



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

MODELIZACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES EN EL CANTÓN ZAMORA (ECUADOR) USANDO DATOS DE TELEDETECCIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE

Autor: Aarón Joao Gómez Bravo
ajgombr1@upv.es

Tutores:
Dr. Ángel Antonio Balaguer Beser
Mgs.Sc. Fernando Alexis González Soto

Titulación: Máster Universitario en Ingeniería Geomática y Geoinformación
Curso: 2025/2026



1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen una de las principales amenazas ambientales sobre los ecosistemas tropicales, alterando la biodiversidad, la cobertura vegetal y los servicios ecosistémicos. En Ecuador, la provincia de Zamora Chinchipe y el cantón Zamora concentraron 120 siniestros entre 2019 y 2025 (más del 36% regional). La combinación de biomasa combustible densa, topografía accidentada y actividades agropecuarias genera un alto riesgo de ignición antrópica. Ante la escasez de estaciones meteorológicas y la persistente nubosidad, este TFM integra datos satelitales abiertos (Sentinel-2, VIIRS) y modelos de Machine Learning (LR, SVM, MARS) para evaluar la susceptibilidad territorial y aportar insumos cartográficos de apoyo a la gestión del riesgo (ODS 11, 13 y 15).

2. OBJETIVOS

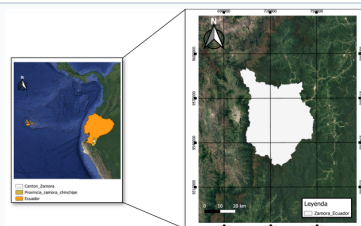
Objetivo Principal

Modelizar la susceptibilidad a incendios forestales en el cantón Zamora mediante teledetección y análisis multivariante para generar cartografía predictiva de apoyo a la gestión del riesgo.

Objetivos Específicos

- Validar focos históricos VIIRS (2019–2025) con Sentinel-2 en GEE.
- Evaluar la multicolinealidad (VIF) de variables predictoras.
- Comparar modelos predictivos (LR, MARS, SVM) y generar el mapa final de susceptibilidad.

2. ZONA DE ESTUDIO



Ubicación cantón Zamora (Zamora Chinchipe, Ecuador)

Superficie de ~1.800 km² en la Amazonía sur ecuatoriana (800 a 2.800 m.s.n.m.). Relieve accidentado, densa biomasa, alta nubosidad y creciente presión antrópica.

3. METODOLOGÍA

1. Obtención de Datos Geoespaciales

Focos VIIRS (375 m), Sentinel-2 L2A, MDE ALOS PALSAR y cartografía IGM.

2. Depuración y Control en GEE

Validación temporal con RGB, NBR y NDMI. Base: 131 incendios / 137 no incendios.

3. Selección de Predictores (VIF)

5 variables no colineales: NDMI, access_ZA, dist_CE, dist_ríos y dist_AP (VIF < 1.25).

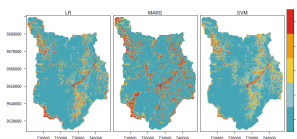
4. Modelado Predictivo (ML)

Partición 70/30. Ajuste de Regresión Logística (LR), SVM lineal y MARS (splines).

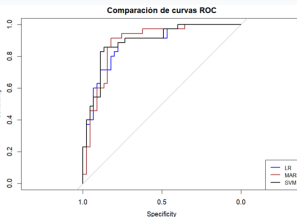
5. Validación y Evaluación

Matrices de confusión, Exactitud, Kappa, Curvas ROC y AUC.

4. RESULTADOS Y RENDIMIENTO



Comparativa espacial de modelos de clasificación (LR, MARS y SVM)



Curvas ROC discriminantes y AUC asociado (RStudio)

Evaluación de Rendimiento

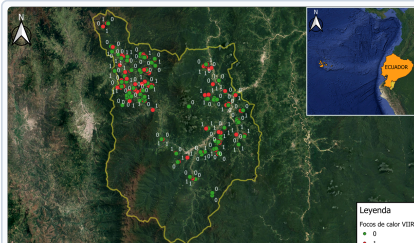
Modelo	Exactitud	Kappa	AUC
MARS	85.0%	0.700	0.887
SVM	83.7%	0.673	0.892
LR	81.2%	0.622	0.880

Diagnóstico de Multicolinealidad (Predictores)

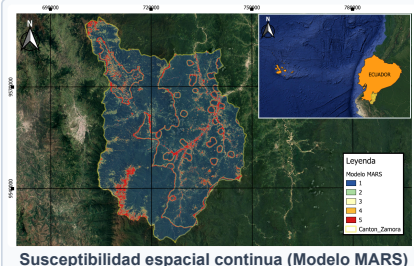
Variable	VIF	Tolerancia (1/VIF)
NDMI	1.08	0.926
access_ZA	1.18	0.847
dist_CE	1.21	0.826
dist_ríos	1.04	0.961
dist_AP	1.15	0.870

Valores VIF < 1.25 descartan colinealidad. NDMI (100%) es la variable determinante del régimen de ignición.

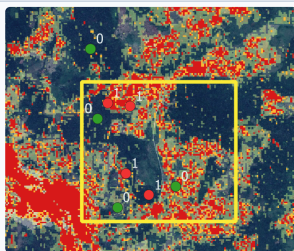
5. CARTOGRAFÍA RESULTANTE



Focos de calor VIIRS validados (2019–2025)



Susceptibilidad espacial continua (Modelo MARS)



Zonificación clasificada de probabilidad de ignición

6. CONCLUSIONES

- Capacidad predictiva:** El algoritmo MARS demostró la mayor solidez diagnóstica (Exactitud = 85.0%, Kappa = 0.700), superando las restricciones lineales en relieve montañoso.
- Dinámica en la Amazonía:** El estrés hídrico foliar (NDMI) y el gradiente de accesibilidad antrópica condicionan directamente la recurrencia de ignición en el cantón Zamora.
- Filtrado temporal robusto:** El procesamiento en GEE con Sentinel-2 superó la severa restricción de nubosidad regional, eliminando falsos positivos de los focos VIIRS.
- Aporte para la gestión:** La cartografía aporta una herramienta técnica transferible a GADs y Bomberos para zonificación preventiva y mitigación climática (ODS 11, 13 y 15).
- Líneas futuras:** Se recomienda integrar sensores meteorológicos dinámicos e índices térmicos en tiempo real para fortalecer la alerta temprana cantonal.

Impacto Territorial: Marco metodológico reproducible para ecosistemas amazónicos con escasa red de estaciones terrestres.

7. TECNOLOGÍAS USADAS

- GEE: Sentinel-2 L2A y filtros de nubes.
- QGIS / SAGA: Fill Sinks XXL en ALOS PALSAR.
- GRASS GIS: Fricción y coste de acceso (r.cost).
- RStudio: VIF, caret, earth y e1071.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chuvieco, E. et al. (2020): *Remote Sensing of Fire Susceptibility in Tropical Ecosystems*. Int. J. Remote Sens.
- Friedman, J. H. (1991): *Multivariate Adaptive Regression Splines*. The Annals of Statistics.
- Gorelick, N. et al. (2017): *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*. Remote Sens. Environ.
- ONU-Habitat (2022): *Directrices para la reducción del riesgo de desastres en ecosistemas amazónicos* (ODS 11, 13 y 15).