

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
“Dr. MARTÍN CÁRDENAS”
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES



Determinar un índice de riesgo y probabilidad de ocurrencia de incendios forestales

**Trabajo dirigido para
obtener el título de
Ingeniero Forestal**

PAUL ROLANDO OCAMPO FRONTANILLA

COCHABAMBA – BOLIVIA

2024

Resumen

Determinar un índice de riesgo y probabilidad de ocurrencia de incendios forestales.

Se ha utilizado los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta que nos permite implementar una serie de análisis de índole territorial, ambiental, proporcionando a los pobladores de una determinada región, zona, área protegida un sistema de alerta temprana sobre incendios forestales, a través de un índice de probabilidad de ocurrencia, facilitando a las autoridades locales una herramienta para la toma de decisiones al momento de planificar las estrategias de combate de los incendios forestales. La característica del Índice permite zonificar en este caso del Parque Nacional Tunari (PNT), el estado de la vegetación, tomando en cuenta sus características propias como la topografía, morfología, climatología y presencia antrópica, diferenciando cada sector en porcentaje de Extremo, Moderada, Alta y Baja. A través de un mapa de riesgos actualizado se podrá contar con el índice diario para el PNT planificando de esta manera las zonas que requerirán mayor atención para un monitoreo de las actividades cotidianas de los pobladores del lugar tratando de disminuir eventos que conlleven actividades con fuego.

Palabras clave: Parque, Tunari, NDVI; Kernel.

Abstract

Determine a Risk Index and Probability of occurrence of forest fires. Geographic information systems (GIS) is a tool that allows us to implement a series of analyzes of a territorial, environmental nature, providing the inhabitants of a certain region, area, protected area with an early warning system on forest fires, through a probability of occurrence index, providing local authorities with a decision-making tool when planning strategies to combat forest fires. The characteristic of the Index allows zoning in this case of the Tunari National Park (PNT), the state of the vegetation, taking into account its own characteristics such as topography, morphology, climatology and anthropic presence, differentiating each sector in percentage of Extreme, Moderate, High and low. Through an updated risk map, it will be possible to have the daily index for the PNT, planning in this way the areas that will require more attention for monitoring the daily activities of the inhabitants of the place, trying to reduce events that involve activities with fire.

Key words: Tunari, Park, NDVI, Kernel.

INTRODUCCION

Los incendios forestales son catástrofes que ocasionan grandes pérdidas de biodiversidad tanto vegetal como animal, con emisiones de dióxido de carbono a la atmosfera, infringiendo daños al suelo, aire y agua.

Con el presente trabajo se pretende aportar con una herramienta que ayude en la lucha de la prevención de los incendios forestales en las áreas protegidas de los municipios y gobernaciones, tomando en cuenta que los parques no cuentan con personal suficiente para el cuidado y el control de sus áreas de influencia.

La necesidad de poder actuar anticipándonos a un incendio es posible actualmente, se cuenta con los sistemas de información geográfica (SIG), nos proporcionan una herramienta factible para determinar un índice de riesgo de ocurrencia de incendios a través de imágenes satelitales.

El concepto del triángulo del fuego se centra en la influencia sobre la disponibilidad del combustible para iniciar incendios, mientras que el NDVI, que representa el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, ofrece una manera de evaluar esta disponibilidad de material combustible. Esto se logra al considerar otras variables como la temperatura de la superficie, la humedad del material, así como las condiciones ambientales y la topografía del área donde se localiza dicho material.

Se puede estimar un índice aproximado del lugar donde se encuentre con un alto o bajo riesgo de producirse un incendio.

Una ventaja importante es contar con el lugar aproximado donde puede ocurrir un incendio, esto podrá facilitar el trabajo de prevención, permitiendo a las autoridades darles mayor importancia a estas zonas, tanto en el transitar de la gente del lugar e informar sobre el estado de la zona prohibiendo cualquier inicio de incendio por concepto de habilitar tierras para el cultivo agrícola u otro tipo de actividades propias de cada lugar.

Para el buen funcionamiento de prevención de incendios es necesario establecer acuerdos interinstitucionales con cada municipio dentro el Parque Nacional Tunari (PNT), quienes deberán coordinar con las autoridades zonales para divulgar el estado de riesgo de cada zona e informar a la población.

Los incendios forestales y la deforestación en Bolivia son las principales causas

de pérdida de bosque. Según La Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), 5.3 millones de hectáreas fueron quemadas en Bolivia en el periodo de enero al 25 de septiembre del 2021 (FAN, 2021).

Los incendios forestales tienen un papel global importante en los sistemas ecológicos y climáticos, siendo responsable de gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Van der Werf et al., 2008; citado por Montellano, 2012), además de ser causantes de la degradación del bosque tropical, con impactos múltiples en la estructura del bosque, biodiversidad y el ciclo de nutrientes presentes en el suelo (Cochrane 2009; citado por Montellano, 2012).

Los incendios en Bolivia, especialmente en los bosques tropicales constituyen un proceso ecológico importante, que tiene su influencia de forma negativa en el ciclo natural de la sucesión vegetal y de los ecosistemas en cuanto a su estructura y función (Cochrane et al., 2010; citado por Montellano, 2012).

La estimación de la probabilidad de ocurrencia o riesgo de incendios forestales, como componente de un sistema de evaluación del grado de peligro, constituye un aspecto de gran importancia en el manejo del fuego (Van Wagner, 2010; citado por Julio, 1990).

Actividades como la prevención y el combate, deben apoyarse en un indicador de tal naturaleza, porque permita orientar la aplicación de medidas tendientes a evitar la iniciación de focos de fuego, además, para disponer oportunamente de los recursos necesarios para el control de esos mismos focos ante la eventualidad que definitivamente se produzcan (Brown y Davis, 2009; citado por Julio, 1990).

Por otra parte, un índice de vegetación puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilabert et al., 2009; citado por Muñoz, 2013).

Según (Claros, 2022), En los últimos años, Bolivia ha perdido aproximadamente diez millones de hectáreas por los incendios forestales.

Hubo un incremento de incendios en territorios indígenas, áreas protegidas y áreas de producción forestal permanente, es decir, en los bosques.

Fue una situación recurrente por dos factores: el primero tiene que ver con el cambio climático, porque las condiciones ambientales fueron cambiando; y el segundo

con una política muy vinculada a la ampliación de la frontera agrícola.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

- Identificar el proceso metodológico para la obtención de un índice que determine el nivel de riesgo y por consiguiente la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en el Parque Nacional Tunari.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Generar un procedimiento técnico a través de una plataforma SIG (Sistemas de Información Geográfica), para la determinación de un índice de ocurrencia de incendios en el PNT.

- Generar un protocolo para el monitoreo del estado de la dinámica vegetal, dentro del Parque Nacional Tunari (PNT).

- Crear una base de datos con los resultados del IPR.

Índice de contenido

I.	INTRODUCCION.....	1
1.1.	Objetivos.....	3
<i>1.1.1.</i>	<i>Objetivo General.....</i>	<i>3</i>
<i>1.1.2.</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>3</i>
II.	REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1.	Lucha contra los incendios forestales	4
<i>2.1.1.</i>	<i>Prevención.....</i>	<i>4</i>
<i>2.1.2.</i>	<i>Extinción del fuego.....</i>	<i>4</i>
<i>2.1.3.</i>	<i>Análisis de riesgos</i>	<i>4</i>
<i>2.1.4.</i>	<i>Prevención.....</i>	<i>5</i>
<i>2.1.5.</i>	<i>Extinción del fuego.....</i>	<i>5</i>
<i>2.1.6.</i>	<i>Análisis de riesgo</i>	<i>5</i>
2.2.	Características de los incendios forestales	5
2.3.	Sistemas de información geográfica (SIG).....	7
2.4.	Definición de índice de riesgo y probabilidad de ocurrencia de incendios forestales ..	8
2.5.	La teledetección	8
2.6.	Calibración radiométrica y corrección atmosférica.....	8
2.7.	Corrección geométrica.	9
2.8.	Índice de vegetación diferencia normalizado (NDVI).....	10
2.9.	Densidad Kernel	10
<i>2.9.1.</i>	<i>Como se calcula la densidad Kernel de entidades de puntos</i>	<i>11</i>
2.10.	Definición de foco de calor.....	12
2.11.	Temperatura superficial	12
2.12.	Indice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)	14

2.13. Modelo digital del terreno (MDT)	15
2.14. La media aritmética	17
2.15. Experiencias en incendios forestales.....	18
2.15.1. Trabajos relacionados a nivel internacional.....	18
2.15.2. Trabajos relacionados a nivel nacional.....	18
III. MATERIALES METODOS.....	19
3.1. Ubicación.....	19
3.1.1. Descripción	19
3.2. Materiales y equipos.....	20
3.2.1. Materiales.....	20
3.2.2. Equipos.....	21
3.3. Metodología.....	21
3.3.1. Recopilación de datos	21
3.3.2. Obtención de imágenes satelitales	21
3.3.3. Plataforma USGS	21
3.3.3.1. Copernicus Open Access Hub.....	22
3.3.3.2. Las imágenes ASTER_DEM.....	22
3.3.4. Corrección radiométrica y atmosférica	22
3.3.5. Proceso fusión de escenas raster DEM (Modelo de Elevación Digital.....	24
3.3.6. Proceso creación de un Ráster de pendientes	24
3.3.7. Proceso de creación del índice diferencial de agua normalizada modificada (MNDWI)	26
3.3.8. Proceso creación ráster de Temperatura Superficial (LST)	27
3.3.9. Creación ráster NDVI	27
3.3.10. Creación ráster de densidad Kernel.....	28
3.3.11. Delimitación de las imágenes con el área de estudio.....	29

3.3.12. Proceso de resamplio de las capas al mismo tamaño de pixel.....	30
3.3.13. Proceso de normalización de las capas ráster.....	31
3.3.14. Proceso estandarización del sistema coordenadas.....	32
3.4. Procedimiento Técnico.....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	34
4.1. Determinación del índice de riesgo y probabilidad de ocurrencia de incendios forestales.....	34
4.2. Descripción de las actividades y resultados obtenidos.....	35
4.3. Protocolo para el Monitoreo.....	47
4.3.1. Justificación.....	48
4.3.2. Alcance del protocolo.....	48
4.3.3. Monitoreo a Focos de calor.....	49
4.3.3.1. Sistema de Información y Monitoreo de Bosques (SIMB).....	49
4.3.4. Protocolo de monitoreo a evaluación de cicatriz de quema.....	59
4.4. Base de Datos (resultados del IPR).....	70
V. CONCLUSIONES.....	77
VI. RECOMENDACIONES.....	78
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	79

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Rangos de estimación probabilística.....	31
Cuadro 2. Base de datos de los resultados IPR por Municipio.....	70
Cuadro 3. Resultados del IPR en porcentaje por municipio	76

Índice de Figuras

Figura 1. Triangulo del fuego.....	6
Figura 2. Elementos del cuadrado del fuego.....	6
Figura 3. Triángulo del fuego en incendios forestales	7
Figura 4. Ubicación del área de estudio.....	20
Figura 5. Corrección radiométrica y atmosférica Software SNAP.....	22
Figura 6. Inicio del proceso de corrección.....	23
Figura 7. Corrección radiométrica y atmosférica, imagen Lansat 8 con el Software QGIS 3.10.....	23
Figura 8. Proceso de creación de un mosaico de imágenes DEM.....	24
Figura 9. Extracción por mascara el área de estudio PNT.....	25
Figura 10. Creación ráster de pendientes.....	25
Figura 11. Herramientas para obtener el NDWI.....	26
Figura 12. Cálculo del raster del NDWI.....	26
Figura 13. Proceso creación ráster temperatura superficial terrestre.....	27
Figura 14. Proceso creación raster NDVI.....	28
Figura 15. Función Aplicación Densidad Kernel.....	28
Figura 16. Cálculo del promedio densidad Kernel.....	29
Figura 17. Delimitación área de estudio.....	30
Figura 18. Resamplero imágenes ráster.....	31
Figura 19. Reclasificación de las capas ráster.....	32
Figura 20. Índice de probabilidad de Riesgo (IPR).....	35
Figura 21. Primer paso corrección radiométrica.....	37
Figura 22. Segundo paso corrección radiométrica.....	37
Figura 23. Corrección imágenes Lansat 8.....	38
Figura 24. Herramienta para la creación de un mosaico de imágenes DEM.....	39
Figura 25. Extracción por mascara el área de estudio PNT.....	39
Figura 26. Creación ráster de pendientes.....	40
Figura 27. Proceso creación ráster NMDWI.....	41
Figura 28. Proceso creación raster temperatura superficial terrestre.....	41
Figura 29. Proceso creación ráster NDVI.....	42

Figura 30. Función Aplicación Densidad Kernel.....	43
Figura 31. Cálculo del promedio densidad Kernel.....	43
Figura 32. Resampleo imágenes raster.....	44
Figura 33. Re proyección de capa raster.....	45
Figura 34. Determinación del IPR.....	45
Figura 35. Crea Geo Data Base.....	46
Figura 36. Diagrama de flujo de las actividades.....	47
Figura 37. Estructura orgánica del sistema SIMB.....	50
Figura 38. Portal de acceso al sistema SIMB de monitoreo de vegetación y focos de calor.....	51
Figura 39. Procedimiento de selección de unidades regionales.....	52
Figura 40. Portal de acceso a monitoreo en Parque Nacional Tunari.....	53
Figura 41. Selección de satélites.....	53
Figura 42. Selección de fechas de eventos inicio y final.....	54
Figura 43. Obtención de base de datos.....	55
Figura 44. Visualización del archivo shp.....	55
Figura 45. Proceso de reporte interactivo de focos de calor.....	56
Figura 46. Visualización de mapa base en imagen satelital.....	57
Figura 47. Selección de coberturas bosques y conservación.....	57
Figura 48. Opciones de visualización de coberturas en el mapa base.....	58
Figura 49. Portal de SATRIFO para evaluación de cicatriz de quema.....	60
Figura 50. Selección de datos para el análisis de cicatriz de quema.....	61
Figura 51. Selección de lugar para el análisis de cicatriz de quema.....	62
Figura 52. Selección de imágenes por fecha antes del evento.....	62
Figura 53. Selección de imagen con fecha después de la quema.....	63
Figura 54. Cierre de la ventana de selección de imágenes satélites.....	64
Figura 55. Visualización de imagen actual con eventos de quema.....	64
Figura 56. Visualización de imágenes del evento antes y después del evento.....	65
Figura 57. Delimitación de áreas afectadas por quema.....	65
Figura 58. Dibujo de áreas quemadas.....	66
Figura 59. Selección de opción área no quemada.....	67
Figura 60. Delimitación de áreas no quemadas.....	67

Figura 61. Delimitación automática del área quemada.....	68
Figura 62. Delimitación espacial del área quemada.....	68
Figura 63. Bajar la información en formato KML.....	69
Figura 64. Obtención de base del proceso de área quemada en formato KML.	69
Figura 65. Mapa N° 1 Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI).....	71
Figura 66. Mapa N° 2 De Densidad Kernel (DK).	72
Figura 67. Mapa N° 3 Temperatura Superficial del Suelo (TS).....	73
Figura 68. Mapa N° 4 Índice Diferencial de agua Normalizada (NDWI).....	74
Figura 69. Mapa N° 5 Modelo Digital del Terreno (MDT).	75