cuenta la incertidumbre, que está presente en muchos casos en la evaluación del riesgo de incendio (Kaloudis, 2005).

Es importante enfatizar que la cobertura vegetal como factor de riesgo hace parte de la amenaza, en cuanto provee la carga de combustible, como de la vulnerabilidad en tanto es afectada por la ocurrencia de un incendio.

En resumen, la estimación del riesgo de incendios forestales es fundamental para la gestión forestal sostenible y la protección del medio ambiente, ya que permite anticipar, prevenir y mitigar los impactos negativos de los incendios forestales en los recursos naturales, la biodiversidad y la seguridad pública.

3.3. Regresión logística

Este tipo de análisis estadístico (también conocido como modelo logit) se utiliza a menudo para el modelado y la analítica predictiva, y se extiende a las aplicaciones de machine learning. En este enfoque analítico, la variable dependiente es finita o categórica, ya sea A o B (regresión binaria) o una variedad de opciones finitas A, B, C o D (regresión multinomial). Se utiliza un programa computacional estadístico para comprender la relación entre la variable dependiente y una o más covariables independientes mediante la estimación de probabilidades con una ecuación de regresión logística.

Esta técnica que permite describir las relaciones entre una variable dependiente nominal u ordinal y un conjunto de covariables independientes continuas o categóricas, así como cuantificar las relaciones y clasificar. La variable dependiente ha de ser dicotómica. Diversos autores han empleado esta técnica para la obtención de modelos predictivos de ignición de incendio: Chuvieco et al. (1999) y Martínez et al. (2004) a escala regional; Vasconcelos et al. (2001), Vega-García et al. (1993, 1995), Lin (1999), (Pew & Larsen, C.P.S , 2001) a escala local. Otros estudios utilizan esta técnica para la predicción de la ocurrencia diaria: Martell et al. (1985, 1987); Loftsgaarden y Andrews (1992); Vega-García et al. (1995). Se ha empleado para estudiar la interacción entre la ocurrencia de incendio y patrones de vegetación bajo la influencia de factores ambientales y las actividades humanas (Kalabokidis et al., 2002). También para su comparación con los resultados obtenidos mediante otras técnicas como redes neuronales (Carvacho, 2002).

3.4. Cobertura Vegetal

El departamento de Nueva Segovia, tiene una extensión de 345,043.6 hectáreas, de los cuales 205,276.36 ha, corresponde a áreas con cobertura forestal (7% Bosque latifoliado cerrado, 6% Bosque latifoliado abierto, 9% Bosque de pino cerrado, 14% Bosque de pino abierto, 11% tacotal, 56% vegetación arbustiva) (MARENA, ENDE-REDD+, 2020). Los Bosques de Nueva Segovia se encuentra amenazados por la ignición y/o propagación de los incendios forestales, a pesar de que muchas veces el fuego pueda ayudar en su establecimiento y mantenimiento al eliminar otras especies menos resistentes a los incendios y al ayudar que los conos se abran y liberen las semillas (Rodríguez, 1996). Sin embargo, en Nicaragua, los incendios forestales son provocados por la mano del hombre, por las malas prácticas agrícolas, intencionales y resultando que el control sea muy complejo en dependencia a las condiciones del clima.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación modela el riesgo de incendios forestales del departamento de Nueva Segovia para el año 2016, haciendo uso de la regresión logística como un método estadístico para valorar la contribución de varios factores edafoclimáticos en la ocurrencia de un evento.

4.1. Ubicación del estudio

El departamento de Nueva Segovia está ubicado en el extremo noroeste del país, entre los 13° 10' de latitud norte y los 86° 03' de longitud oeste. Limita al sur con Madriz, al este con Jinotega y al norte y oeste con la República de Honduras, de esta última la separa como frontera natural la cordillera de Dipilto y Jalapa. Conforman junto con Madriz y Estelí la región de "Las Segovias" (Figura 1). Su organización política administrativa comprende 12 municipios: Santa María, Macuelizo, Dipilto, Ocotal, Mozonte, Ciudad Antigua, San Fernando, Jalapa, El Jícaro, Murra, Quilalí, y Wiwilí de Nueva Segovia.

El departamento de Nueva Segovia tiene una extensión territorial de 3,516 km², tiene una población de 208,523 habitantes, de los cuales el 43 % son pobladores urbanos; la densidad poblacional promedio es de 59.7 hab/km² teniendo municipios con alta densidad poblacional, Ocotal con 405.7 hab/km² y otros como Macuelizo con tan solo 23.9 hab/km².

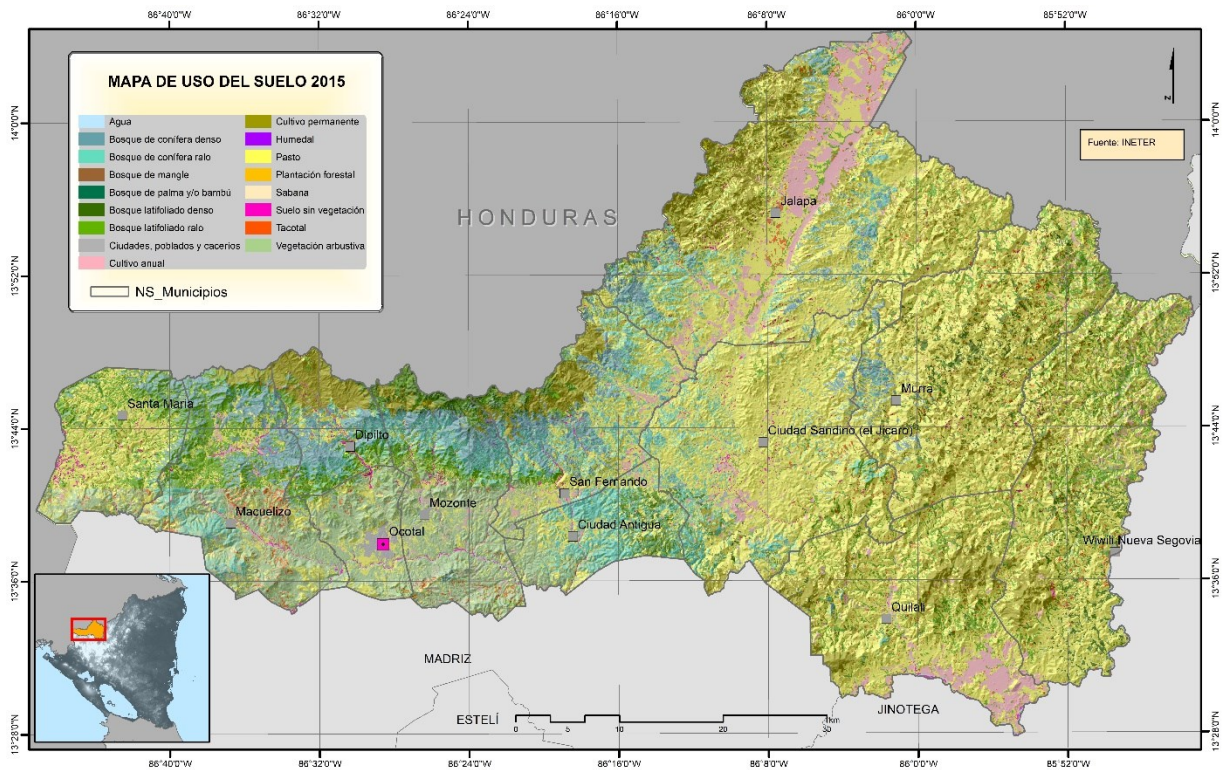


Figura 1. Mapa de uso del suelo 2015 del departamento de Nueva Segovia (INETER, 2015)

4.1.1 Condiciones climáticas

Cuenta con una temperatura promedio de 24 °C. En general, el clima se clasifica como sub-tropical con variaciones desde sabana tropical seco en Santa María, hasta tropical húmedo en Jalapa. El régimen de precipitación es muy irregular, desde más de 2,000 mm en las zonas húmedas de Jalapa, Wiwili y Murra hasta menos de 800 mm en Ocotal.

4.1.2 Relieve

Nueva Segovia es parte de la región geomorfológica montañosa central, caracterizada por la presencia de cordilleras y tierras onduladas. Con alturas promedios de entre los 300 (Río Coco - Wiwili) y 2,100 msnm (Cerro Mogotón).

4.1.3 Suelos

La geología es completamente distinta a la del resto del país. Antiguos terrenos metamórficos se descubren en Quilalí y Murra; contienen filitas, esquistos, pizarras, mármol y algunas veces vetas auríferas. Grandes masas de granito forman las sierras de Dipilto, Jalapa y Yalí, con algunos “bolones” sueltos en el lecho de los ríos que se abren paso desde las alturas. Predominan los Entisol e Inceptisol, suelos nada o poco evolucionados o tierras degradadas por el uso inadecuado de las tierras y encima recursos naturales degradados por el gorgojo descortezador del pino y el despale indiscriminado, sin embargo, debido a la variación de sus suelos, tiene una gran potencialidad para su diversificación. Los municipios que tienen las mayores restricciones en el uso de sus tierras son Santa María, Macuelizo, Ocotál, Mozonte, San Fernando, Ciudad Antigua y Wiwilí, por la fragilidad de sus tierras, ya que los suelos Entisol cubren más del 44% de sus territorios y el Municipio de Dipilto donde estos suelos ocupan el 30% del área.

4.2. Selección de fuente de datos

Fuente de datos primarios

Para determinar el año de estudio de los incendios del 2016, se tomó en cuenta la disponibilidad de los datos de los incendios tomando como referencia los datos de puntos de calor del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (MARENA, 2016), para obtener la localización geográfica (Coordenadas UTM X, Y) de los incendios ocurridos en el año 2016.

La base de datos climáticos para la modelación fue obtenida en la oficina de la Dirección General de Meteorología del INETER. La red de las estaciones meteorológicas en el área de estudio, cuenta con 21 estaciones, de las cuales solo tres de ellas son Estaciones Hidrometeorológicas Ordinaria (HMO) y las restantes son Estaciones Pluviométricas (PV).

Fuentes de datos secundarios

El mapa del uso actual del suelo 2015 del Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER, 2015), para realizar la correlación de los datos de las otras covariables, que se obtuvieron de la parte meteorológicas (Figura 2).

Mapa de Caminos (INETER)

Mapa de Centros Poblados (INETER)

Mapa de Modelo Digital de Elevación MDE (INETER)

4.3. Proceso Metodológico

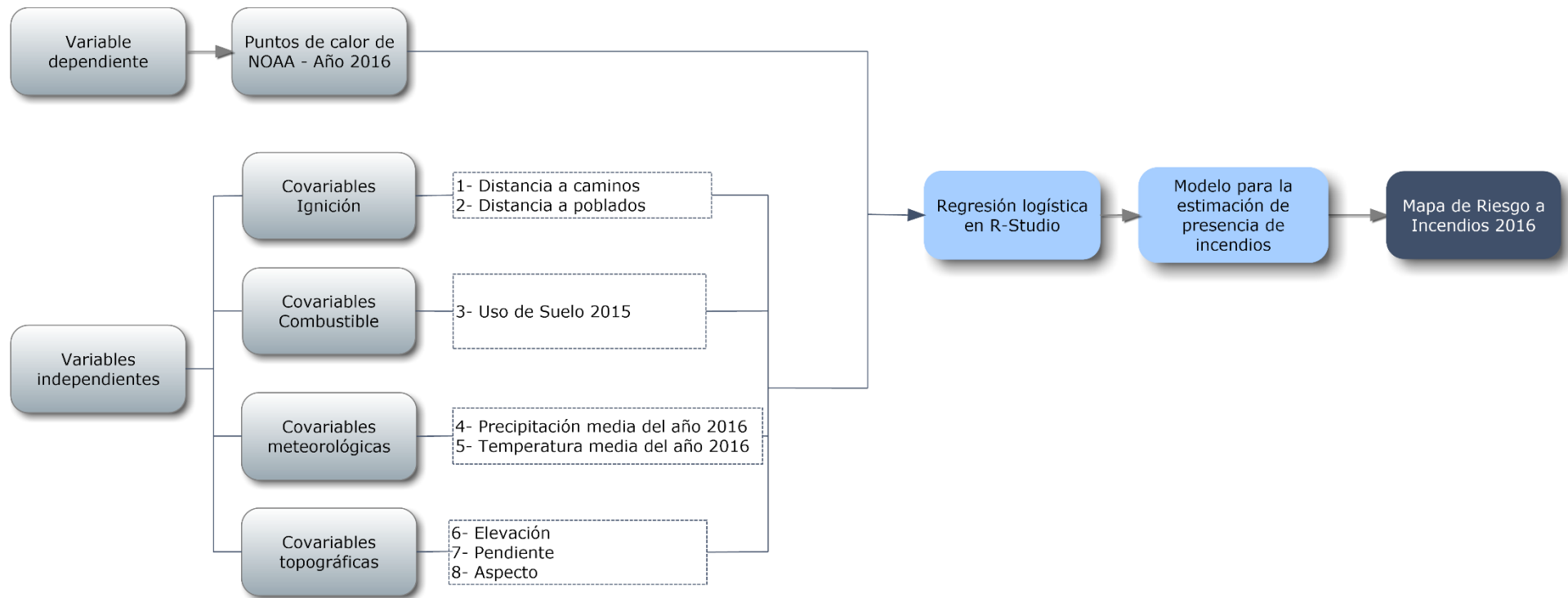


Figura 2.: Modelo conceptual de la estimación de riesgo a incendios forestales en el departamento de Nueva Segovia, año 2016.

4.3.1. Covariable dependiente

En el presente estudio, se definió la variable dependiente como los **puntos de calor del 2016** generados por el NOAA, y obtenidos a través de la oficina del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA-MARENA). Esta se interpreta como presencia o ausencia de incendios en el año 2016, en el departamento de Nueva Segovia.

En el procesamiento estadístico, se consideraron 150 puntos de calor que se reflejan en los usos de suelos forestales (incendios forestales) (Cuadro 1), la presencia de incendios forestales fue categorizada como SI =1. Contrariamente la ausencia de incendios forestales, categorizados como NO= 0, se obtuvieron de forma al azar (435 puntos) en todo el departamento y se extrajeron únicamente los que se encontraron en las coberturas forestales (Figura 3), para un total de 585 puntos utilizados en el análisis estadístico (Cuadro 2).

Cuadro 1. Distribución de los 150 puntos de calor que se reflejan en los usos de suelos forestales en el departamento de Nueva Segovia.

Id	Tipo de cobertura forestal	Puntos de calor totales
1	Bosque de conífera denso	18
2	Bosque de conífera ralo	70
3	Bosque latifoliado denso	14
4	Bosque latifoliado ralo	39
5	Tacotal	9
Total		150

Cuadro 2. Distribución de los puntos con presencia de incendio (SI) y ausencia de incendio con puntos al azar (NO) por municipios del departamento de Nueva Segovia.

Id	Municipio	Puntos de calor totales	Si	No
1	Ciudad Antigua	52	30	22
2	Dipilto	6	4	2
3	El Jícaro	85	20	65
4	Jalapa	126	23	103
5	Macuelizo	15	7	8
6	Mosonte	3	0	3
7	Murra	75	11	64
8	Ocotal	3	0	3
9	Quilali	69	12	57
10	San Fernando	37	17	20

11	Santa María	20	4	16
12	Wiwili de Nueva Segovia	94	22	72
Total		585	150	435

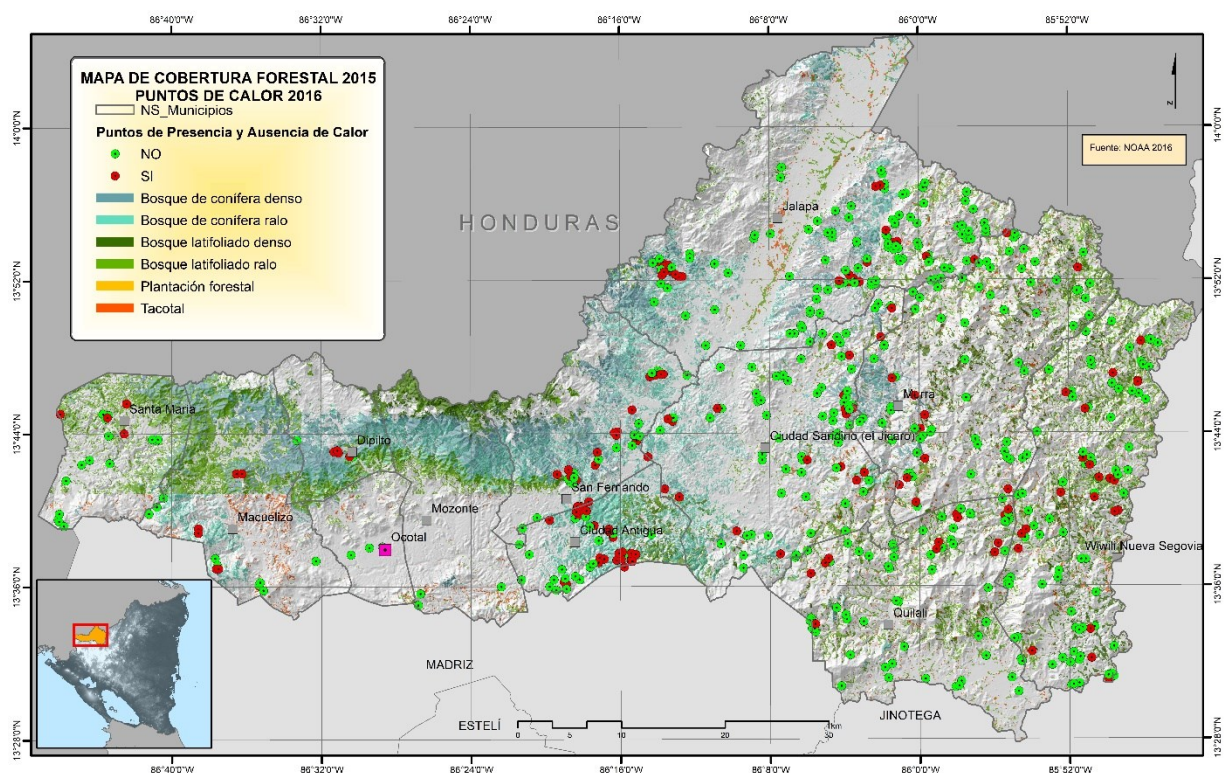


Figura 3. Mapa de cobertura forestal 2015 y puntos calor 2016 (presencia y ausencia de incendios)

4.3.2. Covariables Independientes

La ocurrencia o presencia de un incendio forestal depende de diferentes covariables meteorológicas (precipitación, humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, entre otras) y topográfica (altitud, pendiente y exposición entre otras), que dependen a su vez de la variabilidad temporal (Drury & Veblen, 2008), los años más húmedos dan origen a la formación de abundante cobertura vegetal, que se convierte en el combustible disponible en temporada seca (Fulé & W.W. Covington, 1999).

Para justificar la selección de las variables independientes, se estudió como las covariables edafoclimáticas y sociales influyen en la propagación del fenómeno en estudio. Para ello fue necesario la clasificación de las covariables independientes a como se muestra a continuación:

4.3.2.1 Covariable Ignición

Para la covariable de ignición se consideró la distancia de los caminos (m) y las distancias de los poblados (m), como covariables de ignición antropogénicas, para correlacionarlas con la presencia de incendios en el año de estudio. (Anexos 1 y 2).

La covariable **distancia de los caminos**, en este modelo seleccionado, representa las altas probabilidades que se presente un incendio en la cercanía de los caminos, en el departamento de Nueva Segovia, la presencia de la red de caminos es bastante amplia por la alta producción forestal con áreas bajo manejo.

La covariable **distancia de los poblados**, se seleccionó, ya que en el departamento de Nueva Segovia, tiene aproximadamente 428 centros poblados, representando la probabilidad de que se presente o inicie un incendio.

El análisis de distancias se derivó de la transformación del vector de red vial y centros poblados a raster y consistió en asignar a cada celda (raster) la distancia de la entidad más cercana del conjunto de celdas analizadas, esto se logró mediante la ayuda de un SIG. Fuente de datos se utilizaron el mapa de caminos y mapa de centros poblados del INETER, con una resolución de datos de 50m

4.3.2.2 Covariable Combustible:

El departamento de Nueva Segovia cuenta con una rica diversidad de bosque, entre ellos se han identificado las cuatro especies del género pinus del país: *Pinus oocarpa* (ocote), *Pinus maximinoii* (pinabete), *Pinus tecunumani* (pino rojo) y *Pinus caribaeae* (caribeño). Así como bosque latifoliado de nebliselva en los puntos altos de lo que conocemos como la serranía de Dipilto y Jalapa. Y entre los bosques latifoliados se encuentran bosques secos y tacotales como parte del corredor seco y las zonas más bajas.

Los usos de suelo encontrados en el área de estudio son: Bosques de conífera denso, Bosques de conífera ralo, Bosques latifoliado denso, Bosque de latifoliado ralo, vegetación arbustiva y tacotales.

La clasificación se realizó con el último mapa de uso de suelo 2015 del mapa de uso del INETER con una resolución de 50 metros (Figura 1).

En la covariable de **uso de suelo**, se tomó en cuenta los usos forestal representativos, desagregándose de la siguiente forma: bosque latifoliado denso, bosque latifoliado ralo, unificando para este estudio el bosque de conífera denso y ralo, tacotales; esta variable independiente se correlacionó con el resto de las covariables independientes en función a la variable dependiente SI/NO. Estimando el riesgo a presencia de incendios en los diferentes usos para luego obtener las zonas de alto riesgo en el departamento.

4.3.2.3. Covariables meteorológicas:

Las condiciones climáticas son un factor importante al momento de la creación de modelos de predicción de incendios forestales. La sequía (falta de humedad en el suelo) presente en algunos años influye directamente sobre el número y la severidad de los incendios forestales. La temperatura altas y velocidades de los vientos favorecen la propagación rápida del fuego.

Este estudio se realizó con las **covariables meteorológicas** que se lograron acceder a través las estaciones meteorológicas y pluviométricas de INETER, que se encuentran ubicadas en el departamento. Para este estudio se consideró **la precipitación media anual y temperatura media anual** (Anexos 3 y 4), porque se consideran covariables que influyen para la presencia de incendios, se usó de la geoestadística que aporta diferentes métodos para el análisis de covariables espaciales, en este caso si implemento la interpolación con los datos de las estaciones con relación a los puntos de calor.

4.3.2.4. Covariable Topografía:

Para una buena propagación del fuego, las covariables topográficas juegan un papel importante. La pendiente del terreno (medida en %) y la orientación de la pendiente favorecen la propagación del fuego. Las áreas inclinadas facilitan la propagación del fuego cuesta arriba y la exposición al sol (orientación) y al viento también afecta la propagación.

Estas covariables independientes topográficas (aspecto u orientación del relieve y pendiente en porcentaje) fueron obtenidas a través de la generación de derivados de los Modelos Digitales de Elevación (MDE). Estas covariables fueron procesadas en un programa de Sistema de Información Geoespacial (SIG) para su debido análisis espacial aplicando las herramientas de Slope y Aspect. El MDE utilizado tiene una resolución espacial de 30 x 30m, obtenido para el departamento de Nueva Segovia. De este MDE se obtuvo, además, las elevaciones (msnm) (Anexos 5, 6 y 7). El mapa de aspecto del relieve representa las áreas con orientación norte o noroeste y de alta elevación tienen menor riesgo de presencia de incendios, mientras que aquellas con orientación sur y suroeste generalmente son más susceptibles a la presencia de incendios (Fulé & W.W. Covington, 1999).

4.3.3 Aplicación de la regresión logística

La regresión logística es un método utilizado en análisis anteriores, para la estimación de la ocurrencia de incendios forestales a escalas regionales y locales, generando modelos predictivos y explicativos, al conocer las covariables de mayor importancia en el fenómeno (Carvacho Bart, 2000). Con este modelo se pretende estimar la probabilidad de ocurrencia de la variable dependiente dicotómica (la presencia o ausencia de incendios) a partir de las covariables independientes, es decir, obtener la probabilidad de que cada individuo pertenezca a cada uno de los grupos que define la variable dependiente (González, 2006). De igual forma, se comprueba la relación entre la variable dependiente y las independientes seleccionadas en el modelo.

El modelo de regresión logística se define como (*Ecuación 1*):

Ecuación 1. Modelo de regresión logística

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

$$Z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_P X_P$$

Donde P_i es la probabilidad de ocurrencia de incendio, z la combinación de variables independientes con sus coeficientes de regresión (I), X el valor de cada variable independiente en la base del logaritmo natural (Pew & Larsen, C.P.S, 2001) citando a Afifi y Clark, 1990; McGrew y Monroe, 1993.

La regresión logística se basa en ciertas asunciones (Garson, 2006). Estas incluyen:

No Linealidad: No se asume una relación lineal entre la variable dependiente y las independientes.

Distribución Normal: La variable dependiente no necesita seguir una distribución normal ni ser homocedástica (con varianza constante).

Variabes Relevantes: Si se incluyen variables irrelevantes en el modelo, la varianza compartida puede atribuirse erróneamente a estas variables.

Independencia de Errores: Se asume que los términos de error son independientes y no se consideran los efectos de interacción entre las variables.

Multicolinealidad: Las variables independientes no deben representar la misma naturaleza del fenómeno.

Correlación: A medida que aumenta la correlación entre las variables, el error estándar de los coeficientes también aumenta (Villagarcía, 2006).

Para evitar la inclusión de variables que causen problemas de colinealidad se realizaron diferentes pruebas, previamente a la elaboración del modelo, el grado de correlación entre las variables independientes, mediante coeficientes de correlación no paramétricos de Spearman. En aquellas variables que presentan correlación superior, se explora su correlación con la variable dependiente, excluyendo del modelo la que esté menos correlacionada de cada par. Posteriormente, con las variables que quedan tras esta primera selección, se estudia el fenómeno de multicolinealidad mediante diagnósticos propios de la técnica de regresión multivariante, como son el Coeficiente de tolerancia, el Factor de Inflación de la Varianza y los Autovalores, Índice de condición y Proporción de la varianza.

El objetivo es comprobar si existe diferencia significativa entre los valores de las variables seleccionadas correspondientes presencia y ausencia de incendios (Prueba de la U-Mann-Whitney y Kruskal-Wallis). El modelo de regresión logística fue realizado en el software estadístico de **R**, que es un software libre, con una gran comunidad de usuarios, muchos de los cuales desarrollan paquetes orientados a técnicas concretas, y que ponen a disposición del resto de usuarios.

Para la identificación del mejor modelo de regresión logística se realizó la comparación de modelos utilizando el cociente de verosimilitud, que indica a partir de los datos de la muestra cuanto más probable es un modelo frente al otro. La diferencia de los cocientes de verosimilitud entre dos modelos se distribuye según la ley de la Chi cuadrado con los grados de libertad correspondientes a la diferencia en el número de variables entre ambos modelos. Si a partir de este coeficiente no se puede demostrar que un modelo resulta mejor que el otro, se considerará como el más adecuado y probablemente el más sencillo.

4.3.4 Mapeo de zonas de alto riesgo a incendios

Una vez identificada la ecuación logística para la determinación del riesgo de incendios, se procedió a mapear el mapa de riesgos a incendios forestales en el departamento de Nueva Segovia.

Debido a que las covariables utilizadas para correr el modelo tenían diferentes resoluciones espaciales (tamaño de píxel), se procedió a utilizar un raster de tamaño de píxel de 50 m que resultó ser el tamaño promedio de la mayoría de los raster entrantes utilizados. Además, este tamaño de píxel resultaba idóneo por el total de área del departamento de Nueva Segovia (3,516 km²). Para utilizar este tamaño se procedió a homogenizar el tamaño de píxel (resampling) todos los raster entrantes de las covariables y así poder mapear las zonas de riesgos a incendios en el área de estudio. Igualmente, para identificar las áreas de alto riesgos en la zona, se realizaron sobreposiciones (overlays) entre las zonas de riesgos identificadas y los municipios.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Modelo de regresión resultante o modelo de regresión para estimar el riesgo de incendio.

En el modelo se tomaron en cuenta las 8 covariables descritas en la metodología (meteorológicas, topográficas, de combustible y antropogénicas). Estas covariables que se encuentran espacialmente en el departamento de Nueva Segovia, fueron obtenidas en una tabla con los puntos de calor existente en el 2016 y los puntos de no presencia de incendios que fueron trazados al azar para su ingreso al software R y de esta manera realizar la modelación. La *Ecuación 2*, representa la formula considerada en el estudio.

Ecuación 2. Modelo de regresión logística aplicado en el estudio para todas las covariables seleccionadas.

$$Incendios_{Si/No} = f(UsaSuelo, PP, Temp, elev, pendiente, aspecto, DistPob, DistCaminos)$$

Donde:

<i>Incendios (Si/No):</i>	Es la probabilidad de ocurrencia o no de incendios forestales
<i>UsaSuelo:</i>	Uso de suelo (Bosque de conífera ralos, Bosque latifoliado denso, Bosque latifoliado ralo, Tacotal)
<i>PP:</i>	Precipitación media anual (mm)
<i>Temp:</i>	Temperatura media anual (°C)
<i>Elev:</i>	Elevación (msnm)
<i>Pendiente:</i>	Pendiente (%)
<i>Aspectos:</i>	Aspecto del relieve (grados)
<i>DistPob:</i>	Distancia de Poblados (m)
<i>DistCaminos:</i>	Distancia de Caminos (m)

Modelos intermedios

Utilizando las diferentes herramientas de selección de covariables que ofrece el programa de R Statistic, se procedió a correr diferentes modelos. El primer modelo que incluya todas las covariables seleccionadas solo la covariable precipitación fue la que resultó significativa. El siguiente modelo ejecutado fue el presentado en el Ecuación 3.

Ecuación 3. Modelo de regresión logística aplicado en el estudio del Modelo 2.

$$Incendios_{Si/No} = f(UsoSuelo, PP, Temp, elev)$$

En este modelo, ninguna resultado significativa. Según revisión de literatura, existe una alta multicolinealidad de la elevación con la temperatura.

Ecuación 4. Modelo de regresión logística aplicado en el estudio Modelo 3.

$$Incendios_{Si/No} = f(UsoSuelo, PP, Temp, DistPob)$$

En este modelo, la covariable de distancia a poblados no resultó significativa, lo que supone que, por la baja distribución espacial de las poblaciones en Nueva Segovia, no influye sobre la presencia o ausencia de los incendios en el departamento. Importante mencionar, que la distancia de los poblados respecto a la distancia a los caminos es mayor.

Ecuación 5. Mejor modelo para la estimación de presencia de incendios del Modelo 4.

$$Incendios_{Si/No} = f(UsoSuelo, PP, Temp, DistCaminos)$$

De los cuatros modelos mencionado anteriormente, se seleccionó el Modelo 4 (Ecuación 5), por ser el que ofrecía una mejor relación entre complejidad (número de covariables independientes) y acierto en la clasificación. El modelo resultante incluye cuatro covariables independientes: Uso del

suelo, precipitación, temperatura y distancia a los caminos. La estimación de los riesgos a incendios forestales para el 2016, se encuentran espacializados en la Figura 4.

Cuadro 3. Correlación de las covariables independiente (climática, topográficas) del mejor modelo de regresión logística.

Covariables	Incendios	
Observaciones	585	
	Coef	<i>p-value</i>
β_0, Constante	-0.7208	0.000
β_1, Bosque de Conifera	0.1735	0.000
β_1, Bosque latifoliado denso	-0.2878	0.010
β_1, Bosque latifoliado ralo	-0.3980	0.001
β_1, Tacotal	-0.3146	0.001
β_2, Precipitación	-0.01153	0.000
β_3, Temperatura	0.3745	0.0001
β_4, Distancia a los Caminos	0.0002391	0.020

La distancia a caminos, es una de las covariables que definió el modelo que incidió en el riesgo de incendios forestales en el año estudiado. Ya que la probabilidad de incendios aumenta a medida que aumentan la cantidad de caminos, esto se debió a que existe una amplia red de caminos en este departamento incluyendo dentro de las áreas de bosques por ser de producción forestal. Además en el año 2016, se ejecutaron también planes de saneamiento por la afectación de la plaga del gorgojo descortezador (*Dendroctonus frontalis*), representando riesgo ignición de un incendios por diferentes causas antropogénicas (colillas de cigarrillos, fogatas no apagadas por parte de los obreros que trabajan en los planes de manejo, así como la práctica que aplican en algunos lugares como la quema de residuos del descortezado de las trozas para controlar las poblaciones del gorgojo en los patios de acopios).

Este modelo refleja que los efectos directos de los **cambios de temperatura** influyen en la ignición de los incendios: al haber aumento de temperatura acelera el secado de los combustibles,

aumentando su disponibilidad y probabilidad de presencia de igual forma de que se presenten focos secundarios. Las altas temperaturas producen la liberación de sustancias volátiles por parte de la vegetación aumentando su inflamabilidad y más en el uso de suelo relacionado con los bosques de coníferas. (Ramos R, 2010).

El modelo del riesgo obtenido de los incendios forestales asume que las bajas **precipitaciones** están relacionadas con las condiciones de sequía, ya que entre más largo sea el período seco más puede descender la humedad del material combustible forestal (Vélez, 1995). El peligro de ignición crecerá a medida que se prolonga la sequía, ya que los combustibles ligeros, en los que se inicia el fuego, tendrán cada vez menor contenido de humedad.

Los resultados obtenidos una vez realizadas las correlaciones determinan que no se deben incluir en el análisis las covariables independientes; pendiente, aspecto, elevaciones, distancia a poblados, al no presentar diferencias significativas al 95% de confianza (*p-valor* mayor de 0,05) para dos muestras independientes del primer y cuarto cuartil (resultados del test de la U-Mann-Whitney) (Cuadro 3). Que estas covariables no sean significativas, no indica que estas covariables no influyen sobre la presencia de incendio, sino que para los incendios que se presentaron en el 2016, en el área de estudios no son significativas.

5.2. Mapeo del riego a incendios.

Una vez obtenida la ecuación de regresión logística, se procedió a implementarla a través de análisis espacial SIG con las covariables definidas y sus respectivos coeficientes. El resultado es un mapa en formato raster (Grid) donde cada celda (pixel) tiene un valor entre 5-9. Los valores de pixeles se distribuyeron de la siguiente manera: Bajo (5 a 6), Medio (6 a 7.5) y Alto (7.5 a 9). Estos valores dependen del tipo de bosque (Bosque de Conífera ralo, Bosque latifoliado denso, Bosque latifoliado ralo y Tacotal), donde si implemento el modelo, así como los coeficientes de cada uno de ellos. Una vez obtenido este modelo de incendios, se procedió a utilizar herramientas de reclasificación para obtener un mapa categórico con valores de Bajo, Medio y Alto (Figura 4) para una mejor interpretación de los resultados.

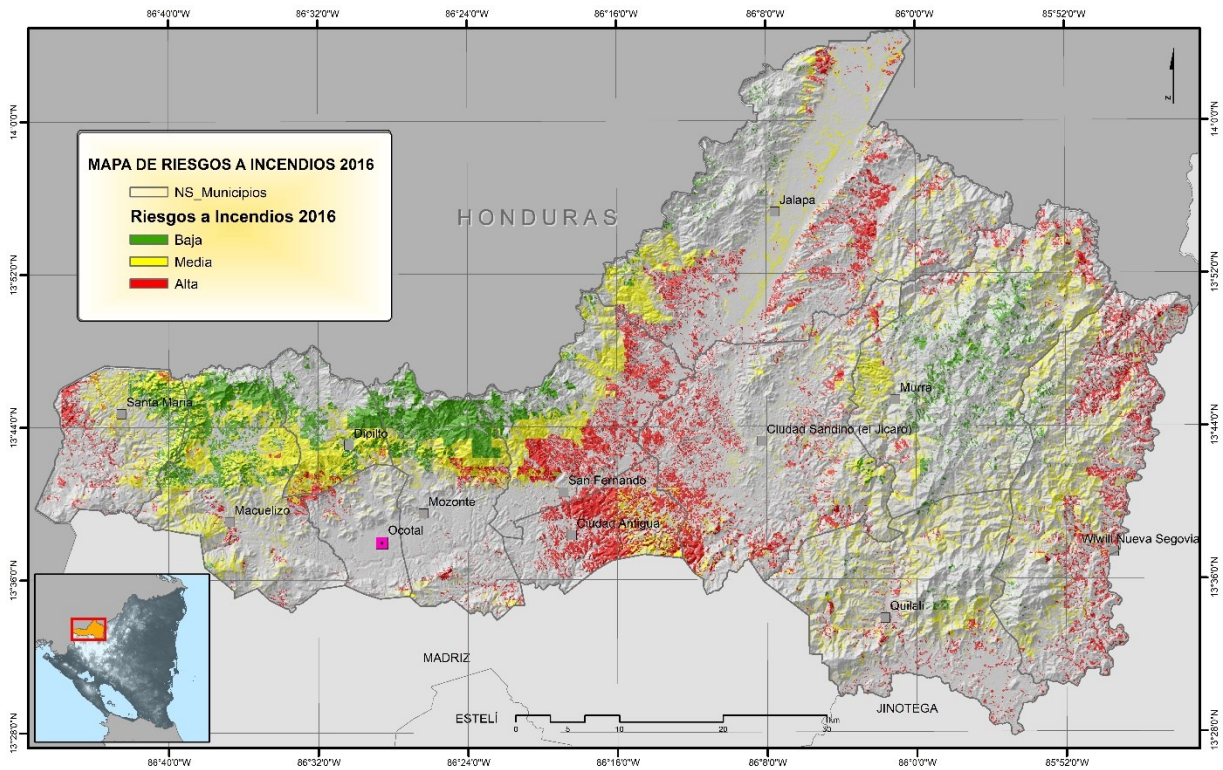


Figura 4. Mapa de riesgo a incendios forestales en los suelos forestales para el año 2016

5.3. Identificación del riesgo a incendios por municipio.

Una vez obtenido el Modelo de estimación de riesgo de incendios forestales, se clasificaron los municipios en tres niveles de riesgo (alto, medio y bajo) con relación al área del municipio. Los niveles de riesgos se determinaron con el resultado del mapa (Figura 4) del modelo donde se generó la distribución de píxeles representados por tres colores: verde el riesgo bajo, amarillo riesgo medio y rojo como el riesgo alto a la presencia de incendios y a través de la herramienta SIG se procedió a calcular las diferentes estadísticas por cada uno de los municipios del departamento para obtener el porcentaje de acuerdo en relación al área según el tipo de riesgo sobre el área del municipio.

5.3.1 Riesgo bajo

El riesgo bajo se determinó en aquellas zonas de municipios en el que existe bajas probabilidad de que se presenten incendios influenciado por las covariables analizadas; temperatura, precipitación, distancia de caminos junto con el uso de suelo, puede observarse en la parte alta de la **serranía de**

Dipilto y Jalapa. En el caso del Municipio de **Dipilto** el 36.38% y **Mozonte** con el 25% de las áreas de estos municipios se determinó una baja probabilidad de que se presenten incendios forestales en las áreas en las que se encuentran concentradas las áreas de pino y bosque latifoliado denso ya que estos tipos de bosques tiene la capacidad de absorber y conservar la humedad generados por las precipitaciones y bajas temperaturas. **Macuelizo**, a pesar de que es parte del corredor seco y que en la parte alta cuenta con bosques de pino, solamente el 27.89% del territorio del municipio se encontró una baja probabilidad de que se presente incendios forestales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Municipios con baja probabilidad de riesgo de incendios forestales

Riesgo bajo			
Municipio	Área Municipal (km²)	Área Riesgo (km²)	%_Área
Dipilto	104.31	37.95	36.38
Macuelizo	260.25	72.57	27.89
Mozonte	219.63	55.97	25.48

5.3.2 Riesgo medio

El riesgo medio se determinó donde las covariables estudiadas y el porcentaje con respecto a su área forestal total, están entre baja y alta, encontrándose en los municipios de San Fernando, Dipilto, Macuelizo, predominando las áreas de amortiguamiento de los que es la serranía de Dipilto y Jalapa donde los bosques de pino son ralos y en mayor predominancia con especies de latifoliados característicos del bosque seco a como los es en el caso del Municipio de Macuelizo con un 13.78%, Dipilto un 14.85% y San Fernando 21.16% (Cuadro 5).

Cuadro 5. Municipios con riesgo medio de probabilidad de incendios forestales

Riesgo medio			
Municipio	Área Municipio (km²)	Área Riesgo (km²)	%_Área
San Fernando	136.68	28.92	21.16
Dipilto	104.31	15.49	14.85
Macuelizo	260.25	35.87	13.78

5.3.3 Riesgo Alto

Ciudad Antigua, San Fernando y Jícara: son los municipios que presentan más alto riesgo a presencia de incendios forestales influenciados por las covariables precipitaciones media, temperatura media y la distancia a los caminos en los diferentes usos de suelos forestales en concordancia con los puntos de calor que se registraron en ese año. Estos municipios son parte del corredor seco del país y se encuentran las zonas bajas de los valles y que de igual forma predomina el bosque mixto (Pinus y Quercus). Los municipios, que también presentaron alto riesgo a los incendios forestales, son Wiwili de Nueva Segovia, Jalapa y Santa María (Cuadro 6).

Cuadro 6. Municipios con alto riesgo de probabilidad a incendios forestales

Riesgo alto			
Municipio	Área Municipio (km²)	Área Riesgo (km²)	%_Área
Ciudad Antigua	123.77	46.53	37.59
San Fernando	136.68	45.70	33.43
Jícara	427.07	55.46	12.99

VI. CONCLUSIONES

El modelo sugiere que las covariables que influyen con el riesgo de incendios forestales en el departamento de Nueva Segovia, para el año 2016, fueron la precipitación, temperatura y distancia de camino. Aunque las otras covariables independientes implementadas no resultaron significativas, podemos aseverar que son covariables que pueden influir en el riesgo a incendio como es la elevación. Esto se debe a la multicolinealidad que la elevación suele tener con la temperatura. Por lo tanto, aunque algunas covariables independiente no se destacaron directamente en el modelo resultado, su presencia sigue siendo relevante en el contexto más amplio de los incendios forestales.

Se ha identificado que Ciudad Antigua, San Fernando y el Jícaro son los municipios de más alto riesgo de incendios forestales los cuales se encuentran en el corredor seco del norte de Nicaragua. Estos municipios están ubicados en las zonas bajas de los valles y se caracterizan por la presencia predominante de bosque mixto (*Pinus y Quercus*).

VII. RECOMENDACIONES

Los puntos de calor registrados por la NOAA deben de ser verificados de una forma exhaustiva para que dichos puntos de calor representen en la realidad incendios forestales y no así otro tipo de incendios y/o quemas agrícolas.

Realizar comparaciones entre diferentes años para poder obtener una mejor apreciación de cuáles son las covariables edafoclimáticas y sociales que influyen con la presencia de incendios en Nueva Segovia. Esto implica que se deben tener los mapas de uso de suelo para el año en estudio. Además, esto se pueden comparar los resultados por cada año para ver su correlación con otras los años de mayores temperaturas o años de sequía.

Otros modelos de regresión estadísticos como el *Random Forest* (RF) y el *Vector Support Machine* (SVM) pueden ser probados para comparar los resultados en la estimación de los incendios forestales en Nueva Segovia.

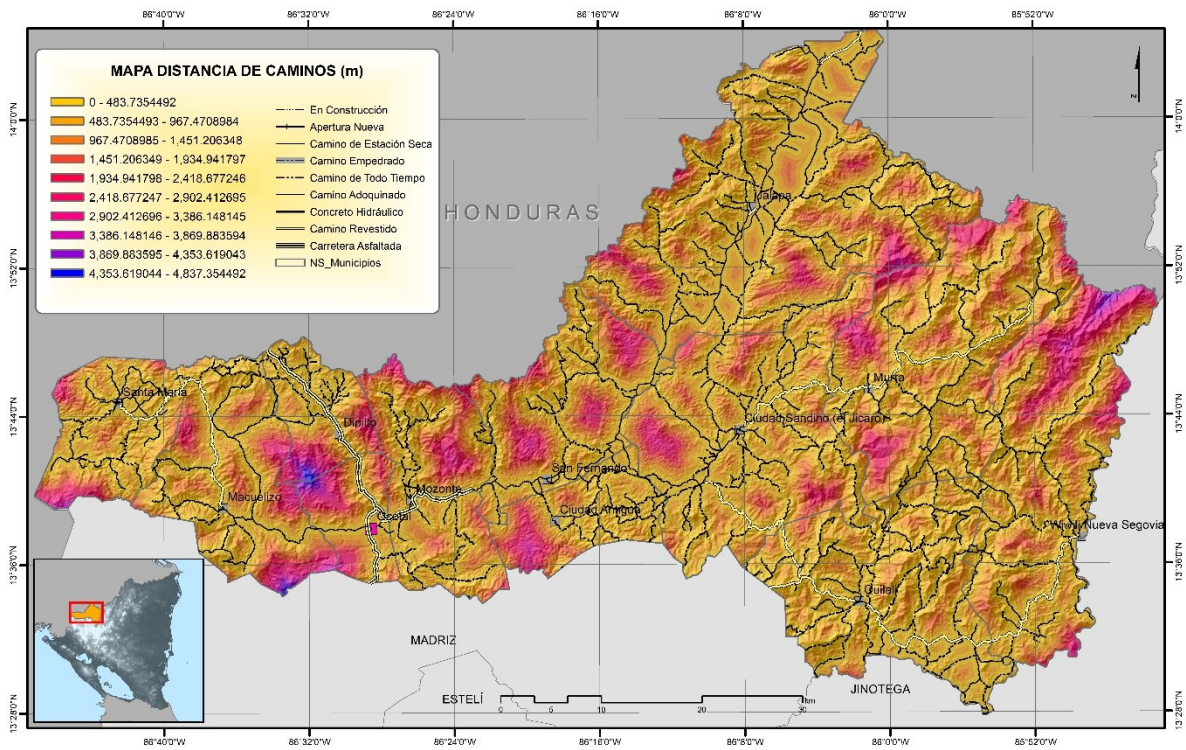
VIII. LITERATURA CITADA

- Alegría Tardón, R. E.-f. (2020). *Estudio y evaluación del riesgo de incendios forestales en la interfaz urbano-forestal de las comunas que componen el Área Metropolitana de Valparaíso*. Valparaíso, Chile.
- Asociación de Municipios de Nueva Segovia. (2008). *Contexto Forestal. Plan de Ordenamiento Forestal del Departamento de Nueva Segovia*. Managua.
- Carvacho Bart, L. (2000). *Aplicación de redes neuronales al análisis de datos en teledetección: predicción y cartografía de incendios forestales. Tesis Doctoral*. Universidad de Alcalá: Facultad de Filosofía y Letras, Departamento de Geografía.
- CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo). (2017). *Estrategia Regional de Manejo del Fuego para Centroamérica y República Dominicana 2015-2025*. San Salvador, El Salvador.
- Centro de Mejoramiento Genético y Banco de Semillas Forestales. (1994). *Pinos de Nicaragua*. Managua : HISPAMER.
- Chuvieco, E. &. (1996). Chuvieco, E., & Salas, Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *Chuvieco, E., & Salas, J. (1996). Mapp. International Journal of Geographic Information Systems.*, 10, 333–345.
- Dentoni, M., & Muñoz, M. M. (2000). *Sistema de evaluación de peligro de incendios*. Argentina.
- Drury, S., & Veblen, T. (2008). *Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas forestry reserve. Plant Ecology*. Durango, Mexico.
- Fulé, P., & W.W. Covington. (1999). *Fire regime changes in La Michilia Biosphere Reserve*. Durango, Mexico: Conservation Biology.
- Garson, D. (2006). Statnotes: Topics in Multivariate Analysis. Obtenido de <http://www2.chass.ncsu.edu/garson/pa765/statnote.htm>
- González, C. (2006). *Análisis de Datos Cualitativos, en: Curso de Metodología de Investigación Cuantitativa. Técnicas Estadísticas. CSIC*.
- Iliadis, L. S. (2005). A decision support system applying an integrated fuzzy model for long-term forest fire risk estimation. *Environmental Modelling & Software*, 20, 613–621.
- INETER. (2015). Atlas de cobertura y uso actual. Managua, Nicaragua.
- Ipinza, R. B. (2021). Bosques y Biodiversidad. *Ciencia & Investigación Forestal*, 101-132.
- Kaloudis, S. T. (2005). Assessing wildfire destruction danger: a decision support system incorporating uncertainty. *Ecological Modelling*, 181(1), 25-38.

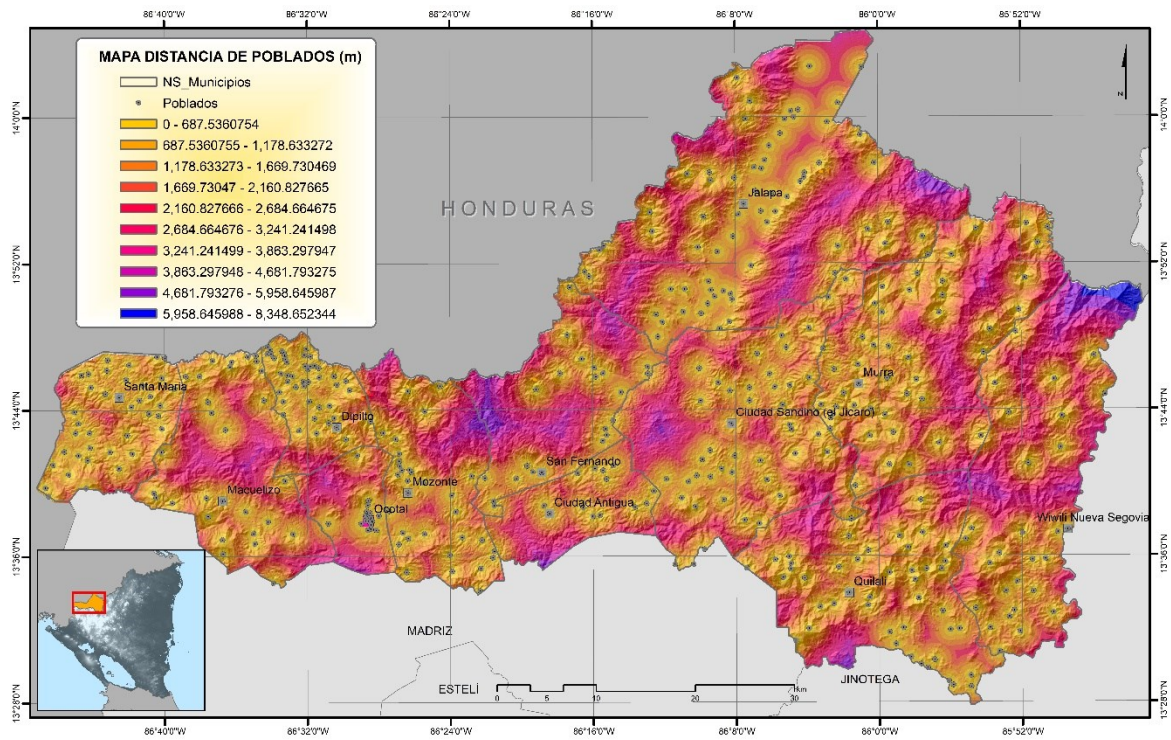
- Lozano, F. J.-S. (2008). A multi-scale approach for modeling fire occurrence probability using satellite data and classification trees: A case study in a mountainous Mediterranean region. *Remote Sensing of Environme*, 112,708-719.
- MARENA, ENDE-REDD+. (2020). *Atlas de cobertura forestal y desforestación de bosque en Nicaragua*. Managua.
- Ossa Ossa, V. H. (2013). *Estructuración y montaje de un sistema de información geo-referenciada como instrumento de apoyo para la formulación y puesta en marcha del programa regional para la prevención y mitigación de incendios forestales en Caldas*. Caldas.
- Pew, K., & Larsen, C.P.S . (2001). GIS analysis of spatial and temporal patterns of humancaused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island. *Forest Ecology and Management*, 140, 1-18.
- Ramos R, M. (2010). *Manejo de Fuego*. Habana, Cuba: Editorial Félix Varela. Pag.51-100.
- Rodríguez, D. (1996). *Incendios forestales. Primera edición*. Mexico, DF.: Editorial mundi-prensa.
- SEGOB. DOF. (2011). *Lineamientos de operación específicos del fondo de desastres naturales. Sección III*. Mexico.
- Vélez, M. R. (1995). El Peligro de Incendios Forestales derivados de la sequía. *cuadernos de la S.E.C.F. No.2*, 99-109.
- Villagarcía, T. (2006). “Regresión”, Curso de Metodología de Investigación Cuantitativa.
- Westerling, A. L., & Bryant, B. P. (2008). Climate change and wildfire in California. doi:10.1007/s10584-007-9363-z

IX. ANEXOS

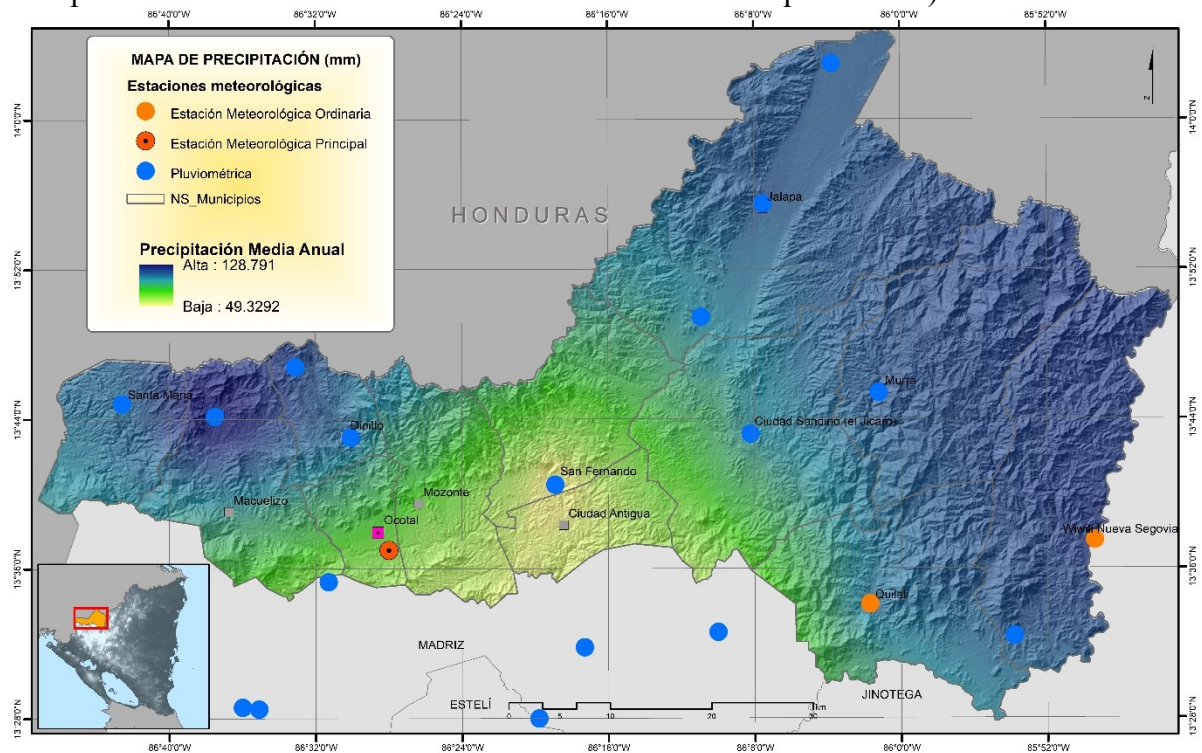
Anexo 1. Mapa distancia de caminos (m) (Fuente: INETER)



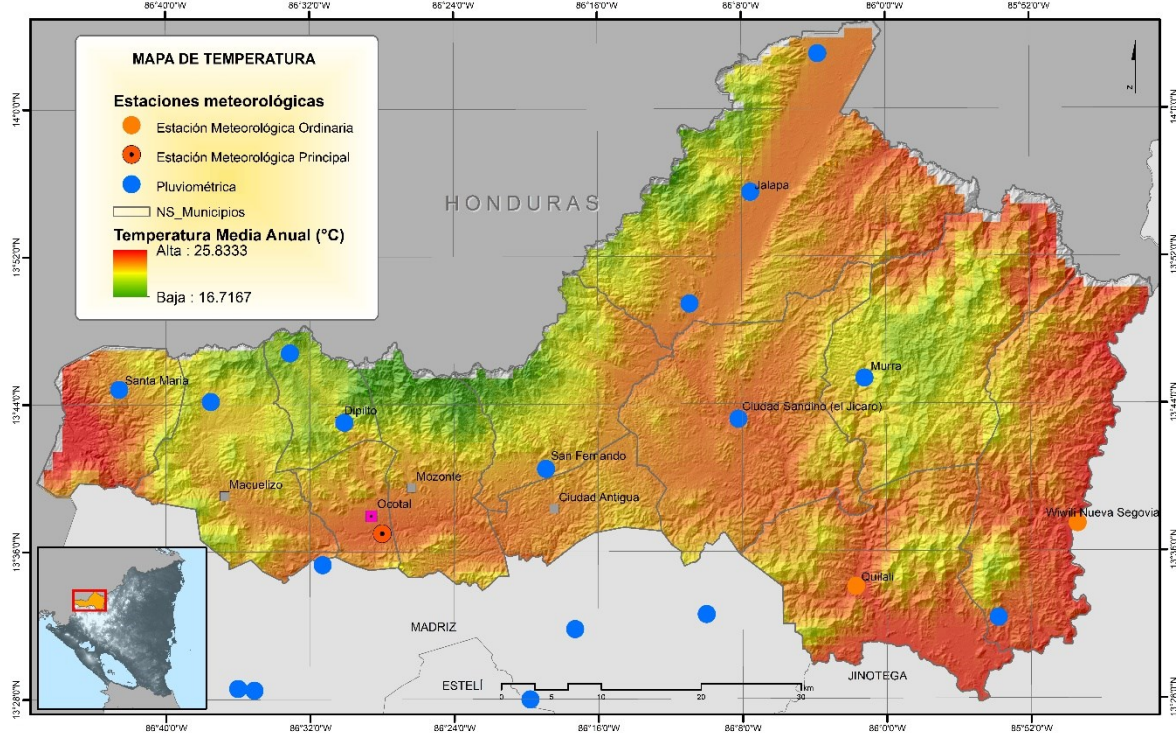
Anexo 2. Mapa distancia de poblados (m), (Fuente: INETER)



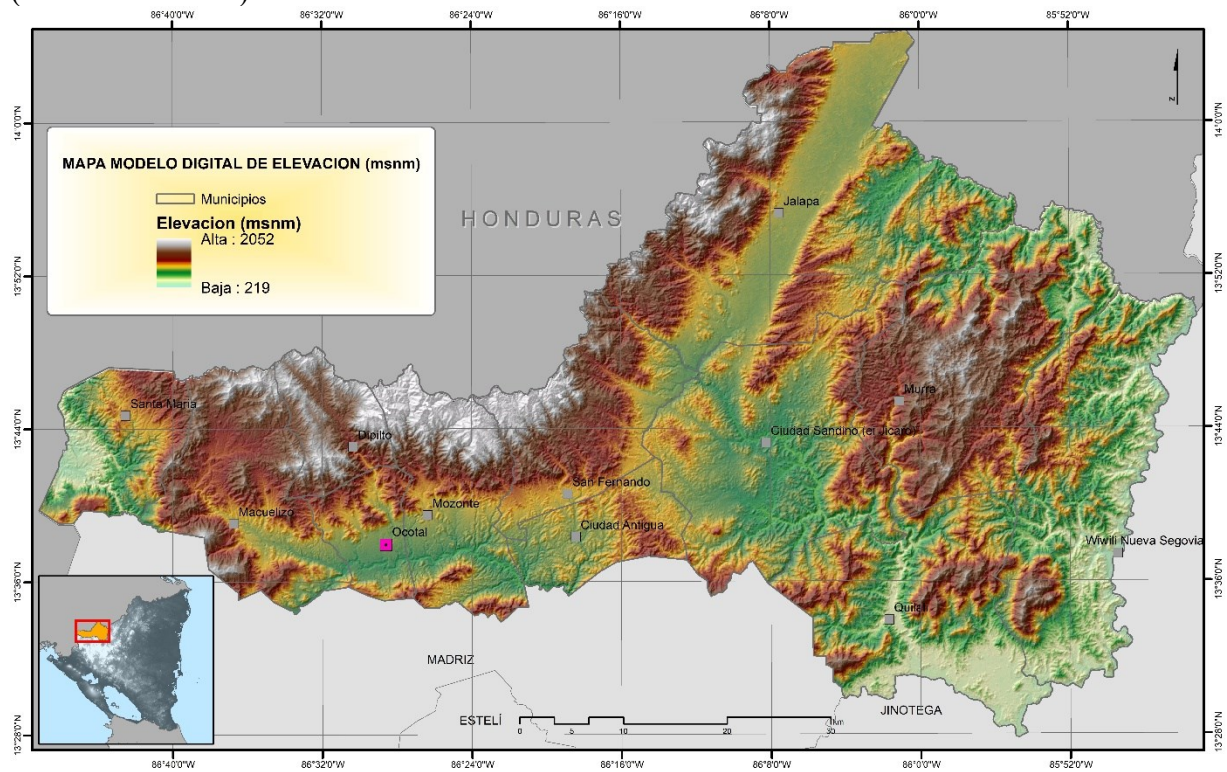
Anexo 3. Mapa de precipitación media anual (mm) del departamento de Nueva Segovia (Fuente: Interpolación de los datos de las estaciones climáticas del departamento)



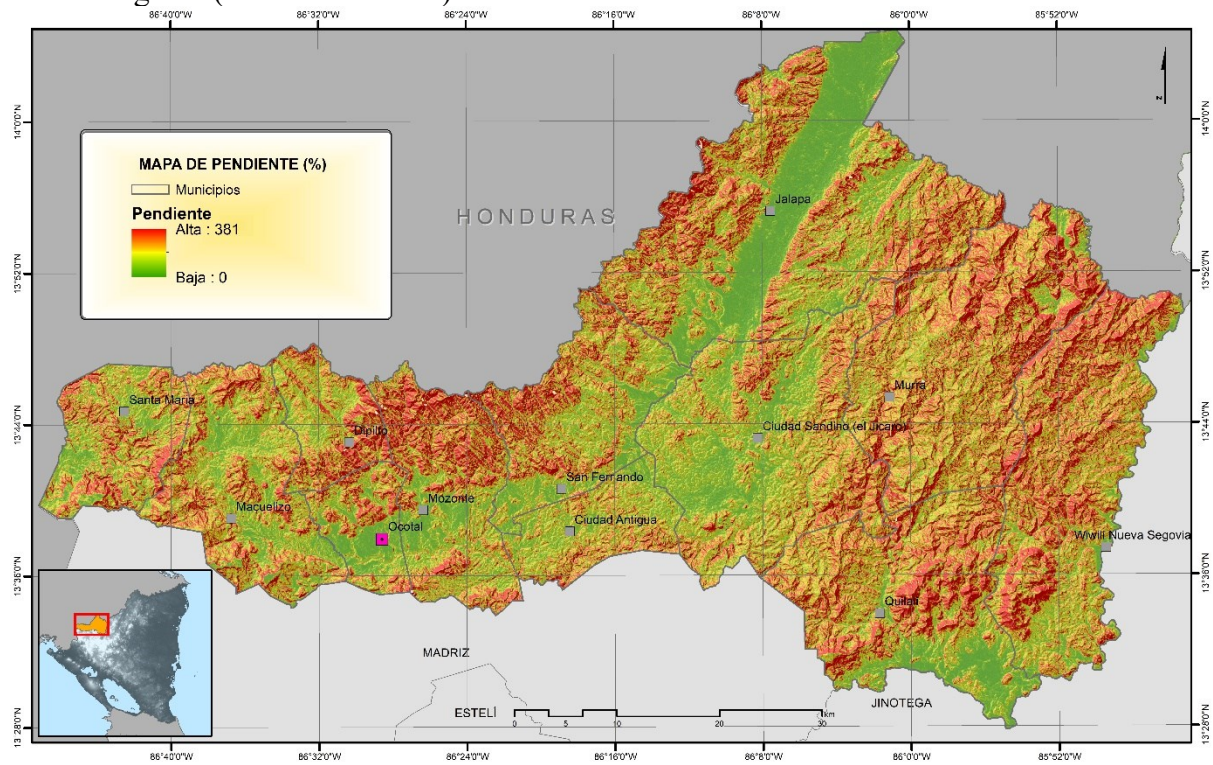
Anexo 4. Mapa de temperatura media anual (°C) del departamento de Nueva Segovia (Fuente: Interpolación de los datos de las estaciones climáticas del departamento).



Anexo 5. Mapa del Modelo Digital de Elevación (msnm) el departamento de Nueva Segovia (Fuente: INETER)



Anexo 6. Mapa de pendiente (%) derivado del modelo digital de elevación del departamento de Nueva Segovia (Fuente: INETER)



Anexo 7. Mapa de aspecto derivado del modelo digital de elevación del departamento de Nueva Segovia (Fuente: INETER).

