

LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS COMO ANÁLISIS DE DATOS DE INCENDIOS FORESTALES GENERAL SYSTEMS THEORY AS ANALYSIS OF FOREST FIRE DATA

Cristopher Camacho Durán

Ing. Sistemas Inteligentes, UAEMEX.criscamacho1059@gmail.com, ORCID: 0009-0001-9836-9011

Doricela Gutiérrez Cruz

UAEMEX, dgutierrezcr@uaemex.mx

Israel Gutiérrez González

UAEMEX, igutierrezg@uaemex.mx

Carmen Liliana Rodríguez Páez

UAEMEX, clrodriguezp@uaemex.mx

Ricardo Rico Molina

UAEMEX, rricom@uaemex.mx

RESUMEN

El análisis anual de los incendios forestales en los estados mexicanos, realizado como parte de la investigación, se basó en la aplicación de la Teoría General de Sistemas (TGS) para desarrollar modelos predictivos y estrategias de gestión de riesgos. Este enfoque sistémico permitió capturar las relaciones dinámicas entre estos factores, generando visualizaciones precisas y detalladas que representaban la distribución geográfica y la frecuencia de los incendios en el territorio mexicano. La utilización de técnicas de cartografía y visualización de datos espaciales, como los mapas de calor y gráficos, desempeñó un papel fundamental al resaltar las áreas con una incidencia más significativa de incendios forestales.

Estas representaciones visuales detalladas y claras facilitaron la comprensión integral del sistema de incendios forestales en México, brindando una base sólida para la toma de decisiones informadas en la implementación de estrategias preventivas y de control.

Mediante este enfoque sistémico y holístico, se ha mejorado la gestión estratégica de los incendios forestales. El objetivo principal ha sido preservar los valiosos recursos naturales y reducir los riesgos asociados a estos eventos recurrentes en México. Esta metodología proporciona una base sólida para una gestión más efectiva y proactiva, contribuyendo a minimizar el impacto devastador de los incendios forestales en los ecosistemas y en las comunidades locales.

Palabras clave: Incendios forestales, Modelos predictivos y Teoría General de Sistemas (TGS)

ABSTRACT

The annual analysis of forest fires in the Mexican states, carried out as part of the research, was based on the application of the General Systems Theory (TGS) to develop predictive models and risk management strategies. This systemic approach allowed us to capture the dynamic relationships between these factors, generating precise and detailed visualizations that represented the geographical distribution and frequency of fires in the Mexican territory. The use of mapping and spatial data visualization techniques, such as heat maps and graphs, played a key role in highlighting areas with the most significant incidence of wildfires.

These detailed and clear visual representations facilitated a comprehensive understanding of the wildfire system in Mexico, providing a solid basis for making informed decisions in the implementation of preventive and control strategies.

Through this systemic and holistic approach, the strategic management of wildfires has been improved. The main objective has been to preserve valuable natural resources and reduce the risks associated with these recurring events in Mexico. This methodology provides a solid foundation for more effective and proactive management, helping to minimize the devastating impact of forest fires on ecosystems and local communities.

Keywords: Forest fires, Predictive models and General Systems Theory (TGS)

Fecha de Recibido: 30 de octubre de 2023

Fecha de Aceptación: 10 de diciembre de 2023

INTRODUCCIÓN

La problemática de los incendios forestales es una cuestión crítica que afecta a diversas regiones del país. Estos incendios representan una amenaza significativa tanto para la biodiversidad como para la seguridad de las comunidades locales. (García, E., & Jiménez, R, 2020).

Los efectos adversos de los incendios forestales en los ecosistemas y la seguridad pública son motivo de gran preocupación. La propagación de estos incendios puede tener consecuencias devastadoras, incluyendo la pérdida de hábitats naturales, la degradación del suelo y la amenaza para la vida de la flora y fauna. Además, los incendios forestales pueden poner en riesgo la vida y las propiedades de las comunidades cercanas.

Para comprender mejor la dinámica de los incendios forestales en México y su impacto en los ecosistemas y las poblaciones locales, se puede aplicar la Teoría General de Sistemas (TGS) como una herramienta poderosa desde una perspectiva de gestión y prevención de desastres. (TGS, 2011) La TGS es un enfoque interdisciplinario que se emplea para analizar sistemas complejos en diversos

contextos. En el análisis de los incendios forestales en México, la aplicación de la TGS involucra una serie de pasos fundamentales:

- **Identificación del sistema:** Define claramente el sistema que deseas analizar o estudiar.
- **Delimitación del sistema:** Establece los límites del sistema, es decir, determina qué elementos están dentro del sistema y cuáles están fuera.
- **Identificación de componentes:** Enumera y describe los componentes o elementos individuales que componen el sistema.
- **Definición de relaciones:** Identifica y describe las relaciones y las interacciones entre los componentes del sistema.
- **Observación de patrones:** Examina los patrones y las regularidades que emergen de las interacciones dentro del sistema.
- **Abstracción de modelos:** Crea modelos o representaciones simplificadas del sistema que ayuden a comprender sus características esenciales.
- **Análisis de retroalimentación (feedback):** Examina cómo la retroalimentación y los bucles de retroalimentación pueden influir en el comportamiento del sistema.
- **Identificación de jerarquías:** Reconoce si el sistema tiene una estructura jerárquica con subsistemas o componentes de diferentes niveles.
- **Estudio de entropía y equifinalidad:** Considera la entropía, que se refiere al grado de desorden o caos en el sistema, y la equifinalidad, que sugiere que un sistema puede alcanzar el mismo estado final desde diferentes condiciones iniciales.
- **Aplicación de principios generales:** Utiliza los principios generales de la TGS, como la interdependencia de las partes, la retroalimentación, la adaptación, la holarquía y la recursividad, para analizar y comprender el sistema en cuestión.

Para un análisis más eficiente, es posible simplificar los pasos para aplicar la Teoría General de Sistemas (TGS) al estudio de los incendios forestales en los estados de la República Mexicana. La simplificación de los pasos se puede lograr sin comprometer la calidad del análisis, especialmente si se busca una visión general del sistema.

- Identificación del sistema.
- Componentes y relaciones.
- Patrones y modelos.

- Retroalimentación y equifinalidad.

METODOLOGÍA

A) Identificación del sistema

Este paso implica que se defina y delimite claramente el sistema que se desea estudiar, es decir, el sistema de incendios forestales que ocurren anualmente en los estados mexicanos, donde extraemos información directamente del sitio oficial del Gobierno de México. (TGS, 2011)

B) Componentes y relaciones

Es necesario identificar los componentes clave que lo conforman. En este caso, se consideran elementos como los bosques, la vegetación, el clima, las actividades humanas y las políticas de gestión forestal. Además, resulta esencial analizar cómo estos componentes se relacionan entre sí y cómo estas relaciones influyen en la dinámica de los incendios forestales.

C) Patrones y modelos

Luego, se debe observar y analizar los patrones que emergen dentro del sistema de incendios forestales. Esto incluye la frecuencia, la magnitud y la ubicación de los incendios.

Se registran los incendios forestales ocurridos durante un período determinado en diferentes regiones de México. Se analiza cuántos incendios se producen anualmente y si hay estacionalidades en su ocurrencia.

Magnitud: Se evalúa la gravedad de los incendios en función del tamaño de área afectada, No. de incendios anuales y la región afectada

Tabla 1.- Muestra de datos del Data Set de incendios Forestales en México de 2018 - 2021

AÑO	ENTIDAD FEDERATIVA	No. INCENDIOS	DE SUPERFICIE QUEMADA	REGIÓN
2018	CHIHUAHUA	778	160927ha	Norte
2019	CHIHUAHUA	702	41639ha	Norte
2020	CHIHUAHUA	430	8910ha	Norte

- Ubicación: Se realiza el mapeo de la ubicación geográfica de los incendios para identificar áreas de alta incidencia en la Figura 1.

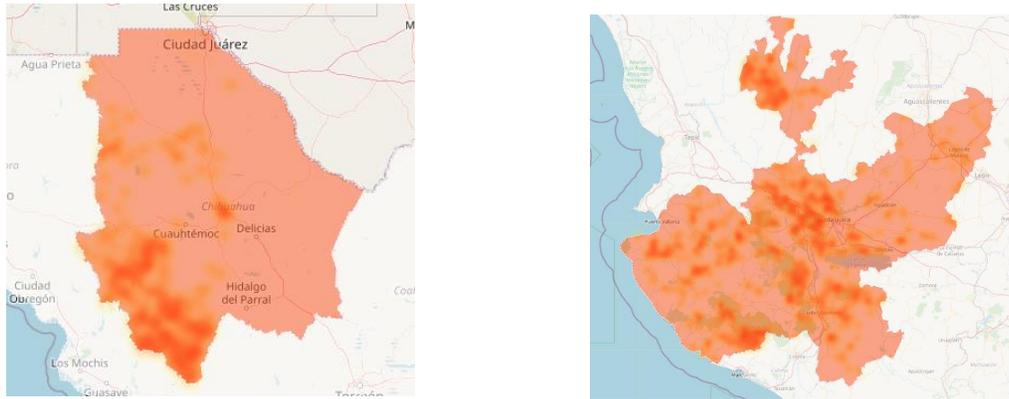


Figura 1. Zona de incendios del estado de Chihuahua Y Jalisco

D) Retroalimentación y equifinalidad

Ciertamente, se puede expandir y desarrollar más el contenido para profundizar en la importancia de examinar las intervenciones y cambios en el sistema, así como en el concepto de equifinalidad en relación con los incendios forestales.

La comprensión de cómo las intervenciones y modificaciones en el sistema pueden influir en la evolución de los incendios forestales es esencial para la gestión efectiva de estos eventos. Además de las políticas de prevención y las actividades de gestión forestal, es crucial considerar otros factores, como el cambio climático, la planificación urbana, la ecología del paisaje y las actividades humanas, ya que todos estos desempeñan roles significativos en la ocurrencia y magnitud de los incendios forestales. (2 García, E., & Jiménez, R, 2020).

La complejidad inherente a la interacción de estos factores resalta la idea de equifinalidad en el contexto de los incendios forestales. La equifinalidad sugiere que diferentes condiciones y combinaciones de factores pueden conducir al mismo resultado: la presencia de incendios forestales. Por ejemplo, un incendio puede desencadenarse debido a una combinación de altas temperaturas, baja humedad, presencia de material inflamable y actividad humana, pero es crucial comprender que estas condiciones pueden variar en diferentes regiones geográficas o momentos temporales y aun así resultar en incendios similares.

Abordar la equifinalidad implica reconocer la diversidad de factores que pueden desencadenar incendios forestales y la necesidad de estrategias flexibles y adaptativas en la gestión de riesgos. Además, destaca la importancia de evaluar no



Diotima, Revista Científica de Estudios Transdisciplinaria Vol. 9 no. 25 Enero-Abril (2024)

solo las causas directas, sino también los factores subyacentes que contribuyen a la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales.

En resumen, ampliar el análisis sobre cómo las intervenciones en el sistema y la presencia de múltiples factores contribuyen a la ocurrencia de incendios forestales, al tiempo que se comprende la equifinalidad, permite una visión más holística y completa para abordar la gestión y prevención de estos eventos naturales destructivos.

RESULTADOS

La recopilación de los datos obtenidos desde el año 1975 nos proporciona una valiosa visión de los patrones y componentes relacionales en relación a los incendios forestales anuales en los estados de la República Mexicana. A través del uso de las herramientas LibreOffice Calc® y Benoit®, se ha logrado visualizar y analizar cómo se comportan estos incendios a través de los años. Tomemos como análisis el número de incendios desde 1975 a 2022 de Chihuahua, los cuales se observan en las figuras 1 al 4.

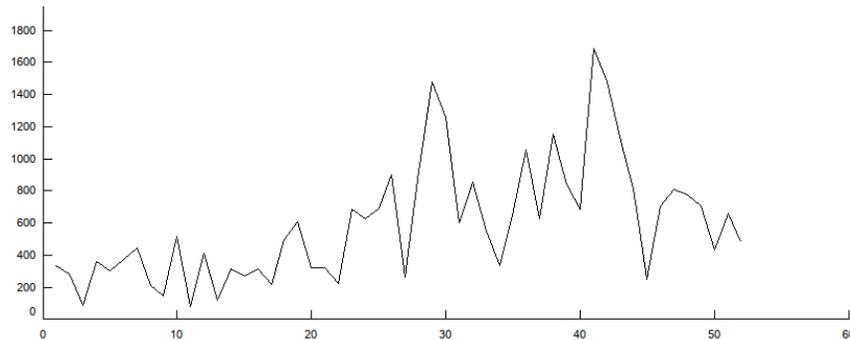


Figura 2. Análisis del número de incendios de 1975-2022 en Chihuahua
Fuente: Elaboración Propia con software Benoit®

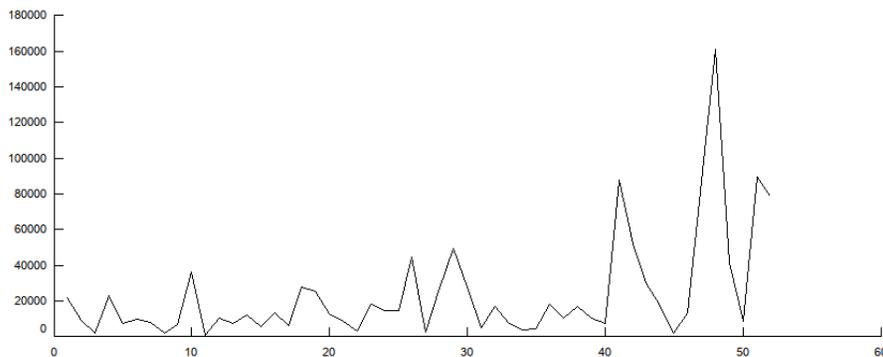


Figura 3.- Análisis del número de incendios de 1975-2022
Fuente: Elaboración Propia con software Benoit®

Los resultados obtenidos resaltaron un aumento en los incendios forestales al pasar de los años, lo que implica una relación fuerte con el cambio de temperatura e intervención humana. A pesar de que en los últimos años ha bajado el índice de incendios forestales anuales de Chihuahua, (Que se puede observar en la tabla 1) se han registrado los mayores números de áreas quemadas/afectadas.

El enfoque de la Teoría General de Sistemas (TGS) para analizar los datos sobre incendios forestales en México en el año 2022 proporcionaría una perspectiva integral y sistémica de la situación. Al aplicar este enfoque a cada estado de la república mexicana, se puede comprender mejor cómo diferentes variables y sistemas interactúan para influir en la frecuencia y magnitud de los incendios forestales. Analizando lo recabado en la siguiente representación gráfica (Figura 4 y 5).

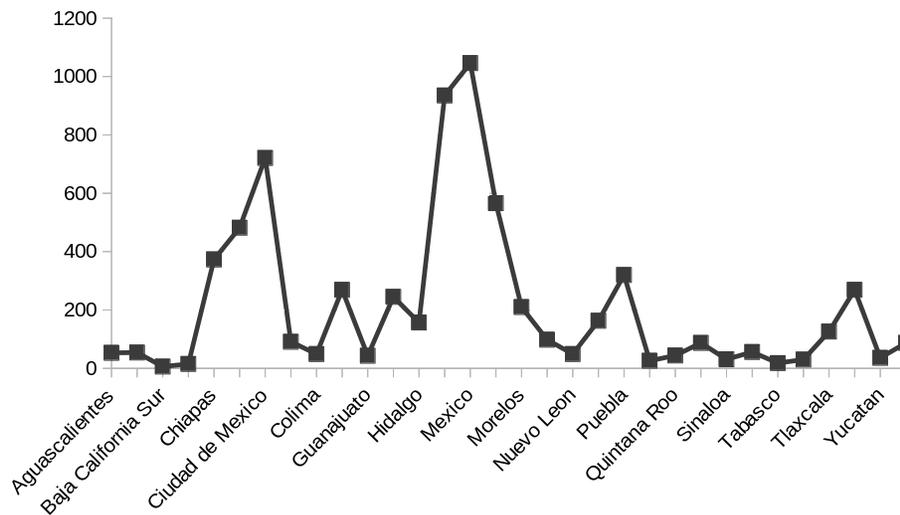


Figura 4.- Análisis del número de incendios de 2022 de cada estado.
Fuente: Elaboración Propia con software LibreOffice Calc®

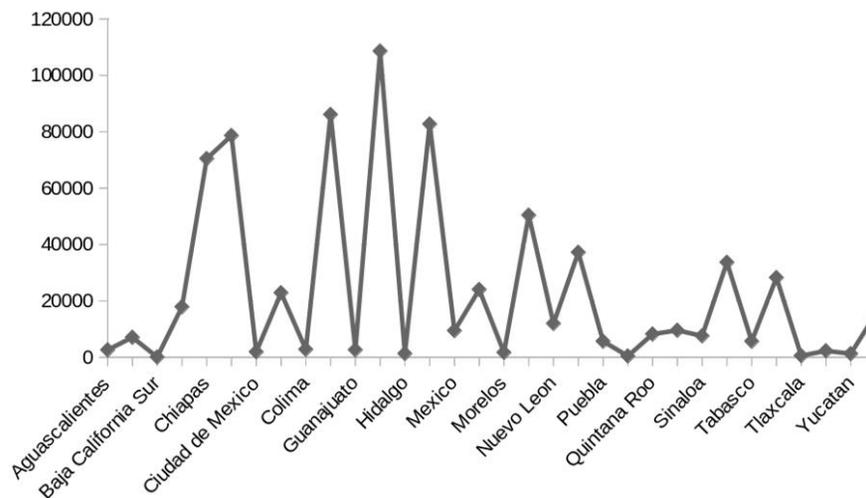


Figura 5.-Análisis de la superficie afectada por los incendios de 2022 de cada estado.
Fuente: Elaboración Propia con software LibreOffice Calc®

El análisis detallado de los gráficos mostrados anteriormente revela interesantes discrepancias entre el número de incendios y la extensión de tierra afectada por estos eventos. Sorprendentemente, se observa que el estado con el mayor número de incendios no necesariamente es aquel en el que se registra la mayor superficie afectada.

AÑO	ENTIDAD FEDERATIVA	No. INCENDIOS	DE SUPERFICIE QUEMADA	REGIÓN
2022	MÉXICO	1046	9467ha	Centro
2019	GUERRERO	245	108597ha	Centro

Figura 6.- Tabla de comparación de estados.
Fuente: Elaboración Propia con software LibreOffice Calc®

Mientras el estado de México reporta un elevado número de incendios en el año 2022, la superficie total afectada es menor en comparación con el estado de Guerrero que ha experimentado menos incendios, pero con una extensión geográfica significativamente mayor afectada por cada fuego.

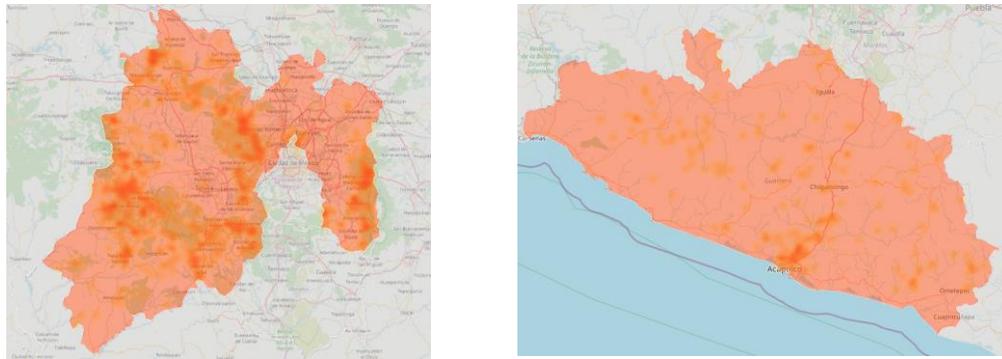


Figura 7. Zona de incendios del estado de México Y Guerrero

Este fenómeno resalta la complejidad de los factores involucrados en la propagación y control de los incendios forestales. Podría atribuirse a una combinación de diversos elementos, como las condiciones climáticas locales, la composición de la vegetación, la efectividad de los esfuerzos de contención y la prontitud en la respuesta a los incendios.

En el análisis previo, se restringió la observación a los datos del año 2022 con el propósito de profundizar en su comprensión. Ahora, buscamos expandir esta perspectiva y obtener una visión más amplia del fenómeno de los incendios forestales. Para ello, se ha realizado un análisis que abarca un periodo extenso

desde 1970 hasta 2022, con el objetivo de examinar la evolución temporal de estos eventos a lo largo de las décadas (Gobierno de México, CNIFR, 2023, octubre).

Se ha elaborado un gráfico que muestra la variación del número de incendios a lo largo de estos años, permitiendo identificar los picos más significativos en diferentes periodos temporales. Este análisis busca determinar los años y estados en los cuales se registró la mayor frecuencia de incendios, así como aquellos que presentaron una mayor extensión de área afectada por estos eventos.

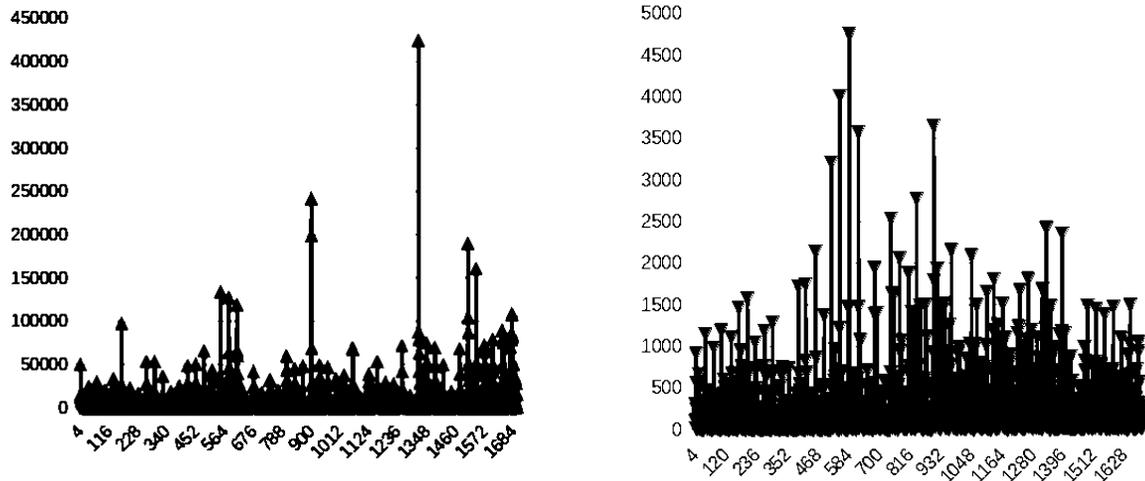


Figura 8 y 9.-Análisis del número y superficie afectada por los incendios de 1970 - 2022 de cada estado.

Fuente: Elaboración Propia con software LibreOffice Calc®

Este enfoque histórico nos brinda una panorámica completa y detallada de la incidencia de incendios forestales en México a lo largo de las últimas décadas. Además, permite identificar patrones, tendencias y posibles anomalías en la ocurrencia de estos eventos, ofreciendo una base sólida para comprender mejor la dinámica y la magnitud de los incendios forestales en el país.

AÑO	ENTIDAD FEDERATIVA	No. INCENDIOS	DE SUPERFICIE QUEMADA	REGIÓN
2011	Coahuila	162	424541ha	Noreste
1988	México	4748	21222ha	Centro

Figura 10.- Tabla de comparación de estados.

En el análisis realizado, se destaca que, durante el año 1988, el estado de México registró la cifra más alta de incendios forestales, alcanzando un total de 4748

incidentes. Por otro lado, en el año 2011, el estado de Coahuila reportó la mayor superficie afectada por incendios, con un área devastada de 424,541 hectáreas.

Estos hallazgos resaltan momentos críticos en la historia de los incendios forestales en México, evidenciando los eventos más significativos en términos de frecuencia y extensión del daño. Es esencial considerar estos datos al evaluar la magnitud y el impacto de los incendios forestales en diferentes momentos y regiones del país.

MODELADO PREDICTIVO:

Partiendo de la selección de tres estados específicos, se busca realizar un análisis temporal que permita identificar patrones o relaciones entre ellos en relación con los incendios forestales. El objetivo es observar el comportamiento del promedio del área quemada en cada uno de estos estados a lo largo de los años para establecer posibles similitudes y diferencias (Hastie, Tibshirani y Friedman, 2009).

Utilizando los datos históricos del área quemada en los estados seleccionados, se generará un gráfico que represente la tendencia temporal del promedio anual del área afectada por los incendios en cada uno de estos estados. Este análisis permitirá observar la evolución a lo largo del tiempo y identificar posibles relaciones, tendencias comunes o variaciones entre los estados seleccionados. Una vez obtenidos estos gráficos, se buscará utilizar esta información para realizar proyecciones o predicciones aproximadas del área quemada en años futuros para los estados específicos. Esto se realizará mediante el análisis de las tendencias identificadas en los gráficos históricos para estimar posibles comportamientos en años posteriores.

CHIHUAHUA

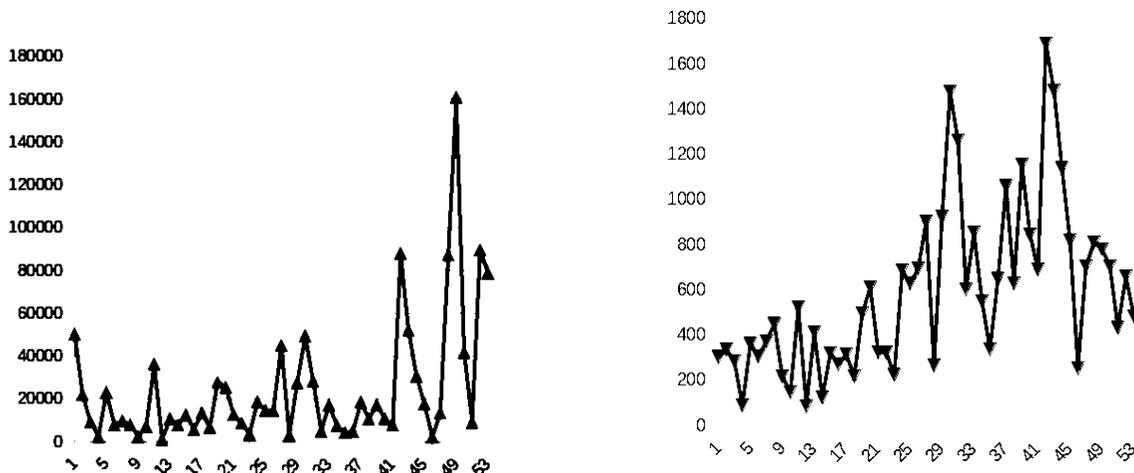


Figura 11 y 12.- Área quemada y Cant. de incendios. Calculando la media del Área quemada de los datos recopilados de 1970 -2022

$$m = 24264.9433962264\text{ha}$$

Esta cifra representa el promedio del área quemada en los incendios forestales. Indica que, en promedio, la extensión de terreno afectada por cada incendio se sitúa alrededor de 8543 hectáreas.

Calculando la desviación estándar del Área quemada de los datos recopilados de 1970 -2022

Desviación Estándar= 29650.4404172863ha

La desviación estándar alta significa que hay una variabilidad considerable en el tamaño del área quemada en los incendios. El valor obtenido sugiere que los tamaños del área quemada tienden a desviarse bastante de la media.

Calculando la varianza del Área quemada de los datos recopilados de 1970 -2022

Varianza= 862560907.185475ha²

En este contexto, la varianza indica cuánto varían los tamaños del área quemada, mostrando la dispersión de estos datos alrededor de la media.

JALISCO

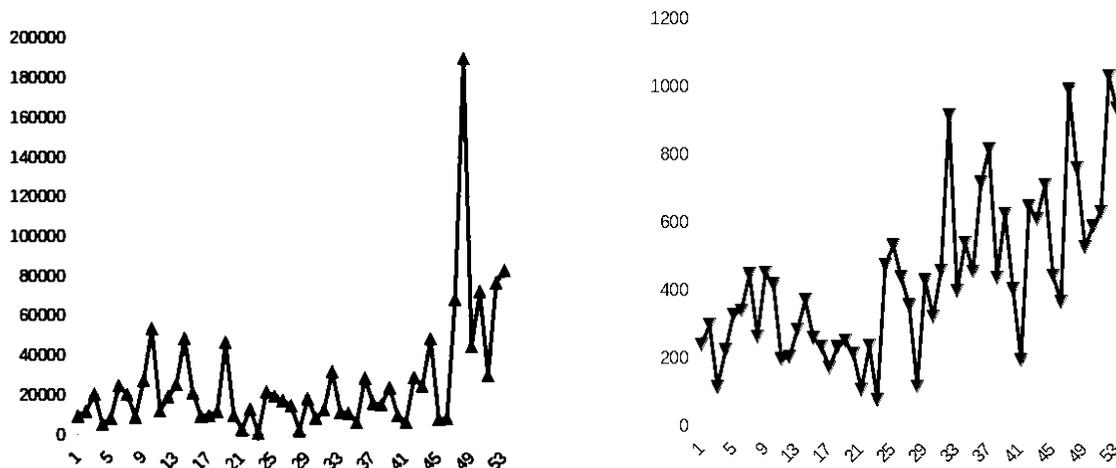


Figura 13 y 14.- Área quemada y Cant. de incendios.

m= 25872.43ha

Este valor representa el promedio del área quemada en incendios forestales. En promedio, se observa que el área afectada por incendios se sitúa alrededor de 25872.43 hectáreas.

Desviación Estándar= 30116.39ha

La desviación estándar indica que los tamaños del área quemada varían significativamente alrededor del promedio. Es decir, los valores individuales tienden

a estar bastante alejados del promedio, mostrando una alta variabilidad en los tamaños del área afectada por los incendios.

Varianza= 889883609.64ha²

La varianza es otra medida de dispersión que muestra cuánto varían los valores individuales del área quemada respecto al promedio, al cuadrado. La varianza de 889883609.64 hectáreas cuadradas es una cifra grande y confirma la alta variabilidad y amplitud de los datos en relación con el promedio del área quemada.

EDO. MEX

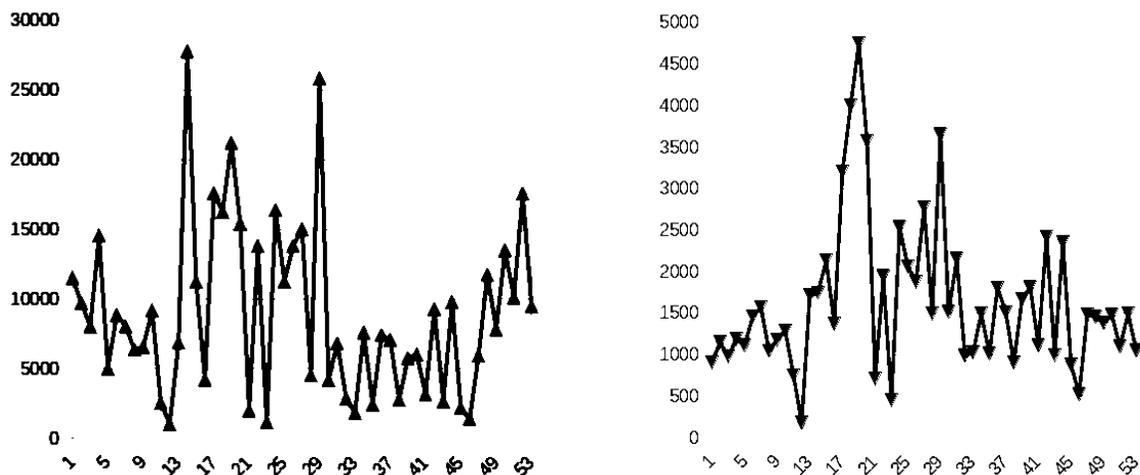


Figura 15 y 16.- Área quemada y Cant. de incendios.

Promedio= 8961.25ha

Este valor representa el tamaño promedio del área afectada por incendios forestales. Indica que, en general, se observa un área quemada promedio de aproximadamente 8961.25 hectáreas por evento de incendio.

Desviación Estándar= 6132.32ha

La desviación estándar es una medida que representa cuánto se alejan los valores individuales del área quemada del promedio. En este caso, una desviación estándar de 6132.32 hectáreas indica que los tamaños del área quemada tienden a variar considerablemente alrededor de la medida promedio. En otras palabras, los valores individuales pueden distanciarse en promedio de 6132.32 hectáreas del valor promedio de área quemada.

Varianza= 36895791.96ha²

La varianza, siendo el cuadrado de la desviación estándar, indica la dispersión de los valores de área quemada alrededor del promedio, al cuadrado. En este caso, una varianza de 36895791.96 hectáreas cuadradas muestra la extensión en la que

los tamaños individuales del área quemada pueden variar con respecto al valor promedio. Es decir, los datos sobre el área quemada en incendios tienen una dispersión amplia en relación con el promedio, lo que sugiere una gran variabilidad en los tamaños del área afectada por incendios forestales.

CONCLUSIONES

La consistencia observada en el tamaño promedio del área quemada y la dispersión de estos valores alrededor de la media refleja una estabilidad relativa en la magnitud de los incendios forestales analizados. Este patrón de variabilidad podría entenderse como parte de un sistema complejo y entrelazado de factores, tal como lo sugiere la Teoría General de Sistemas (TGS). La TGS nos invita a considerar los incendios forestales como sistemas integrados, donde elementos como el clima, la topografía, las actividades humanas y la vegetación interactúan de manera interdependiente y generan un comportamiento global observable. Este enfoque nos permite comprender cómo estas variables se influyen mutuamente, dando lugar a patrones y comportamientos emergentes en la propagación y magnitud de los incendios forestales.

Mediante el uso de la TGS en el análisis de incendios forestales, se pueden construir modelos predictivos más robustos y precisos. Estos modelos tendrían en cuenta la compleja red de interacciones entre las variables, permitiendo anticipar y entender mejor los posibles escenarios futuros. Al considerar estos factores interconectados, se pueden identificar tendencias emergentes, patrones ocultos y relaciones significativas que contribuyen a una predicción más informada y estratégica sobre el área quemada en incendios futuros.

Finalmente, al interpretar datos, gráficos y cálculos provenientes de una muestra representativa y considerando diversos elementos del entorno, incluyendo la influencia humana, se puede vislumbrar una predicción más cercana sobre las áreas que podrían verse afectadas por incendios forestales en México en el futuro.

Esta interpretación se basa en la comprensión profunda de patrones históricos, condiciones ambientales actuales y la influencia de actividades humanas, permitiendo una visión más precisa de cómo podría comportarse la propagación de incendios forestales en los próximos períodos. Integrar estos datos y consideraciones ayuda a formular una predicción más informada y ajustada a la realidad, lo que resulta crucial para implementar medidas preventivas, estrategias de gestión y acciones de mitigación que busquen reducir el impacto de los incendios forestales en México.

REFERENCIAS

- Carmona, D. H. (2011). Teoría general de sistemas: Un enfoque hacia la ingeniería de Sistemas (2nd ed.). Lulu.com.
- García, E., & Jiménez, R. (2020). Incendios forestales en México: Impacto ambiental y estrategias de prevención. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Gobierno de México. (2020). Incendios forestales en México: 023, octubre). Concentrado Nacional de Incendios Forestales. Recuperado el 18 de octubre de 2023, de https://monitor_incendios.cnf.gob.mx/incendios_tarjeta_semanal.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer. ISBN: 978-0387848570.
- Ochoa, S. F., Singh, P., & Bravo, J. (2017). Ubiquitous computing and ambient intelligence: 11th International Conference, UCAmI 2017, Philadelphia, PA, USA, November 7–10, 2017, Proceedings. Springer.
- datos.gob.mx. (s. f.). Incendios forestales - BDHistoricoIncendiosForestales19702021.csv. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/incendios-forestales/resource/374e7a72-d73d-4539-901b-0eac23987197>.