

Factores condicionantes y climáticos en la amenaza de incendio forestal de la microcuenca del Río Chazo Juan, Ecuador

Conditioning and climatic factors in the hazard of forest fires in the Chazo Juan River micro-watershed, Ecuador

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5825384>

AUTORES: Abelardo Paucar Camacho^{1*}

María Vallejo Ilijama²

Grey Barragán Aroca³

Luis Villacis Taco⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: apaucar@ueb.edu.ec

Fecha de recepción: 15 / 05 / 2021

Fecha de aceptación: 18 / 09 / 2021

RESUMEN

El trabajo evalúa la incidencia de los factores condicionantes (uso de suelo y cobertura vegetal, geomorfología y pendiente) y climáticos (temperatura, velocidad del viento y humedad relativa) en la amenaza de incendios forestales de la microcuenca del río Chazo Juan en la provincia Bolívar, que forma parte de la cuenca del río Guayas de gran importancia para Ecuador. Para las variables condicionantes se utilizó información de base cartográfica escala 1:25.000 del Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca; para un mayor detalle de las variables climáticas se empleó información de anuarios de estaciones meteorológicas cercanas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y se instalaron tres estaciones meteorológicas en la zona de estudio. A través del método

^{1*}Universidad Estatal de Bolívar, apaucar@ueb.edu.ec

²Universidad Estatal de Bolívar, mvallejo@ueb.edu.ec

³Universidad Estatal de Bolívar, rbarragan@ueb.edu.ec

⁴Universidad Estatal de Bolívar, lhvillacis@ueb.edu.ec

Delfhi se ponderó las variables de los factores condicionantes y climáticos que fueron interpolados y correlacionados mediante el algebra de mapas en el software ArcGis (10.3) para obtener el Índice Ponderado de Amenaza de Incendio Forestal y elaborar mapas con niveles de amenaza para escenarios (valores máximos, promedios y mínimos) a escala local, la correlación de variables se realizó mediante el método Pearson. Los resultados muestran que, las variables condicionantes presentan una incidencia significativa (muy alta y alta) mientras que las variables climáticas poca incidencia (medio, bajos, muy bajos e incluso nula en la velocidad del viento en escenarios de valores máximos y mínimos); existe una relación inversa, entre la temperatura y humedad relativa, a mayor temperatura menor humedad o viceversa, esto influye en el incremento o disminución de los niveles de amenaza.

Palabras clave: *amenaza, incendios forestales, microcuenca hidrográfica, factores condicionantes y climáticos.*

ABSTRACT

This paper evaluates the incidence of conditioning factors (land use and vegetation cover, geomorphology and slope) and climatic factors (temperature, wind speed and relative humidity) on the hazard of forest fires in the Chazo Juan river micro-watershed in Bolivar province, which is part of the Guayas river basin of great importance for Ecuador. It was used, for the conditioning variables, information from the cartographic base scale 1:25,000 of the Ministry of Agriculture, Livestock, Aquaculture and Fisheries; for a more detailed description of the climatic variables, it was used information from the yearbooks of nearby meteorological stations of the National Institute of Meteorology and Hydrology and three meteorological stations that were installed in the study area. The Delphi method was used to weight the variables of the conditioning and climatic factors, which were interpolated and correlated using map algebra in the ArcGis software (10.3) to obtain the Weighted Forest Fire Threat Index and prepare maps with hazard levels for scenarios (maximum, average and minimum values) at a local scale; the correlation of variables was done using the Pearson method. The results show that the conditioning variables have a significant incidence (very high and high); while the climatic variables have little incidence (medium,

low, very low and even null in the wind speed in scenarios of maximum and minimum values); there is an inverse relationship between temperature and relative humidity, the higher the temperature the lower the humidity or vice versa, this influences the increase or decrease of the hazard levels.

Keywords: *hazard, forest fires, micro-watershed, conditioning factors and climatic factors.*

INTRODUCCIÓN

A pesar del origen natural histórico de los incendios forestales, las intervenciones humanas, el cambio climático y falta de políticas preventivas han incrementado la frecuencia de los incendios (Pausas, 2018), estudios actuales indican que el 98 % de los incendios forestales son inducidos por acciones humanas y apenas el 2 % por causas naturales (Cruz, Rodríguez, Villanueva, & Santillán, 2017); las intensas intervenciones antrópicas en el cambio de usos de suelos y aumento de la temperatura contribuyen al incremento de la amenaza de incendios forestales que son más recurrentes por los efectos del cambio climático y agravan los problemas socioambientales en los territorios (Balcázar, 2021). Según expertos del Panel Internacional sobre el Cambio Climático - IPCC, durante los últimos años los incendios han mostrado mayor dispersión, frecuencia, proporción y severidad, agravado por efectos del cambio climático, provocan alteraciones importantes en los patrones de precipitación y sequía, así como, acumulación de combustible que en conjunto han transformado la dinámica de los incendios forestales (IPCCC, 2007).

Los incendios forestales ocasionan impactos negativos sobre la biodiversidad, vegetación, emisiones de dióxido y monóxido de carbono hacia la atmosfera, afectando a la salud de las poblaciones y pérdida de vidas humanas (Herawati, 2015); incluso los incendios por varios días emitirían mayor cantidad de dióxido de carbono que toda la economía de Estados Unidos (Edwards, Naylor, Higgins, & Falcon, 2019). La presencia y propagación de los incendios forestales es producto de la interacción entre las fuentes de ignición (principalmente humano), factores meteorológicos, la topografía y el uso de suelo a escala del paisaje, el fuego se extiende leyendo el paisaje y la rigurosidad del territorio (Montiel, 2018); de igual forma, la humedad incide en la formación de una abundante cobertura

vegetal que resulta ser el combustible en la ocurrencia de la propagación del fuego, principalmente en los años secos (Pérez Verdin, 2012).

Los gobiernos a escala mundial destinan considerables presupuestos para las actividades de prevención, mitigación y combate de los incendios forestales (FAO, 2007); la evaluación de la amenaza es importante para el diseño de mecanismos de intervención y optimizar la distribución los recursos, se pueden aprovechar las herramientas y tecnologías, como la teledetección y los sistemas de información geográfica (Ghomi, Farahi, & Roghaye, 2013). Para la elaboración de mapas de susceptibilidad de los incendios forestales se pueden considerar factores físicos (la elevación, pendiente y plano de curvatura), climáticos (velocidad del viento, temperatura, lluvia, humedad), usos de suelo, entre otros, que son procesados en sistemas de información geográfica para obtener el mapa de susceptibilidad que constituyen una herramienta y guía importante para la gestión del riesgo de incendios (Moayedí, Mehrabit, Tien Bui, Pradhan, & Kok Foong, 2019), así como, facilita la identificación y priorización de área de intervención, acciones y estrategias de reducción (Santos, y otros, 2019); de igual forma, la gestión de riesgo de incendio forestales basado en enfoque de resiliencia a partir de evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y resiliencia contribuyen a la reducción de la probabilidad de ocurrencia de daños a escala local (Hardy, Vega, Velázquez, Vilariño, & Nieves, 2021).

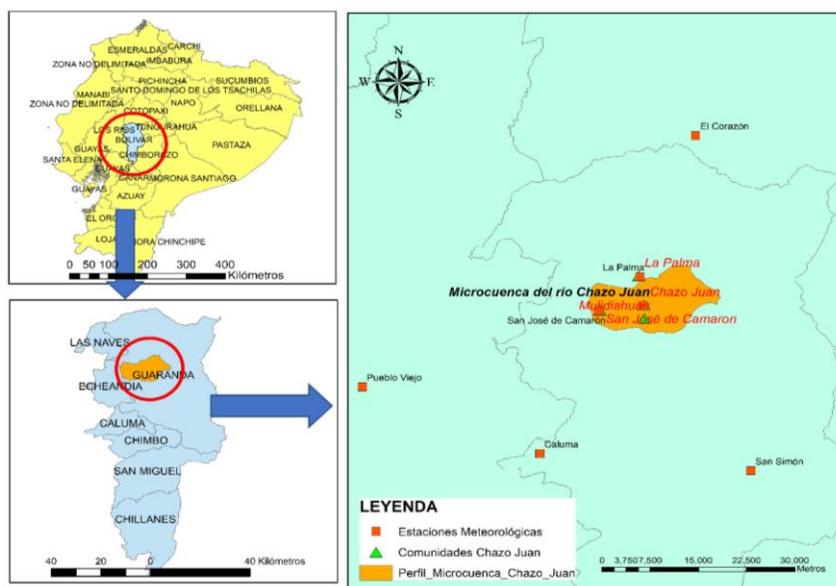
En Ecuador, los incendios forestales son un problema recurrente, entre el 2015 y 2019 se registraron 9.063 eventos que afectaron aproximadamente 113.780 hectáreas de bosque, cuya recuperación de los ecosistemas puede tardar más de 20 años (Alarcón, 2020), al presentarse en áreas de reservas ecológicas, la afectación a los pajonales y bosques pueden causar las pérdidas de la calidad paisajística, la cobertura vegetal, la fauna, fertilidad del suelo, alterar el equilibrio ecológico y servicios ambientales (Carrasco & Núñez, 2019). En el caso de la provincia Bolívar, al revisar la base de datos de DESINVENTAR de 1970 al 2019 (DESINVENTAR, 2021), complementada con la información de eventos del año 2020 del Servicio Nacional de Gestión de Riesgo y Emergencias - SNGRE en Bolívar (SNGRE, 2020), se presentaron 114 incendios forestales, lo que evidencia la problemática en el territorio provincial. El SNGRE de Ecuador dispone del mapa de susceptibilidad de incendios forestales a escala 1:50.000 a nivel nacional basado en el modelo de análisis

físico del fenómeno (SNGRE, 2019); sin embargo, existen pocos avances en la evaluación de la amenaza a escala local para una mejor intervención en la reducción en los territorios. El presente estudio tiene por objeto determinar la incidencia de los factores condicionantes y climáticos en la amenaza de incendios forestales de la microcuenca del río Chazo en la provincia Bolívar, que forma parte de la cuenca del río Guayas de gran importancia para Ecuador, ya que representa el 12,57% del territorio nacional y se asienta el 39,37% del total de la población del país (Ecuador Today, 2020); la investigación aportará con un modelo para la evaluación y zonificación de la amenaza de incendio forestal que contribuya a la toma de decisiones y establecimiento de estrategias de reducción a escala local.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló en la microcuenca del río Chazo Juan en la provincia Bolívar, que forma parte de la cuenca del río Guayas; posee una superficie de 14.786,52 hectáreas con una topografía irregular que va desde la parte alta con una altura de 3.830 m.s.n.m. hasta la parte baja con 450 m.s.n.m., se localizan las comunidades: La Palma, Chazo Juan, Mulidiahuan y San José de Camarón (Paucar, Vallejo, Barragán, & Gavilanes, 2021). En la figura 1 se presenta la ubicación del área de estudio, se incluye la localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación.

Figura 1. Ubicación de la microcuenca del río Chazo Juan



Fuente: (IGM, 2007), (UEB, 2021), (INOCAR, 2002) e (INAMHI, 2020).

Para determinar la incidencia de los factores condicionantes y climáticos en la amenaza de incendio forestal en la zona de estudio, se trabajó en cuatro fases: caracterización y ponderación de las variables; modelamiento de la amenaza de incendio forestal por escenarios (valores máximos, promedios y mínimos); correlación de variables y la validación del modelo.

Fase I: Caracterización y ponderación de las variables de los factores condicionantes y climáticos: para el proceso de caracterización, el uso de suelo y cobertura vegetal, la geomorfología y la pendiente fueron consideradas como variables del factor condicionante, la información se basa en cartografía escala 1:25.000 del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – MAGAP de Ecuador del año 2012 (MAGAP, 2012). Se consideró a la temperatura, humedad relativa y viento como variables del factor climático, la información se basa en los anuarios de estaciones meteorológicas cercanas (San Simón, El Corazón, Caluma y Pueblo Viejo) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2020) y de la biblioteca del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR, 2002); además, para un mayor detalle de las variables climáticas a través del proyecto de investigación “Variabilidad Climática y su incidencia en las amenazas siconaturales en la microcuenca del río Chazo Juan, Ecuador”, ejecutado por la Universidad Estatal de Bolívar – UEB, se instalaron tres estaciones meteorológicas (La Palma, Chazo Juan y San José de Camarón) tipo solar Davis Vantage Vue que se monitorearon de septiembre/2019 a junio/2021 (UEB, 2021). En la tabla 1 se incluye la localización y período de recolección de la información de las estaciones meteorológicas de influencia al área de estudio, mediante interpolaciones en el software ArcGis (10.3) se zonificaron los escenarios con valores máximos, promedios y mínimos de las variables climáticas.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas de influencia a la microcuenca del río Chazo Juan

Localización meteorológica	estación	Altura (msnm)	Período de datos recolectados
La Palma		2.401	sep/2019 – jun/2021 (1)
San Simón		2.350	Anuarios: 1982, 83, 84 y 85 (2)
El Corazón		1.560	Anuarios: 1982 al 2013 (2)
Chazo Juan		905	sep/2019 – jun/2021 (1)
San José de Camarón		503	sep/2019 – jun/2021 (1)

Caluma	350	Anuarios: 1982,83, 84, 85, 86, 88, 89, 91,93, 94, 95, de 2006 a 2011 y 20013 (2).
Pueblo Viejo	19	Anuarios: 1985, 86 y de 1988 a 2013 (2).

Fuente: (1): (UEB, 2021). (2): (INOCAR, 2002) e (INAMHI, 2020).

Para la ponderación, en base al método Deplhi, a partir de las características (indicadores) que presentan cada variable se les asignó valores entre 1 a 10 puntos según la incidencia que tendrían en la amenaza; de igual manera, se establecieron pesos de ponderación para las variables distribuidas de un total de 10 puntos; al multiplicar el valor del indicador por el peso de ponderación se obtiene el valor máximo de cada variable, cuya sumatoria da como resultado el índice de amenaza de incendio forestal, los vales son entre 1 a 100 puntos (tabla 2). Por consiguiente, el Índice Ponderado de Amenaza de Incendio Forestal (IPA_{IF}) es el resultado de las sumatorias de los valores máximos (V_{max}) de las variables de los factores condicionantes y climáticos, se empleó la ecuación 1:

$$IPA_{IF} = \sum_{i=1}^{n=100} FC(V_{max_{us_{cv}}} + V_{max_{geom}} + V_{max_{pen}}) + FD(V_{max_{temp}} + V_{max_{v_{viento}}} + V_{max_{hum}})$$

Donde: IPA_{IF} : Índice Ponderado de Amenaza de Incendio Forestal, FC: factores condicionantes, $V_{max_{us_{cv}}}$: valor máximo de uso de suelo y cobertura vegetal, $V_{max_{geom}}$: Valor máximo de geomorfología, $V_{max_{pen}}$: valor máximo de pendiente, FD: factores detonantes, $V_{max_{temp}}$: valor máximo de temperatura, $V_{max_{v_{viento}}}$: valor máximo de velocidad del viento, $V_{max_{hum}}$: valor máximo de humedad relativa, $i=1$: valor mínimo, $n=100$: valor máximo.

Tabla 2. Criterios para ponderación de la amenaza de incendio forestal en la microcuenca del río Chazo Juan

Factores	Variables	Indicadores	Valores ponderación		
			Valor del indicador	Peso de ponderación (variable)	Valor máximo
Condicionantes	Geomorfología	Vertiente abrupta, vertiente abrupta con fuerte disección y relieve volcánico montañoso	10,0	1,5	15,0
		Barranco, vertiente rectilínea con fuerte disección, vertiente rectilínea y relieve montañoso	9,0		
		Vertiente heterogénea, interfluvio de climas estrechas y superficie del cono de deyección	7,0		
		Relieve colinado medio, coluvio aluvial antiguo y coluvión antiguo	5,0		
		Superficie volcánica ondulada	3,0		
		Terraza media, valle fluvial	1,0		
	Uso de suelo y cobertura vegetal	Bosque natural, bosque natural invertido, páramo y páramo intervenido	10,0	3,0	30,0
		Arboreculta, vegetación arbustiva – arboreculta y vegetación arbustiva- pastos plantados	7,0		
		Cultivos ciclo corto - pasto plantado	5,0		
		Cultivos ciclo corto	3,0		
		Pastos plantados	1,0		
		Pendiente	Muy fuerte (71 a 100 %)		
	Fuerte (41 a 70 %)		9		
	Media a fuerte (26 a 40 %)		7		
	Media (13 a 25 %)		5		
Suave (6 a 12 %)	3				
Muy suave (2 a 5 %)	1				
Climáticos	Temperatura	Igual o mayor a 30,1 °C	10	1,5	15,0
		25,1 a 30,0 °C	7		
		20,1 a 25,0 °C	5		
		15,1 a 20,0 °C	3		
		10,1 a 15,0 °C	1		
	Viento	Igual o mayor a 8,1 m/s	10	1,5	15,0

		6,1 a 8,0 m/s	7		
		4,1 a 6,0 m/s	5		
		2,1 a 4,0 m/s	3		
		0,1 a 2,0 m/s	1		
	Humedad relativa	Igual o mayor a 91 %	1		
		84 a 90 %	3		
		76 a 83 %	5	1,0	10,0
		68 a 75%	7		
		60 a 67 %	10		
Total				10,0	100,0

Elaborado por: autores, 2021

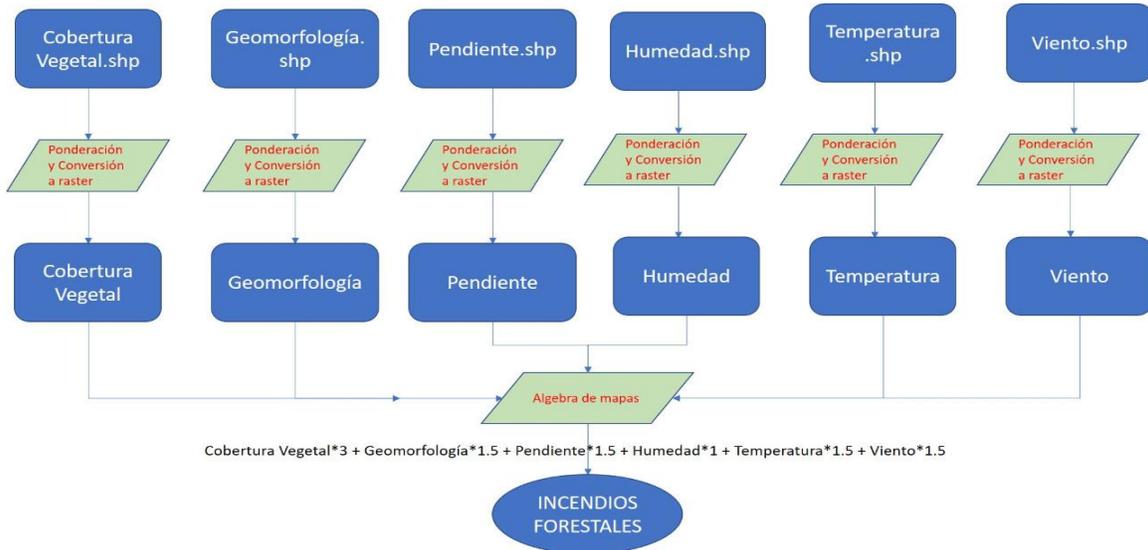
El valor de Índice Ponderado de Amenaza de Incendio Forestal, permite definir el nivel amenaza en base a los criterios que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Rangos de índices y nivel de amenaza de incendio forestal en la microcuenca del río Chazo Juan

Nivel de amenaza	Rangos de puntos de índice de amenaza
Muy baja	1 a 20
Baja	21 a 40
Media	41 a 60
Alta	61 a 80
Muy alta	81 a 100

Fase II: Modelamiento del mapa de amenaza de incendio forestal: cada una de las variables de los factores condicionantes y climáticos con sus respectivas ponderaciones son representados en mapas temáticos que a su vez son correlacionados mediante el algebra de mapas en el software ArcGis (10.3), se obtiene como resultados el mapa de amenaza de incendio forestal, el proceso metodológico se representa en la siguiente figura 2.

Figura 2. Modelo cartográfico para la amenaza de incendio forestal.



Elaborado por: autores, 2021.

Fase III: Correlación de variables: el grado de relación de las variables en el Índice de Amenaza de Incendio Forestal se trabajó con el software SPSS mediante la correlación de Pearson, los criterios fueron adaptados de Amat (2016) y Mondragón (2014) que se exponen en la tabla 4.

Tabla 4. Criterios para interpretación del grado de correlación de Pearson

Tipo de Correlación	Perfecta	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy baja	Nula
Positiva	1,00	0.99 a 0.80	0.79 a 0.60	0.59 a 0.40	0.39 a 0.20	0.19 a 0.01	0,00
Negativa	-1.00	-0.99 a -0.80	-0.79 a -0.60	-0.59 a -0.40	-0.39 a -0.20	-0.19 a -0.01	0,00

Fase IV: Validación del modelo: para la validación del modelo se estableció la relación de eventos presentados en el 2018 con las zonas de amenaza de incendios forestales modeladas en el presente estudio.

RESULTADOS

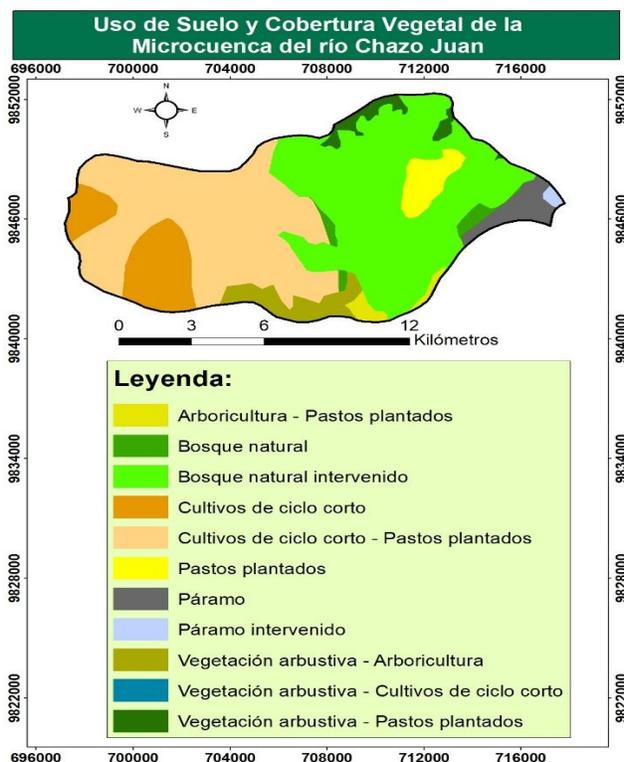
Se presenta los resultados de la caracterización de las variables de los factores condicionantes y climáticos, el modelamiento de amenaza de incendio forestal por escenarios, la correlación de variables de los factores condicionantes y climáticas en la amenaza, finalmente, la validación del modelo.

1) Caracterización de las variables de los factores condicionantes y climáticos

Uso de suelo y cobertura vegetal: en la parte alta de la zona de estudio predominan los bosques naturales intervenidos que es la masa forestal que influiría en la amenaza de incendio forestal; mientras que, en la parte baja predomina los pastos cultivados y cultivos de ciclo corto que tendrían menor incidencia en la amenaza (figura 3 y tabla 5).

Figura 3. Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal

Tabla 5. Área y porcentajes de uso de suelo y cobertura vegetal



Uso de suelo y cobertura vegetal	Área en ha	Porcentaje
Bosque natural		
intervenido	5864,3	39,7
Cultivos de ciclo corto - pastos plantados	5119,3	34,6
Cultivos de ciclo corto	1452,6	9,8
Vegetación arbustiva - arbicultura	609,2	4,1
Pastos plantados	494,4	3,3
Páramo	460,6	3,1
Vegetación arbustiva - pastos plantados	313,0	2,1
Bosque natural	218,5	1,5
Arbicultura - pastos plantados	197,3	1,3
Páramo intervenido	56,2	0,4
Vegetación arbustiva - Cultivos de ciclo corto	1,0	0,0
Total	14786,52	100,00

Fuente: (MAGAP, 2012). Elaborado por: autores, 2021

Geomorfología: el área de estudio al poseer una topografía irregular predomina las unidades morfológicas con fuertes pendientes como: vertiente abrupta, vertiente rectilínea con fuerte disección, vertiente rectilínea, entre otras, que podrían incidir en el incremento de la amenaza (figura 4 y tabla 6).

Figura 4. Mapa de unidades morfológicas

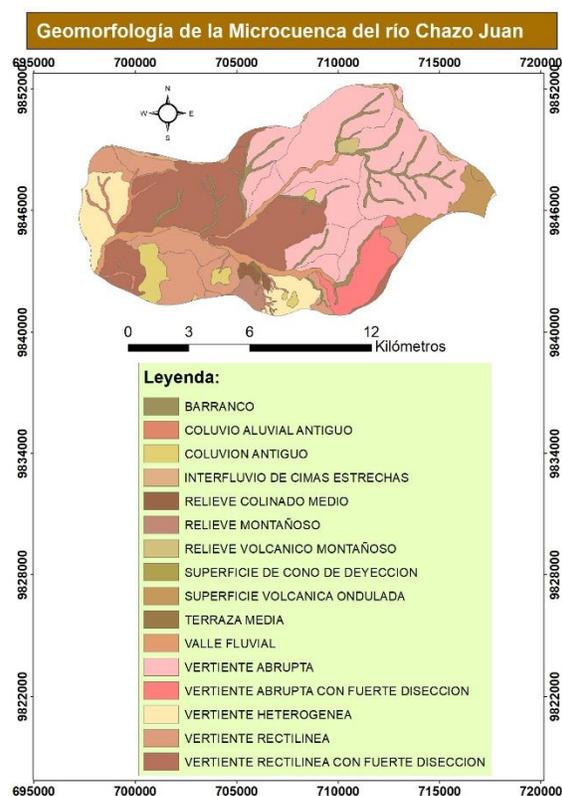


Tabla 6. Área y porcentajes de unidades morfológicas

Unidad morfológica	Área en ha	Porcentaje
Vertiente abrupta	5284,81	35,74
Vertiente rectilínea con fuerte disección	3272,86	22,13
Vertiente rectilínea	1765,72	11,94
Vertiente heterogénea	1036,42	7,01
Vertiente abrupta con fuerte disección	697,59	4,72
Barranco	640,66	4,33
Superficie volcánica ondulada	468,18	3,17
Valle fluvial	464,59	3,14
Coluvión antiguo	423,80	2,87
Coluvio aluvial antiguo	225,54	1,53
Interfluvio de cimas estrechas	167,25	1,13
Relieve montañoso	158,77	1,07
Relieve colinado medio	89,37	0,60
Relieve volcánico montañoso	65,12	0,44
Terraza media	19,52	0,13
Superficie de cono de deyección	6,32	0,04
Total	14786,52	100,00

Fuente: (MAGAP, 2012). Elaborado por: autores, 2021

Pendiente: el territorio presenta irregularidad por estar localizada en las estribaciones de los Andes, por tal razón, la zona posee en su mayor parte pendientes muy fuertes y fuertes (figura 5 y tabla 7).

Figura 5. Mapa de pendientes

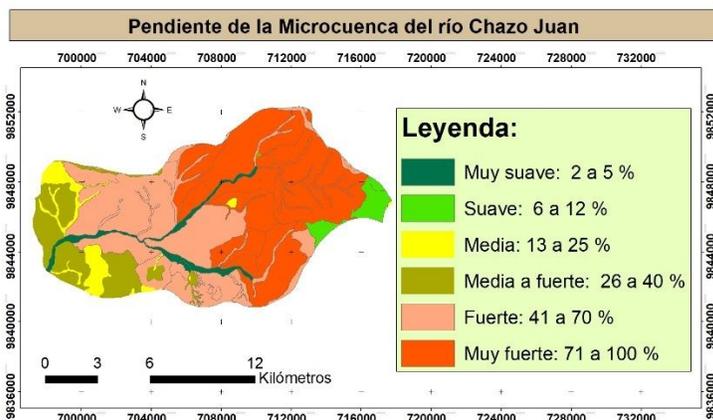


Tabla 7. Área y porcentajes de pendientes

Pendiente	Área en ha	Porcentaje
Muy fuerte (71 a 100 %)	6339,56	42,87
Fuerte (41 a 70 %)	5037,91	34,07
Media a fuerte (26 a 40 %)	1739,75	11,77
Media (13 a 25 %)	717,02	4,85
Suave (6 a 12 %)	468,18	3,17
Muy suave (2 a 5 %)	484,11	3,27
Total	14786,52	100,00

Fuente: (MAGAP, 2012). Elaborado por: autores, 2021

Temperatura: la información de cada estación fue sistematizada para obtener los valores máximos, promedios y mínimos; según datos de las estaciones localizadas en la zona de influencia, el valor máximo es 32° C que registra en Caluma, el valor mínimo de 10° C en El Corazón y el promedio es de 20° C (tabla 8).

Tabla 8. Valores máximos, mínimos y promedios de temperatura (en ° C) por estaciones meteorológicas de influencia a la microcuenca del río Chazo Juan

Estación meteorológica	Altura (msnm)	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Temperatura promedio
La Palma (1)	2401	17,5	13,4	15,3
San Simón (2)	2350	15,3	13,0	14,2
El Corazón (2)	1560	20,1	10,0	17,9
Chazo Juan (1)	905	26,2	18,0	20,4
San José de Camarón (1)	503	25,4	19,4	22,4
Caluma (2)	350	32,9	21,3	23,6
Pueblo Viejo (2)	19	28,4	23,3	26,3
General		32,9	10,0	20,0

Fuente: (1) (UEB, 2021). (2): (INOCAR, 2002) e (INAMHI, 2020). Elaborado por: autores, 2021

En la figura 6 y tabla 9 se evidencia las zonas de los tres escenarios de temperaturas (máximas, promedios y mínimas) en el área de estudio.

Figura 6. Mapa de zonas de temperaturas

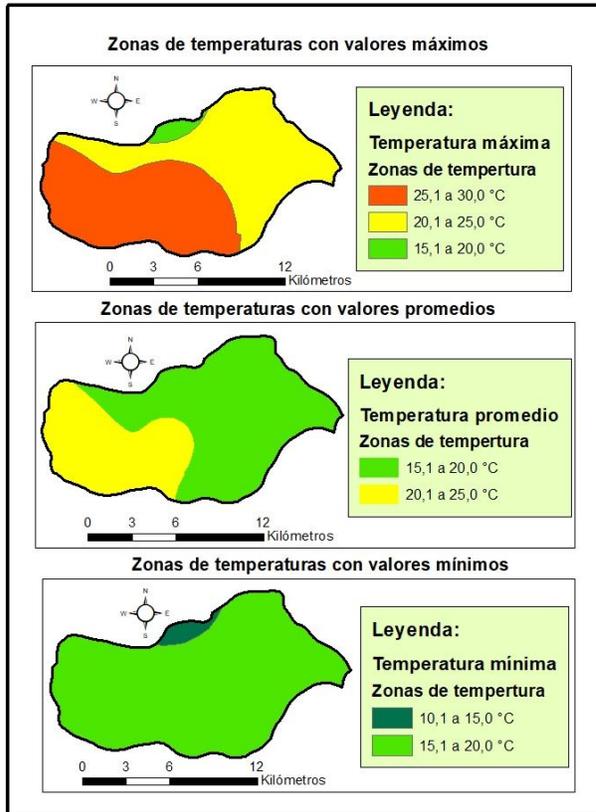


Tabla 9. Zonas de temperaturas (máximas, promedio y mínimo) en hectáreas y porcentaje

Zonas de rangos de temperatura	Área en ha	Porcentaje
Zonas de temperaturas máximas		
25,1 a 30,0 °C	7211,61	48,77
20,1 a 25,0 °C	7202,48	48,71
15,1 a 20,0 °C	372,43	2,52
Total	14786,52	100,00
Zonas de temperaturas promedios		
20,1 a 25,0 °C	5272,14	35,66
15,1 a 20,0 °C	9514,38	64,34
Total	14786,52	100,00
Zonas de temperaturas mínimas		
15,1 a 20,0 °C	14359,29	97,11
10,1 a 15,0 °C	427,23	2,89
Total	14786,52	100,00

Fuente: (UEB, 2021), (INOCAR, 2002) e (INAMHI, 2020). Elaborado por: autores, 2021

Velocidad del viento: en la zona de estudio el valor máximo es 10 m/s que registra en la parte alta en El Corazón, el valor mínimo es de 0,1 m/s en la parte baja en Chazo Juan y San José de Camarón, el promedio es de 2,4 m/s (tabla 10).

Tabla 10. Valores máximos, mínimos y promedios de velocidad (m/s) del viento por estaciones meteorológicas de influencia a la microcuenca del río Chazo Juan

Estación meteorológica	Altura (msnm)	Velocidad viento máxima	Velocidad viento mínima	Velocidad viento promedio
La Palma (1)	2401	5,6	0,8	2,3
San Simón (2)	2350	3,5	0,2	2,2
El Corazón (2)	1560	10,0	4,0	6,4
Chazo Juan (1)	905	4,8	0,1	0,7
San José de Camarón (1)	503	3,3	0,1	1,5

Caluma (2)	350	6,9	0,2	3,4
Pueblo Viejo (2)	19	0,9	0,2	0,4
General		10,0	0,1	2,4

Fuente: (1 (UEB, 2021). (2): (INOCAR, 2002) e (INAMHI, 2020). Elaborado por: autores, 2021

En la figura 7 y tabla 11, se presenta los mapas y valores de las zonas de velocidad del viento por escenarios (máximas, promedios y mínimas) de la zona de estudio.

Figura 7. Mapa de zonas de velocidad del viento

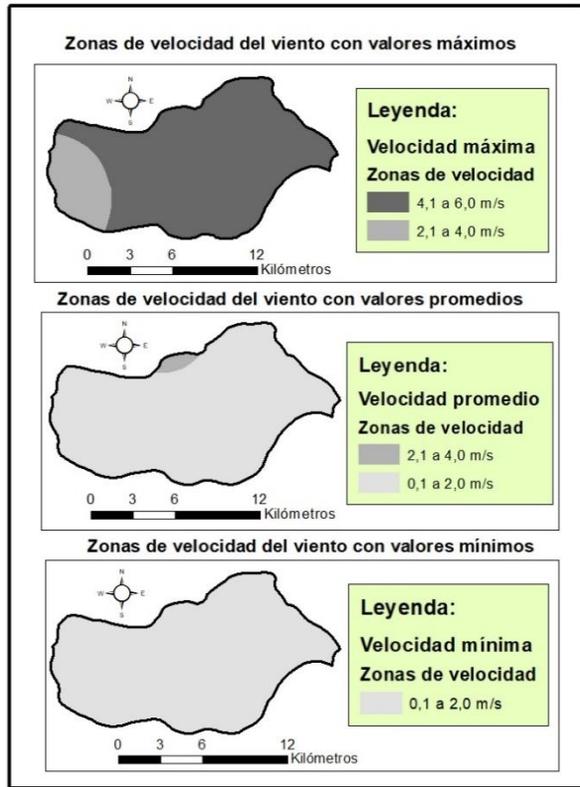


Tabla 11. Zonas de velocidad del viento (máximas, promedio y mínimo), área en hectáreas y porcentaje

Zonas de rangos de velocidad del viento	Área en ha	Porcentaje
Zonas de velocidad del viento máximas		
4,1 a 6,0 m/s	12628,73	85,41
2,1 a 4,0 m/s	2157,79	14,59
Total	14786,52	100,00
Zonas de velocidad del viento promedio		
2,1 a 4,0 m/s	280,7	1,90
0,1 a 2,0 m/s	14505,9	98,10
Total	14786,52	100,00
Zonas de velocidad del viento mínimas		
0,1 a 2,0 m/s	14786,52	100,00
Total	14786,52	100,00

Fuente: (UEB, 2021), (INOCAR, 2002) e (INAMHI, 2020). Elaborado por: autores, 2021

Humedad relativa: se observa en la tabla 12 que el valor máximo es 98% de humedad que registra en la parte alta en El Corazón, el valor mínimo es de 63% en la parte baja en San José de Camarón, el promedio es de 86%.

Tabla 12. Valores en porcentajes de máximos, mínimos y promedios de humedad relativa por estaciones meteorológicas de influencia a la microcuenca del río Chazo Juan

Estación meteorológica	Altura (msnm)	Humedad máxima	Humedad mínima	Humedad media
La Palma (1)	2401	92	66	83

San Simón (2)	2350	88	70	81
El Corazón (2)	1560	98	78	93
Chazo Juan (1)	905	93	68	86
San José de Camarón (1)	503	89	63	81
Caluma (2)	350	97	83	89
Pueblo Viejo (2)	19	96	81	88
General		98	63	86

Fuente: (1 (UEB, 2021). (2): (INOCAR, 2002) e (INAMHI, 2020). Elaborado por: autores, 2021

De igual forma, en la figura 8 y tabla 13, se detalla los mapas y valores correspondientes a las zonas de humedad relativa (máxima, promedio y mínima) en el área de intervención.

Figura 8. Mapa de zonas de humedad relativa

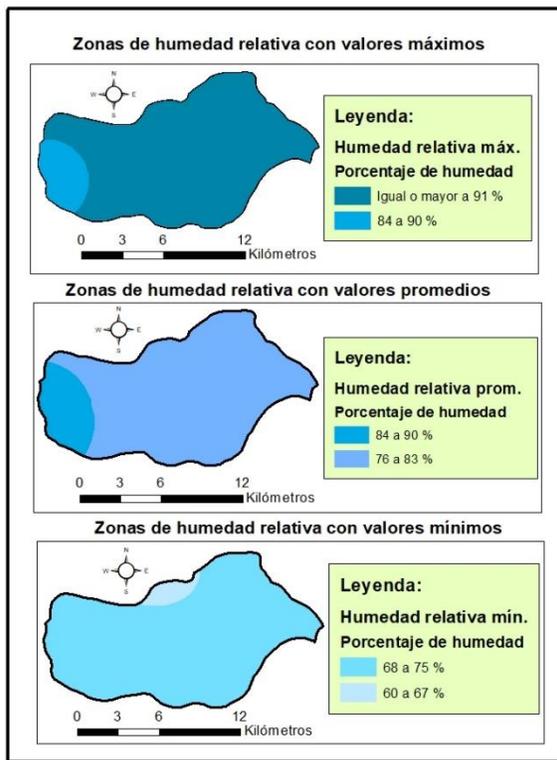


Tabla 13. Zonas de humedad relativa (máximas, promedio y mínimo), área en hectáreas y porcentaje

Zonas de rangos de humedad relativa	Área en ha	Porcentaje
Zonas de humedad relativa máximas		
Igual o mayor a 91 %	13340,02	90,22
84 a 90 %	1446,50	9,78
Total	14786,52	100,00
Zonas de humedad relativa promedio		
84 a 90 %	1982,39	13,41
76 a 83 %	12804,13	86,59
Total	14786,52	100,00
Zonas de humedad relativa mínimas		
68 a 75%	14235,75	96,28
60 a 67 %	550,77	3,72
Total	14786,52	100,00

Fuente: (UEB, 2021), (INOCAR, 2002) e (INAMHI, 2020). Elaborado por: autores, 2021

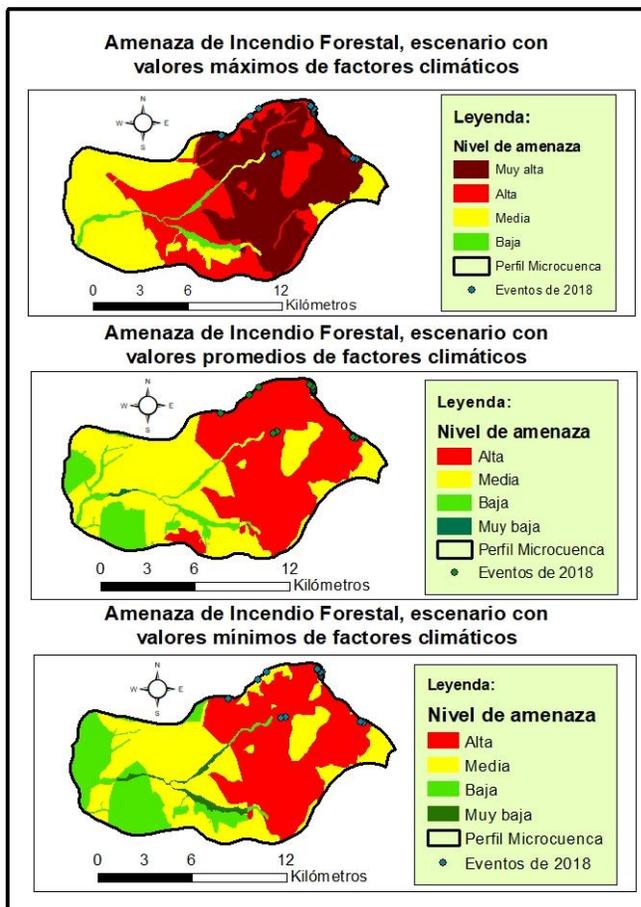
2) Modelamiento de amenaza de incendio forestal por escenarios de valores máximos, promedios y mínimos

Los resultados de modelamiento de los mapas de amenazas de incendios forestales por escenarios, muestran que en el escenario con valores máximos (correlación de mapas de factores condicionantes, valor máximo de temperatura y velocidad del viento, y valor

mínimo en humedad relativa) presenta en su mayor parte zonas con niveles de amenaza muy alta, principalmente en parte alta de la microcuenca por la presencia de áreas con bosque natural intervenido y su geomorfología irregular con fuertes pendientes, seguida del nivel media, alta y baja; para el escenario de valores promedios (correlación de mapas con valores promedios de las variables condicionantes y detonantes), predominan los niveles de amenaza alta y media; en el escenario con valores mínimos (correlación de mapas de factores condicionantes, valor mínimo de temperatura y velocidad del viento, y valor máximo en humedad relativa), predominan los niveles altos y medios, pero aumentan las áreas con niveles bajos y muy bajos (figura 9 y tabla 14).

Figura 9. Mapa de amenaza de incendio forestal por escenarios

Tabla 14. Resultados de niveles de amenaza de incendio forestal por escenarios



Nivel de amenaza	Área en ha	Porcentaje
Escenario con valores máximos		
Muy alta	5633,67	38,10
Alta	4090,08	27,66
Media	4668,08	31,57
Baja	394,70	2,67
Total	14786,52	100,00
Escenario con valores promedios		
Alta	6553,98	44,33
Media	6431,52	43,50
Baja	1760,84	11,91
Muy baja	40,18	0,27
Total	14786,52	100,00
Escenario con valores mínimos		
Alta	6016,83	40,69
Media	5569,59	37,67
Baja	2894,66	19,58
Muy baja	305,44	2,07
Total	14786,52	100,00

Fuente: (MAGAP, 2012), (UEB, 2021), (INOCAR, 2002) e (INAMHI, 2020). *Elaborado por: autores, 2021*

3) Correlación de variables condicionantes y climáticas en la amenaza de incendio forestal

El análisis de correlación de Pearson al nivel de significancia de 0,01 para determinar la incidencia de los factores condicionantes y climáticos en el Índice Ponderado de Amenaza de Incendio Forestal (**IPAIF**), para el escenario de los valores máximos (figura 15), promedios (figura 16) y mínimos (figura 17) en la zona de estudio, se obtiene que para los tres escenarios la variable uso de suelo y cobertura vegetal presenta una relación muy alta (valores respectivos: 0,829, 0,817 y 0,883); registran relaciones altas, las variables geomorfología (0,600, 0,637 y 0,635) y pendiente (0,620, 0,666 y 0,662); por su parte, poseen relaciones muy bajas, bajas y media en las variables: humedad (0,007, 0,424 y -0,379) y temperatura (-0,003, -0,527 y -0,065); la variable viento registra relación nula (N/C) en los escenarios máximos y mínimos, mientras que, en el escenario promedio una relación muy baja, se puede atribuir que en el área de estudio posee zonas con velocidades bajas, por tanto, tienen muy baja o nula incidencia en el **IPAIF**. De igual forma, se observa que la geomorfología presenta relaciones muy altas con el uso de suelo – cobertura vegetal y pendiente (escenario máximo), así como, con la velocidad del viento (escenario promedio) y la pendiente (escenarios promedio y mínimo), se podría atribuir que la morfología del territorio tendría influencia en los otros factores. Finalmente, se debe mencionar, existe una relación inversa, entre la temperatura y humedad relativa, a mayor temperatura menor humedad o viceversa, esto influye en el incremento o disminución de los niveles de la amenaza de incendio forestal.

Figura 15. Correlación de variables en escenario de valores máximos y su incidencia en el índice de amenaza de incendios forestales de la microcuenca del río Chazo Juan, método de Pearson

VARIABLES	IPAIF					
IPAIF	1,00	us_cv				
us_cv	0,829	1,00	geom			
geom	0,600	0,087	1,00	pend		
pen	0,620	0,112	0,874	1,00	temp	
temp	-0,003	-0,036	-0,138	-0,152	1,00	v_vien

v_vien	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	1,00	hum
hum	0,007	0,005	-0,178	-0,174	0,748	N/C	1,00

Figura 16. Correlación de variables en escenario de valores promedios y su incidencia en el índice de amenaza de incendios forestales de la microcuenca del río Chazo Juan, método de Pearson

Variables	IPAIF						
IPAIF	1,00	us_cv					
us_cv	0,817	1,00	geom				
geom	0,637	0,111	1,00	pend			
pen	0,666	0,150	0,865	1,00	temp		
temp	-0,527	-0,590	-0,193	-0,278	1,00	v_vien	
v_vien	0,113	0,190	0,940	0,102	-0,170	1,00	hum
hum	0,424	0,412	0,113	0,230	-0,484	0,082	1,00

Figura 17. Correlación de variables en escenario de valores mínimos y su incidencia en el índice de amenaza de incendios forestales de la microcuenca del río Chazo Juan, método de Pearson

Variables	IPAIF						
IPAIF	1,00	us_cv					
us_cv	0,883	1,00	geom				
geom	0,635	0,129	1,00	pend			
pen	0,662	0,167	0,880	1,00	temp		
temp	-0,065	-0,059	-0,143	-0,159	1,00	v_vien	
v_vien	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	1,00	hum
hum	-0,379	-0,410	-0,159	-0,230	0,103	N/C	1,00

Dónde: IPAIF: Índice Ponderado de Amenaza de Incendio Forestal, us_cv: uso de suelo y cobertura vegetal, geom: geomorfología, pen: pendiente, temp: temperatura, v_vien: velocidad del viento, hum: humedad relativa. Grados de correlación: perfecta, muy alta, alta, media, baja, muy baja y nula (N/C).

4) Validación del modelo

En el trabajo desarrollado por Aldaz y Cargua (2018) durante el período julio a diciembre 2018 se identificaron en la zona de estudio 18 eventos y se complementaron con 2 eventos

del mismo año registrados en la base de datos de DESINVENTAR (2021), en total son 20 eventos (figura 10 y tabla 15). En el escenario de valores máximos, se localizan 8 eventos en la zona de nivel muy alto y 12 en la zona alta, mientras que en el escenario de valores promedio, 19 eventos se localizan en la zona de nivel alta y 1 evento en el nivel media; por su parte, en el escenario de valores mínimos, por igual (10 eventos), los incendios se localizan en la zona de nivel alta y media. Por consiguiente, los eventos de incendio concuerdan con las zonas de amenaza de nivel muy alta y alta.

Tabla 17. Localización de eventos de incendios forestales de 2018 y su relación con el índice y nivel de amenaza con escenarios de valores máximos, promedio y mínimo en la microcuenca Chazo

Juan

Año	Datos de eventos de incendios forestales			Escenario valores máximo		Escenario valores promedio		Escenario valores mínimos	
	Latitud (X)	Longitud (Y)	Altura (Z)	Índice amenaza	Nivel amenaza	Índice amenaza	Nivel amenaza	Índice amenaza	Nivel amenaza
2018*	715829	9848485	3664	76,0	Alta	65,0	Alta	61,0	Alta
2018*	715620	9848541	3622	76,0	Alta	65,0	Alta	61,0	Alta
2018**	710587	9848787	1662	80,5	Muy alta	69,5	Alta	65,5	Alta
2018**	710868	9848875	1760	80,5	Muy alta	69,5	Alta	65,5	Alta
2018*	707240	9850014	2576	82,0	Muy alta	74,0	Alta	64,0	Alta
2018*	709103	9851208	2613	73,0	Alta	62,0	Alta	58,0	Media
2018*	713144	9851325	3181	67,0	Alta	56,0	Media	52,0	Media
2018*	713140	9851368	3177	73,0	Alta	62,0	Alta	58,0	Media
2018*	713125	9851424	3173	73,0	Alta	62,0	Alta	58,0	Media
2018*	713128	9851443	3167	73,0	Alta	62,0	Alta	58,0	Media
2018*	713140	9851448	3162	73,0	Alta	62,0	Alta	58,0	Media
2018*	713132	9851467	3156	73,0	Alta	62,0	Alta	58,0	Media
2018*	713137	9851483	3160	73,0	Alta	62,0	Alta	58,0	Media
2018*	713122	9851555	3155	73,0	Alta	62,0	Alta	58,0	Media
2018*	709666	9851696	2656	73,0	Alta	62,0	Alta	58,0	Media
2018*	713178	9851696	3173	82,0	Muy alta	71,0	Alta	67,0	Alta
2018*	713101	9851717	3166	82,0	Muy alta	71,0	Alta	67,0	Alta
2018*	712917	9851852	3054	82,0	Muy alta	71,0	Alta	67,0	Alta
2018*	712897	9851863	3052	82,0	Muy alta	71,0	Alta	67,0	Alta
2018*	712918	9851867	3056	82,0	Muy alta	71,0	Alta	67,0	Alta

Fuente: * (Aldaz & Cargua, 2018); ** (DESINVENTAR, 2021).

DISCUSIÓN

En el estudio de la incidencia de factores condicionantes y climáticos en la amenaza de incendio forestal de la microcuenca del río Chazo Juan, con respecto a las variables del factor condicionante, el uso de suelo y cobertura vegetal tiene muy alta incidencia, principalmente en la parte alta de la microcuenca al poseer en su mayor parte bosques naturales intervenidos que constituye la masa forestal que actúa como combustible e incrementa la amenaza, esto concuerda con los resultados del trabajo de Vadrevu, Eaturo y Badanirath (2009) que determina que las clases de coberturas terrestres como: tierras agrícolas, bosques, superficies descubiertas, vegetación seca y densa son factores que inciden en el riesgo de los incendios forestales, siendo los bosques el factor más alto debido a su vulnerabilidad; de igual forma, en el modelo de evaluación del riesgo de incendios en cuencas del mediterráneo de Turquía, se estima que el tipo de vegetación es el factor relevante por su alta inflamabilidad (Colak & Sunar, 2020). Por su parte, la geomorfología del área de estudio presenta una topografía irregular donde predominan las fuertes pendientes que aumentan la amenaza, en estudios similares mencionan que, los incendios se propagan más rápido cuando aumenta la pendiente, mientras que, las áreas planas son menos propensas (Vargas & Quesada, 2018); **asimismo, se establece que las formas de relieve y los rangos de vulnerabilidad indican un patrón en la morfología y el comportamiento en la composición de las laderas, orientación y localización, establecen relaciones causales y dinámicas entre las formas del relieve y la vulnerabilidad a incendios forestales** (Torres-Rojo, Magaña-Torres, & Ramírez-Fuentes, 2007); **del mismo modo, se establece que el índice de peligro de incendios forestales, mantienen una relación exponencial entre la ocurrencia, el área quemada y la pendiente** (Vilar, Nieto, & Martín, 2010).

En referencia a las variables del factor climático, en la zona de estudio la temperatura registra valores máximos entre 26,2 °C a 17,5°C durante los meses de agosto, septiembre y noviembre, los valores mínimos de 19,4°C a 13,4 °C en julio, noviembre y diciembre; mientras que, la humedad relativa tiene valores máximos de 93% a 89% en febrero, marzo y abril, valores mínimos de 68% a 63% en septiembre y noviembre; en tanto que, la velocidad del viento, valores máximos de 5,6 m/s a 3,3 m/s en julio, agosto y septiembre,

valores mínimos de 0,1 m/s a 0,8 m/s en enero y abril (UEB, 2021). Por tanto, en los meses de septiembre y noviembre se incrementaría la amenaza de incendio forestal ya que se presenta mayor temperatura y menor humedad; esto tiene relación con lo mencionado por Pazmiño (2019) **que establece en la relación del Índice de Peligro de Incendios Forestales (FFDI por sus siglas en inglés) en la región andina de Ecuador, indica que, existe una relación directa proporcional de la temperatura y los calores de índice, es decir, a mayor temperatura mayor riesgo de incendios forestales, por otra parte, se verifica la relación inversamente proporcional entre la humedad relativa y el resultado del FFDI, por tanto, mientras menor humedad relativa exista en el ambiente el peligro de incendio incrementa (Pazmiño, 2019). La velocidad del viento en la zona podría contribuir al aumento de la amenaza en agosto y septiembre que registra los valores máximos; lo anterior, tiene relación con estudios que determinan que la intensidad, dirección y velocidad de propagación del fuego, siendo sus principales efectos la desecación de la vegetación, aporte de oxígeno para la combustión, desplazamiento de chispas, propagación de las llamas hacia el combustible (Attila, 2021).**

CONCLUSIONES

La correlación de los factores condicionantes y climáticos (mayor detalle a partir de información de estaciones meteorológicas en el área de influencia) permitió elaborar mapas de escenarios y zonificación de niveles de amenaza de incendio forestal a escala local. La información generada podrá ser utilizada para el diseño e implementación de medidas de reducción de acuerdo a la zonificación de la amenaza con escenarios de valores máximos y promedios que presentan niveles muy alta y alta en la microcuenca del río Chazo Juan.

De acuerdo al análisis de correlación de Pearson al 0,01, los factores condicionantes tienen una alta incidencia, mientras que los climáticos poseen mediana y baja significancia, incluso en el viento en los escenarios máximo y mínimo es nula; en la relación de la temperatura y humedad relativa son inversas, a mayor temperatura menor humedad lo que

incrementa la amenaza, a menor temperatura mayor humedad, por consiguiente, disminuye la amenaza de incendios forestales

A pesar que Ecuador presenta anualmente eventos de incendios forestales, sin embargo, existen pocos estudios de la amenaza a escala local, por lo que se debe continuar con investigaciones en la temática; el presente estudio se debería replicar en otras zonas a nivel nacional, debido a la importancia de las cuencas hidrográficas en los territorios, la ocurrencia de eventos como los incendios forestales pueden afectar a los servicios ambientales e incrementar otros riesgos.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés de naturaleza alguna con la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo se basa en los resultados del proyecto de investigación. “Variabilidad climática e incidencia de las amenazas socio naturales en la micro cuenca del río Chazo Juan - Ecuador”, ejecutado del 24 de julio de 2018 hasta el 30 de junio de 2021. Financiado por la Universidad Estatal de Bolívar, resolución No RCU-04-2018-0034 en la VII Convocatoria del Proyecto de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación; por lo que se expresa el agradecimiento por el apoyo y facilidades para la publicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcón. (25 de enero de 2020). *Ecuador registra 9.063 incendios forestales entre 2015 y 2019*. Diario El Comercio, págs. 1-1; <https://www.elcomercio.com/tendencias/incendios-forestales-fuego-casitagua-pichincha.html>.

Aldaz, & Cargua. (2018). *Amenaza de incendios forestales y medidas de reducción en la microcuenca del río Chazo Juan, provincia Bolívar*. Guaranda, Ecuador:

- Universidad Estatal de Bolívar. Disponible en repositorio:
<https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/3067>
- Amat. (2016). *Correlación lineal y Regresión lineal simple*. Ciencia de datos.
https://www.cienciadedatos.net/documentos/24_correlacion_y_regresion_lineal
- Attila, N. (2021). *Incendios forestales y su relación con la meteorología*. Meteoclim. Cambio Climático y Meteorología Profesional;
<https://blog.meteoclim.com/incendios-forestales-y-su-relacion-con-la-meteorologia>.
- Reyes-Bueno, F., & Balcázar-Gallegos, C. (2021). *Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador*. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 11(1), 50-60.
- Carrasco, Y. & Núñez, M. (2019). *Los incendios forestales y su impacto ambiental en las reservas ecológicas*. Explorador Digital, 3 (3), 104-113.
- Colak, E. & Sunar, F. (2020). *Evaluation of forest fire risk in the Mediterranean Turkish forests: A case study of Menderes region, Izmir*. International Journal of Disaster Risk Reduction, 45 (1), 101479.
- Cruz, M., Rodríguez, D., Villanueva, A. & Santillán, J. (2017). *Factores sociales de uso del suelo y vegetación asociados a los incendios forestales en Hidalgo*. Revista mexicana de ciencias forestales, 8 (41), 139-163.
- DESINVENTAR. (20 de abril de 2021). *UNDRR DesInventar Sendai*. Obtenido de Región Ecuador. Consulta: Bases de datos de desastres 1970 a 2019 de la provincia Bolívar:
<https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=ecu&continue=y>
- Ecuador Today. (2020). *La cuenca del Río Guayas: la región más fértil del Ecuador*. Obtenido de <https://ecuadortoday.media/2020/10/26/la-cuenca-del-rio-guayas-la-region-mas-fertil-del-ecuador/>
- Edwards, R., Naylor, R., Higgins, M. & Falcon, W. (2019). *Causes of Idonesias forest fires*. World Development, 127 (2020), 104717.

- FAO, F. a. (2007). *Fire management global assessment 2006. A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005*. FAO Forestry Paper 151. <https://www.fao.org/3/a0969e/a0969e00.htm>.
- Ghomi, F, Farahi, E., Baniasadi, R. & Masoumpoor, C. (2013). *Rating and mapping fire hazard in the hardwood hyrcanian forests using Gis and expert choice software*. Forestry Ideas, vol. 19, 2 (46), 141-150.
- Hardy, V., Vega, L., Velázquez, R., Vilariño, C. & Nieves, A. (2021). *Procedimiento de gestión del riesgo por incendios forestales con enfoque de resiliencia*. Ingeniería Industrial, vol. XLII (2), 1-12.
- Herawati, H., González, J., Wijaya, A., Wijaya, A., Martius, C., Purnomo, H. & Andriani, R. (2015). *Tools for Assessing the Impacts of Climate Variability and Change on Wildfire Regimes in Forests*. Forests, 6, 1476-1499.
- IGM. (2007). *Cartografía temática del Ecuador (shapefile)*. Instituto Geográfico Nacional.
- INAMHI. (26 de 08 de 2020). *INAMHI Anuarios Meteorológicos en PDF*. Obtenido de <https://elyex.com/inamhi-anuarios-metereologicos-en-pdf/>
- INOCAR. (2002). *Anuarios Meteorológicos de 1982 a 1999, Biblioteca del Instituto Oceanográfico de la Armada - INOCAR*. Guayaquil.
- IPCCC. (2007). *Cambio Climatico 2007. Informe de Síntesis*. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
- MAGAP. (2012). *Cartografía temática nacional, shapefile, escala 1:25.000*. Quito: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- Moayedi, H., Mehrabit, M., Tien Bui, D., Pradhan, B. & Kok Foong, L. (2019). *Fuzzy-metaheuristic ensembles for spatial assessment of forest fire susceptibility*. Journal of Environmental Management, vol. 260, 109867.
- Mondragón, M. (2014). *Uso de la Correlación de Spearman en un estudio de intervención en Fisioterapia*. Movimiento Científico, vol. 8, No. 1, 2014, 98-104. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5156978>

- Montiel. (2018). *La presencia histórica del fuego en el territorio*. En García, F., Casal, M. y Pausa Ecología de la regeneración de zonas incendiadas (pág. 113-119). Sevilla, España: Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía. <http://www.acsyma.es/Documentos/Jornadas/ECOLOG%C3%8DA%20DE%20LA%20REGENERACI%C3%93N%20DE%20ZONAS%20INCENDIADAS.pdf>
- Paucar, Vallejo, Barragán, & Gavilanes. (2021). *Percepción de vulnerabilidad social a la variabilidad climática de la población de la microcuenca del río Chazo Juan, Ecuador*. Revista Geográfica Venezolana, 062 (1), 146-159.
- Pausas. (2018). *Incendios forestales, encrucijada natural y social*. En García, F., Casal, M. y Pausa Ecología de la regeneración de zonas incendiadas (pág. 6-14). Sevilla, España: Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía. <http://www.acsyma.es/Documentos/Jornadas/ECOLOG%C3%8DA%20DE%20LA%20REGENERACI%C3%93N%20DE%20ZONAS%20INCENDIADAS.pdf>
- Pazmiño, D. (2019). *Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador*. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, volumen 1, número 1, junio 2019.
- Pérez, G., Márquez, M., Cortes A., & Salmerón, M. (2012). *Patrones de Distribución Espacio Temporal de los incendios forestales en el norte de México [ponencia]*. Memorias del Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales. GENERAL TECHNICAL REPORT PSW-GTR-245, (pp. 221a 232.), https://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr245/es/psw_gtr245_221.pdf
- Santos, P., Silva, S., Martins, N., Marcatti, G., De Jesús, L., Said, B., Villanova, P., Dos Santos, H. & Do Santos, A. (2019). *Forest fire hazard zoning in Mato Grosso State, Brazil*. Land Use Policy, 88 (2019), 104206.
- SNGRE. (2019). *Lineamientos para incluir la gestión del riesgo de desastres en el PDOT*. Quito: Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. Disponible en:

<https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/09/Caja-de-herramientas-Riesgos.pdf>

- SNGRE. (2020). *Registro de evento Peligrosos 2020, provincia Bolívar*. Guaranda: Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia.
- Torres-Rojo, J. M., Magaña-Torres, O. S., & Ramírez-Fuentes, G. A. (2007). *Indice del Peligro de Incendios Forestales de Largo Plazo*. *Agrociencia*, vol. 41, núm. 6, 13.
- UEB. (2021). *Informe de resultados del proyecto “Variabilidad Climática y su incidencia en las amenazas siconaturales en la microcuenca del río Chazo Juan, Ecuador”*. Guaranda, Ecuador: Universidad Estatal de Bolívar.
- Vadrevu, K., Eaturo, A., & Badanirath, & K. (2010). *Fire risk evaluation using multicriteria analysis—a case study*. *Environ Monit Assess*, 166: 223–239.
- Vargas, D., & Quesada, A. (2018). *Influencia geomorfológica en la vulnerabilidad a incendios forestales en el área de Conservación Guanacaste, Costa Rica*. *Revista de Ciencias Ambientales. Tropical Journal of Environmental Sciences*, volumen 52 (2): 1-15.
- Vilar, L., Nieto, H., & Martín, M. (2010). *Integration of Lightning- and Human-Caused Wildfire Occurrence Models*. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 16 (2) 340-364.