

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“VALIDACIÓN DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS ASOCIADOS A LA  
GENERACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

**INGENIERA METEORÓLOGA**

**ANA BELÉN ARROYO RAMÍREZ**

Lima – Perú

**2024**

---

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

## 4. Borador Final TSP- A-ARROYO-R-08092023.docx

### INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	1%
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	web2.senamhi.gob.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.igp.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
6	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“VALIDACIÓN DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS ASOCIADOS A LA  
GENERACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERA METEORÓLOGA**

Presentado por:

**ANA BELÉN ARROYO RAMÍREZ**

Sustentada y aprobado por el siguiente jurado:

---

Mg. Sc. Franklin Delio Unsihuay Tovar  
PRESIDENTE

---

Ing. Héctor Ladislao Huisacaina Soto  
MIEMBRO

---

Dr. Alexis Nicolás Ibáñez Blancas  
MIEMBRO

---

Mg. Sc. Weidi Flores Villanueva  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

*A mi querida familia, por su amor incondicional, apoyo constante y ejemplares valores. Son mi mayor inspiración.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A los profesores cuyos valiosos consejos, sugerencias y guía experta fueron esenciales en la elaboración de este trabajo.*

*A mis colegas y amigos que compartieron sus conocimientos y experiencias conmigo a lo largo de este trabajo. Sus debates, discusiones y colaboración fueron invaluable.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT .....	vii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Problemática .....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.2.1. Objetivo general.....	1
1.2.2. Objetivos específicos .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	2
2.1. Incendios Forestales en el Perú.....	2
2.2. Precipitaciones en el Perú.....	2
2.3. Causas antrópicas de la ocurrencia de Incendios Forestales en el Perú.....	3
2.4. Parámetros Climáticos en la ocurrencia de Incendios Forestales en el Perú.....	4
III. DESARROLLO DEL TRABAJO .....	5
3.1. Materiales .....	5
3.1.1. Datos meteorológicos.....	5
3.1.2. Modelo de elevación digital .....	5
3.1.3. Registros históricos de incendios forestales .....	5
3.1.4. Límites regionales .....	5
3.2. Metodología.....	5
3.2.1. Análisis de incendios forestales.....	5
3.2.2. Análisis de variables y parámetros climáticas .....	6
3.2.3. Evaluación de variables y parámetros climáticos. ....	6
IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....	7
4.1. Análisis de incendios forestales. ....	7
4.2. Análisis de variables de precipitación y temperatura.....	12
4.3. Análisis de parámetro climáticos. ....	15
4.4. Correlación de variables climáticas y parámetros climáticos con la frecuencia acumulada de incendios forestales. ....	22
4.5. Identificación de umbrales .....	25

V. CONCLUSIONES .....	31
VI. RECOMENDACIONES .....	32
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Frecuencia de incendios forestales por región. ....	7
Tabla 2: Umbrales de precipitación acumulada (PA), frecuencia acumulada de días secos (FDS) y frecuencia acumulada de días cálidos (FDC) para el inicio de la temporada de incendios forestales en julio por región. ....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Focos de calor en el Perú del periodo 2012-2016.....	2
Figura 2. Climatología de la precipitación mensual del periodo 1998-2014 (mm/mes).....	3
Figura 3. Registro histórico de ocurrencia de incendios forestales para el periodo 2002-2018 en las regiones Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur. ....	8
Figura 4. Registro histórico de ocurrencia de incendios forestales para el periodo 2002-2018 en las regiones Selva Norte, Selva Central y Selva Sur. ....	9
Figura 5. Diagrama de Cajas de la evolución mensual de los valores de elevación de incendios forestales en las regiones Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur.....	10
Figura 6. Diagrama de Cajas de la evolución mensual de los valores de elevación de incendios forestales en las regiones Selva Norte, Selva Central y Selva Sur.....	11
Figura 7. Precipitación (mm) y temperatura máxima promedio (°C) durante la temporada de estiaje (mayo -setiembre) en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur.....	13
Figura 8. Precipitación (mm) y temperatura máxima promedio (°C) durante la temporada de estiaje (mayo -setiembre) en Selva Norte, Selva Central y Selva Sur. ....	14
Figura 9. Precipitación acumulada (mm) de mayo a diciembre en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur.....	16
Figura 10. Precipitación acumulada (mm) de mayo a diciembre en Selva Norte, Selva Central y Selva Sur .....	17
Figura 11. Frecuencia acumulada de días secos (días) de mayo a diciembre en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur. ....	18
Figura 12. Frecuencia acumulada de días secos (días) de mayo a diciembre en Selva Norte, Selva Central y Selva Sur.....	19

Figura 13. Frecuencia acumulada de días cálidos (días) de mayo a diciembre en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur. ....	20
Figura 14. Frecuencia acumulada de días cálidos (días) de mayo a diciembre en Selva Norte, Selva Central y Selva Sur. ....	21
Figura 15. Coeficiente de correlación entre temperatura máxima (TX), precipitación (P), precipitación acumulada (PA), frecuencia de días secos (FDS), frecuencia de días cálidos (FDC) y frecuencia de incendios forestales (FIF) para el periodo mayo- diciembre durante 2002-2016 en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur. ....	23
Figura 16. Coeficiente de correlación entre temperatura máxima (TX), precipitación (P), precipitación acumulada (PA), frecuencia de días secos (FDS), frecuencia de días cálidos (FDC) y frecuencia de incendios forestales (FIF) para el periodo mayo-diciembre durante 2002-2016 en Selva Norte, Selva Central y Selva Sur. ....	24

## RESUMEN

Con la finalidad de contar con la emisión oportuna de avisos meteorológicos que pronostiquen y avisen sobre las condiciones atmosféricas favorables para la ocurrencia de incendios forestales a nivel nacional, se llevó a cabo el servicio de asistencia técnica en meteorología para la Subdirección de Predicción Meteorológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) durante el periodo mayo - octubre 2022, desarrollándose las actividades de emisión de avisos meteorológicos de condiciones atmosféricas favorables a eventos de incendios forestales, análisis y vigilancia del comportamiento de las variables meteorológicas favorables a eventos de incendios forestales, pronóstico específico de condiciones atmosféricas favorables a incendios forestales y brindar apoyo en el desarrollo del estudio de validación de parámetros climáticos asociados a la generación de incendios forestales.

En este trabajo se presenta los resultados obtenidos del estudio de Validación de Parámetros Climáticos asociados a la generación de Incendios Forestales. Se utiliza data grillada de precipitación y temperatura máxima del producto PISCO, data satelital de elevación del producto SRTM DEM, data SIG del registro histórico de incendios forestales de la base de datos del MINAM y data SIG de límites regionales provista por SENAMHI. La metodología consistirá de las siguientes etapas: análisis de incendios forestales, análisis de variables y parámetros climáticos, y evaluación de variables y parámetros climáticos.

**Palabras clave:** Incendios forestales, parámetros climáticos, data satelital, límites regionales

## ABSTRACT

In order to have timely issuance of meteorological alerts that forecast and warn about favorable atmospheric conditions for the occurrence of forest fires nationwide, technical assistance services in meteorology were provided to the Subdirectorate of Meteorological Prediction of the National Meteorology and Hydrology Service of Peru (SENAMHI) during the period of May - October 2022. The activities carried out included the issuance of meteorological alerts for favorable atmospheric conditions for forest fire events, analysis and monitoring of meteorological variables conducive to forest fire events, specific forecasting of favorable atmospheric conditions for forest fires, and providing support in the development of a validation study of climatic parameters associated with the generation of forest fires.

This work presents the results obtained from the Validation of Climatic Parameters associated with the generation of Forest Fires study. Gridded data of precipitation and maximum temperature from the PISCO product, satellite data of elevation from the SRTM DEM product, GIS data from the historical record of forest fires in the MINAM database, and GIS data of regional boundaries provided by SENAMHI are used. The methodology consists of the following stages: analysis of forest fires, analysis of climatic variables and parameters, and evaluation of climatic variables and parameters.

**Keywords:** Forest fires, climatic parameters, satellite data, regional boundaries

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Problemática

Los incendios forestales en el Perú, ocasionan la pérdida de los suelos forestales y la cobertura natural de los bosques, constituyendo así una de las principales amenazas para los ecosistemas y su diversidad biológica, extendiéndose además a la población humana debido al efecto que puede ejercer las superficies quemadas en el cambio de los regímenes hidrológicos y la disminución de la disponibilidad de agua dulce (Manta, 2017).

Se considera incendio forestal a aquel fuego descontrolado que afecta la vegetación que se desarrolla en suelos forestales de producción y de protección (Manta y León, 2004; Manta, 2017). En América del Sur, las actividades agropecuarias representan el 90% de las causas de ocurrencia de incendios forestales (Manta, 2007; Manta, 2017).

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

- Evaluar parámetros climáticos basados en la temperatura y la precipitación asociados a la generación de incendios forestales en el Perú.

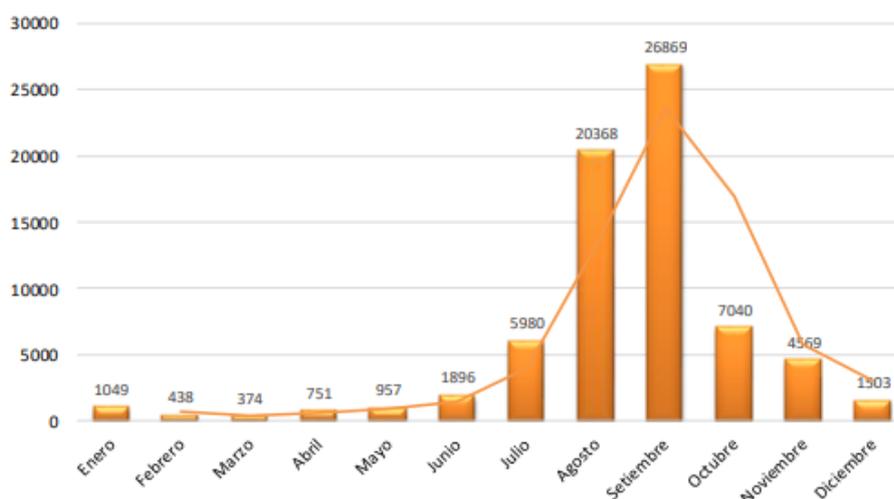
### 1.2.2. Objetivos específicos

- Describir la distribución espacial y temporal de la ocurrencia de incendios forestales por región en el Perú.
- Determinar la relación entre las variables climáticas (precipitación y temperatura máxima) y los parámetros climáticos (frecuencia acumulada de días secos, frecuencia acumulada de días cálidos y precipitación acumulada) con la ocurrencia de incendios forestales por región en el Perú.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Incendios Forestales en el Perú

SERFOR (2018) menciona que existe una alta relación entre la incidencia de incendios forestales con la actividad antrópica, y que entre los meses de julio a noviembre (meses de estiaje) se incrementan los focos acumulativos de calor captados por satélites en el Perú, lo cual se asocia directamente con la disminución de precipitaciones y el incremento de quemas por actividad agropecuaria. Figura 1

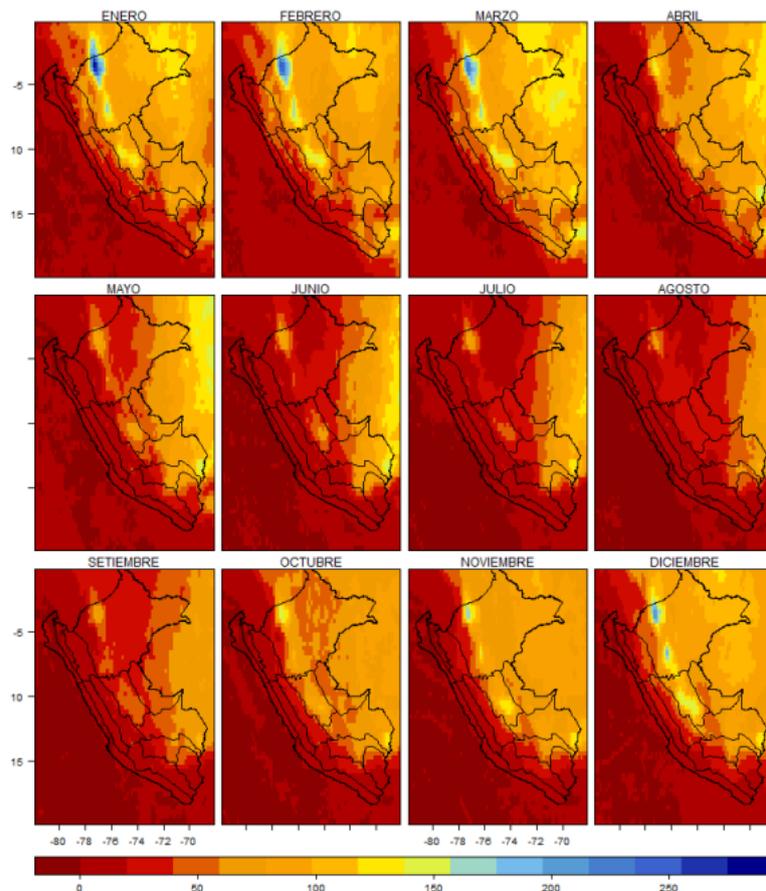


**Figura 1.** Focos de calor en el Perú del periodo 2012-2016  
**FUENTE:** SERFOR (2018)

### 2.2. Precipitaciones en el Perú

SENAMHI (2016) señala que el periodo de lluvias en el Perú, comienza en setiembre y se extiende hasta abril del siguiente año, las mayores precipitaciones se presentan de diciembre a marzo debido a que los sistemas atmosféricos asociados a las precipitaciones se presentan con su mejor configuración, mayor intensidad y persistencia.

Figura 2



**Figura 2.** Climatología de la precipitación mensual del periodo 1998-2014 (mm/mes)  
**FUENTE:** SENAMHI (2016)

### 2.3. Causas antrópicas de la ocurrencia de Incendios Forestales en el Perú

USAID (2015) distingue las causas antrópicas de ocurrencia de incendios forestales en el Perú por regiones:

- a) Región Amazónica: Demanda de tierra para actividades agrícolas de cultivos comerciales como la palma aceitera, cacao y frutales. Lo cual genera el cambio de uso de suelo mediante quemas en áreas deforestadas, las cuales pueden descontrolarse y generar incendios forestales.
- b) Región Andina: Asociado a la renovación de pastos para su uso como alimento del ganado y la ampliación de la frontera agrícola en áreas boscosas. Para lo cual se realizan quemas y debido a la existencia de especies exóticas como el Eucalipto y el Pino, que presentan compuestos inflamables en sus hojas, se intensifica el fuego facilitando la generación y expansión de los incendios forestales.

- c) Región interandina: Relacionado con las quemas para el manejo de chacras. Las cuales se ven favorecidas por las fuertes pendientes y la velocidad de propagación del fuego, convirtiéndolas en incendios forestales.
- d) Región Costa Norte: Asociado con la preparación de terreno para campañas agrícolas mediante la quema de pastos y el uso de fuego como agente controlador de abejas silvestres mediante la quema de la base de los árboles en los bosques secos.

#### **2.4. Parámetros Climáticos en la ocurrencia de Incendios Forestales en el Perú**

Espinoza et al. (2016) estudió la cuenca andina-amazónica Tamshiyacu, donde identificaron una fuerte correlación entre parámetros climáticos, como la frecuencia de días secos, y el índice espectral NDVI, que indica el estado vegetativo. Este enfoque revela cómo los cambios en los parámetros climáticos pueden influir en la vegetación.

SENAMHI (2018) resaltó que factores meteorológicos como la frecuencia de días sin lluvia, las precipitaciones acumuladas inusuales y las temperaturas máximas persistentemente altas precedieron a la propagación de incendios forestales, demostrando cómo los parámetros climáticos pueden desempeñar un papel crucial en la ocurrencia de estos eventos.

### **III. DESARROLLO DEL TRABAJO**

#### **3.1. Materiales**

##### 3.1.1. Datos meteorológicos

Datos de precipitación y temperatura máxima a escala diaria y mensual obtenidos del producto PISCO (Aybar, y otros, 2020) (Huerta, y otros, 2018). Disponible en <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/>

##### 3.1.2. Modelo de elevación digital

El producto SRTM DEM versión 4.1 es un modelo digital de elevación global basado en el sistema de radar Shuttle Radar Topography Mission con resolución espacial de 90m (Jarvis, y otros, 2008). Disponible en <https://srtm.csi.cgiar.org/>

##### 3.1.3. Registros históricos de incendios forestales

Base de datos del Ministerio del Ambiente (MINAM) de registros de ocurrencias de incendios forestales validados y georreferenciados, recopilados desde el año 2000 al 2018. Disponible en <https://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/registros-historicos-cfoi/>

##### 3.1.4. Límites regionales

En este trabajo se hace uso de los archivos shapefile de límites regionales propuestos por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2019).

#### **3.2. Metodología**

##### 3.2.1. Análisis de incendios forestales

Se cuantificará el número de ocurrencias de incendios forestales por región para el periodo de análisis del 2002 al 2016. Se generarán las series históricas anuales con la finalidad de identificar los años donde se registraron el mayor número de eventos en estas regiones. Se analizará la distribución mensual de los valores de elevación por punto de incendio forestal,

extraídos del modelo de elevación digital, para identificar el rango de altitud y el periodo predominante de ocurrencia de incendios forestales por región.

### 3.2.2. Análisis de variables y parámetros climáticas

Se obtendrán los datos de precipitación y temperatura máxima por punto de incendio forestal y se promediarán por región, para generar series temporales promedio de precipitación y temperatura máxima. Se procederá a analizar la serie anual de las variables climáticas en cada región.

SENAMHI (2018) destaca que, en 2016, la propagación del fuego se vio favorecida por la falta de lluvia, precipitaciones anómalas y temperaturas máximas persistentemente altas antes de los incendios forestales. A partir de la serie temporal diaria de precipitación y temperatura máxima de cada región, calculadas anteriormente, se estimarán los parámetros climáticos de precipitación acumulada (PA), frecuencia acumulada de días secos (FDS) y frecuencia acumulada de días cálidos (FDC), para analizar su evolución principalmente durante los años que registraron el mayor número de eventos de incendios forestales en estas regiones.

### 3.2.3. Evaluación de variables y parámetros climáticos.

Se generaran matrices de correlación tipo Pearson para analizar la relación existente entre la precipitación (P), temperatura máxima (TX), precipitación acumulada (PA), frecuencia acumulada de días secos (FDS) y frecuencia acumulada de días cálidos (FDC) con la frecuencia acumulada de incendios forestales (FIF), y determinar cuáles variables o parámetros serían los más adecuados de implementar en el monitoreo de condiciones atmosféricas favorables a la ocurrencia de incendios forestales en cada región.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Análisis de incendios forestales.

Se cuantificó el número de ocurrencias de incendios forestales por región para el periodo de análisis del 2002 al 2018, ver Tabla 1

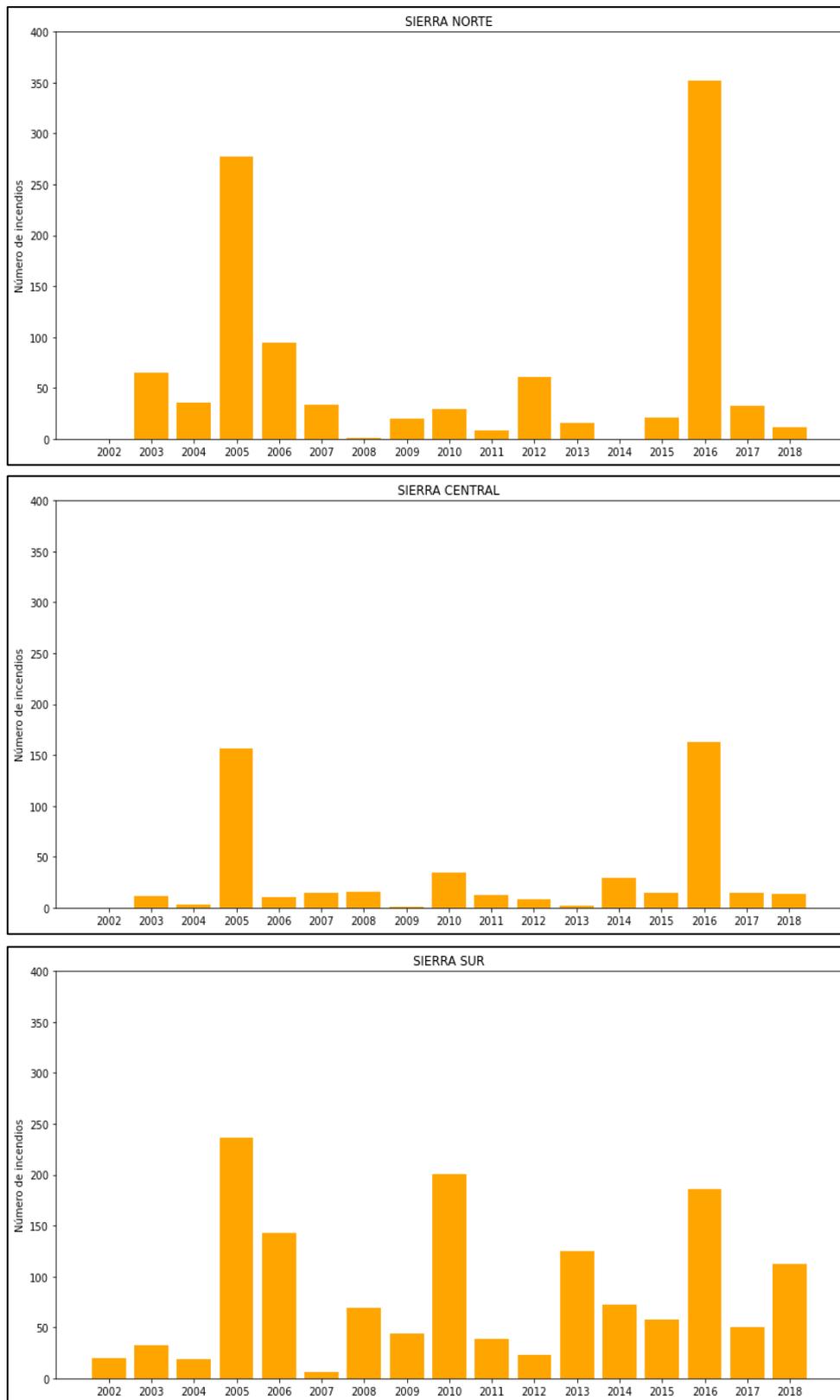
**Tabla 1:** Frecuencia de incendios forestales por región.

N°	Región	Número de Incendios Forestales	Periodo
1	COSTA NORTE	24	2002-2018
2	COSTA CENTRO	2	2002-2018
3	COSTA SUR	0	2002-2018
4	SIERRA NORTE	1056	2002-2018
5	SIERRA CENTRAL	501	2002-2018
6	SIERRA SUR	1435	2002-2018
7	SELVA NORTE	102	2002-2018
8	SELVA CENTRO	66	2002-2018
9	SELVA SUR	260	2002-2018

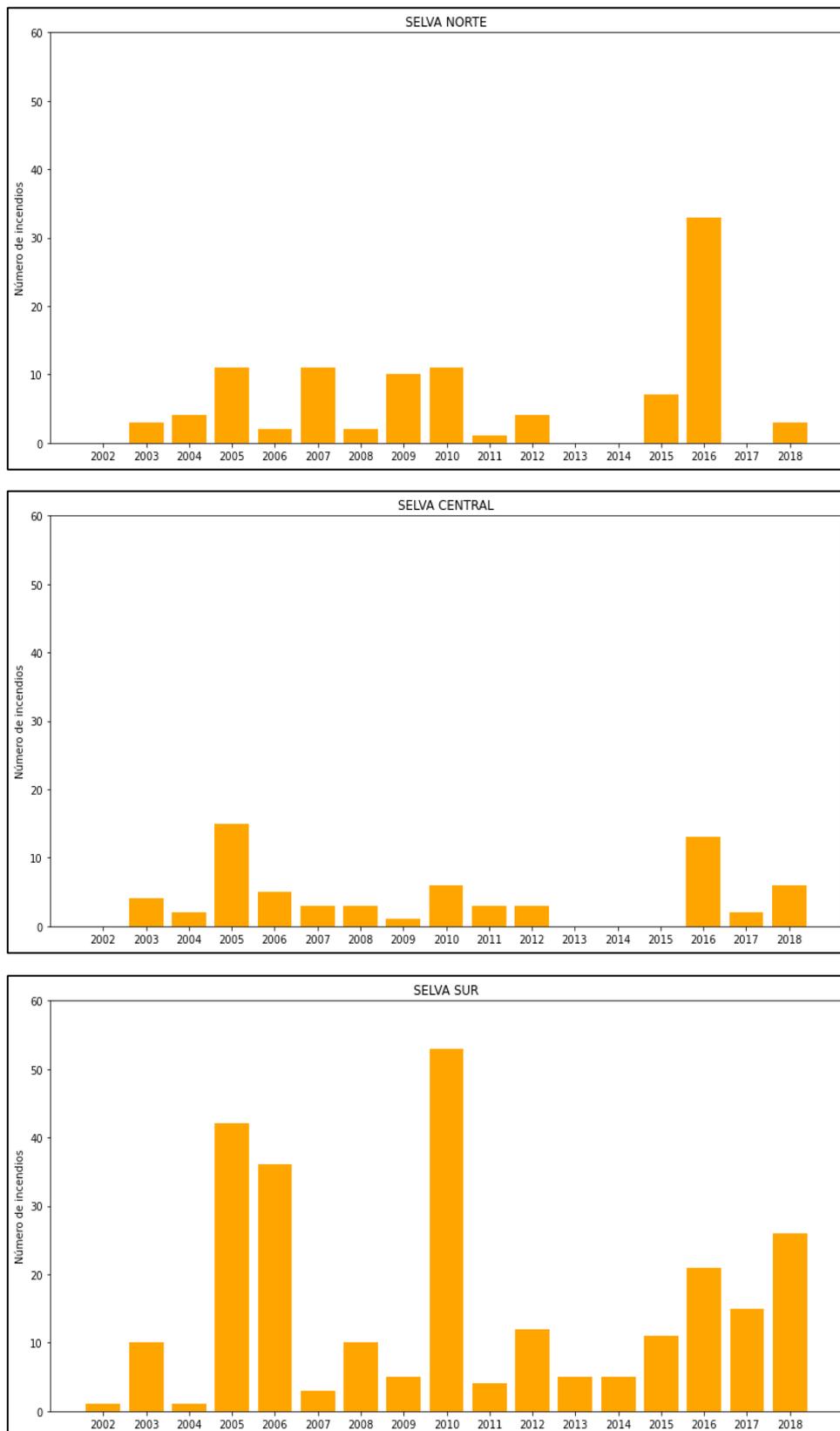
Las regiones priorizadas fueron seleccionadas en función de los resultados obtenidos en la cuantificación de la frecuencia de incendios forestales por región. Se evaluaron los datos de incendios de forma independiente para las regiones priorizadas: Sierra Norte, sierra centro, Sierra Sur, Selva Norte, Selva centro y Selva Sur.

Se generó la serie histórica anual con la finalidad de identificar los años donde se registraron el mayor número de eventos en estas regiones, Figura 3 y Figura 4. Se analizó la distribución mensual de los valores de elevación de cada punto de incendio forestal, extraídos del modelo

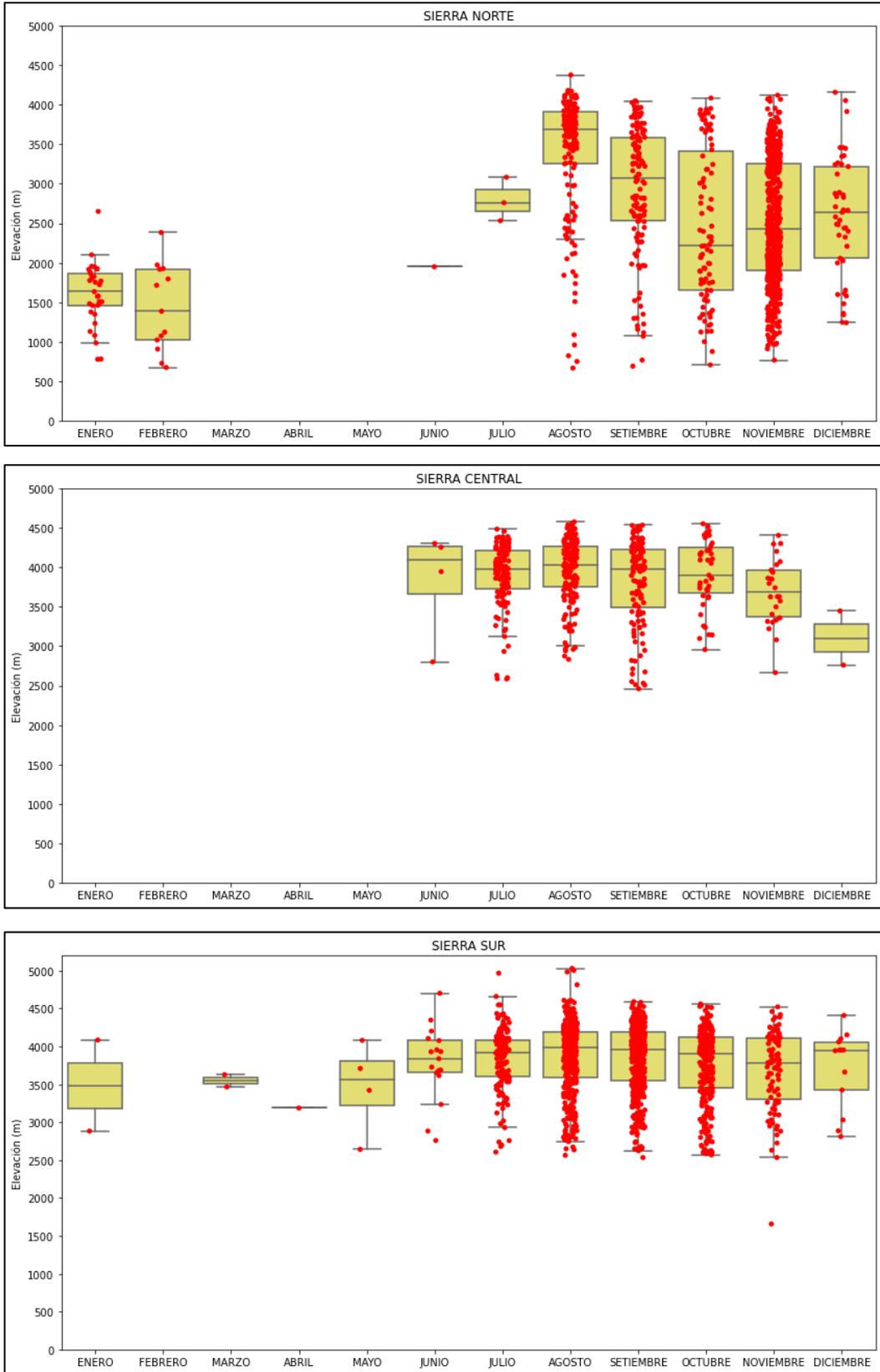
de elevación digital, para identificar el rango de altitud de ocurrencia de incendios por región y el periodo predominante de ocurrencia de incendios forestales por región, Figura 5 y Figura 6.



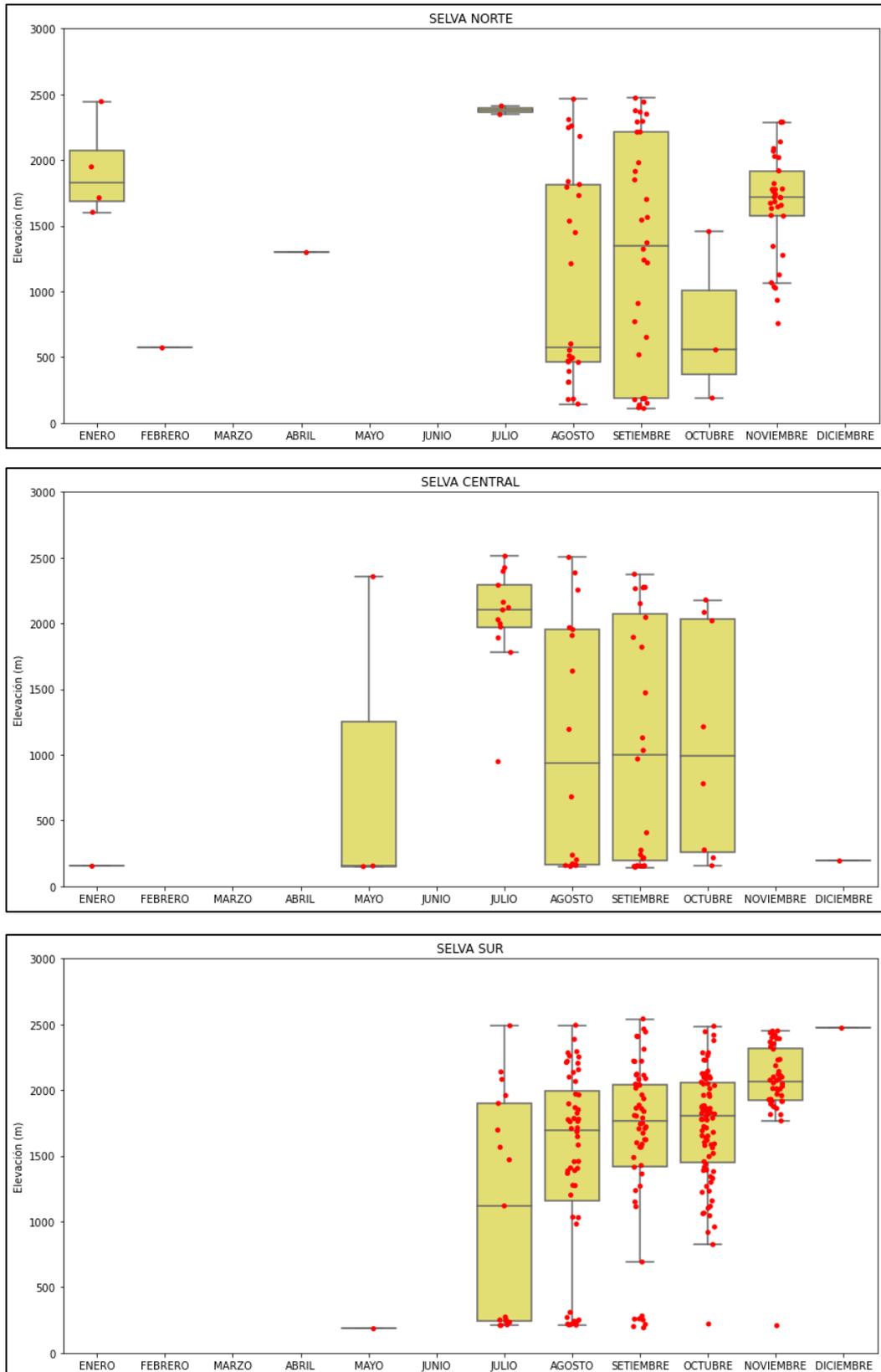
**Figura 3.** Registro histórico de ocurrencia de incendios forestales para el periodo 2002-2018 en las regiones Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur.



**Figura 4.** Registro histórico de ocurrencia de incendios forestales para el periodo 2002-2018 en las regiones Selva Norte, Selva Central y Selva Sur.



**Figura 5.** Diagrama de Cajas de la evolución mensual de los valores de elevación de incendios forestales en las regiones Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur.



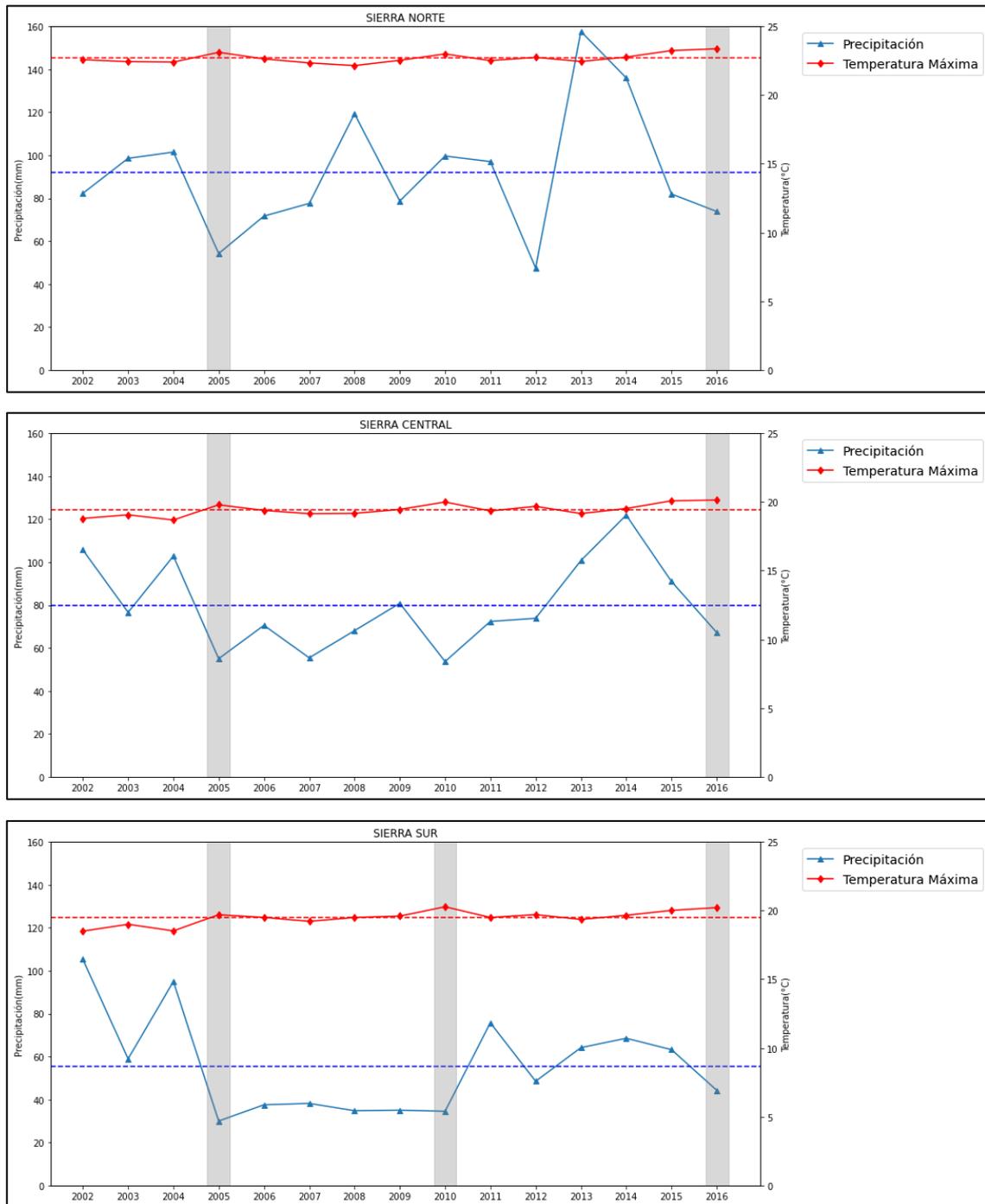
**Figura 6.** Diagrama de Cajas de la evolución mensual de los valores de elevación de incendios forestales en las regiones Selva Norte, Selva Central y Selva Sur.

Considerando el análisis del periodo 2002-2018, se registró un incremento de la ocurrencia de incendios forestales mayor al 100% respecto a la media en las regiones de la Sierra Norte y la Sierra Central durante los años 2005 y 2016. En la región de la Sierra Sur, este aumento significativo se identificó en los años 2005, 2010 y 2016. Además, en la región de la Selva Norte, la severidad en la frecuencia de eventos se presentó en el 2016; en la Selva Central, durante los años 2005 y 2016; y en la Selva Sur, en 2005, 2006 y 2010.

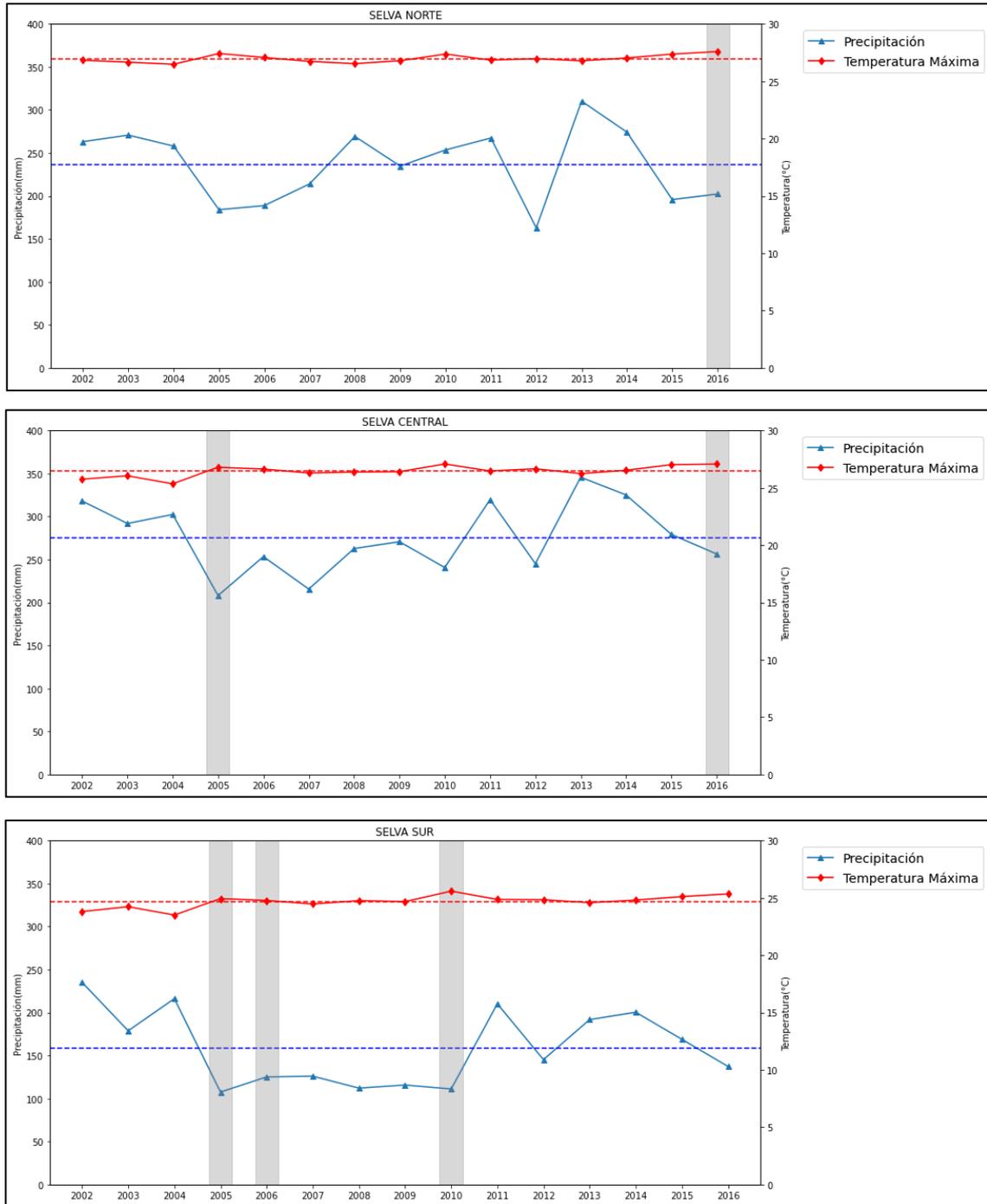
En cuanto a la distribución mensual de los incendios forestales a lo largo de los intervalos altitudinales en las regiones prioritarias. En la Sierra Norte, se nota un aumento en los incendios forestales a partir de agosto. Durante agosto y septiembre, más del 50% de los incendios se originan en elevaciones por encima de los 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Posteriormente, entre octubre y diciembre, el 75% de los incendios ocurren en altitudes mayores a los 1500 msnm, siendo noviembre el mes con la mayor densidad de eventos registrados. Asimismo, tanto en la Sierra Central como en la Sierra Sur, el aumento de incendios se manifiesta desde julio hasta finales de año. En estas regiones, el 50% de los incendios ocurren por encima de los 3500 msnm. Los incendios aumentan gradualmente desde julio hasta septiembre, y entre octubre y diciembre el número de incendios comienza a disminuir. En la Selva Norte, el incremento de incendios se da a partir del mes agosto, desarrollándose principalmente entre las cotas 500 a 2500 msnm. Asimismo, en Selva Central y Selva Sur, el aumento de incendios se observa desde julio, desarrollándose principalmente entre las cotas de 500 a 2500 msnm.

#### **4.2. Análisis de variables de precipitación y temperatura.**

Se obtuvieron los datos mensuales de precipitación y temperatura máxima por punto de incendio forestal y se generaron series temporales promedio de precipitación (PISCOp) y temperatura máxima (PISCOt), por región priorizado para el periodo de análisis del 2002 al 2016. Se calculó la precipitación (mm) y temperatura máxima promedio (°C) durante la temporada de estiaje (mayo-setiembre) para estimar el comportamiento de las condiciones climáticas medias durante los años donde se registraron el mayor número de eventos de incendio forestal en estas regiones, Figura 7 y Figura 8.



**Figura 7.** Precipitación (mm) y temperatura máxima promedio (°C) durante la temporada de estiaje (mayo -setiembre) en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur.



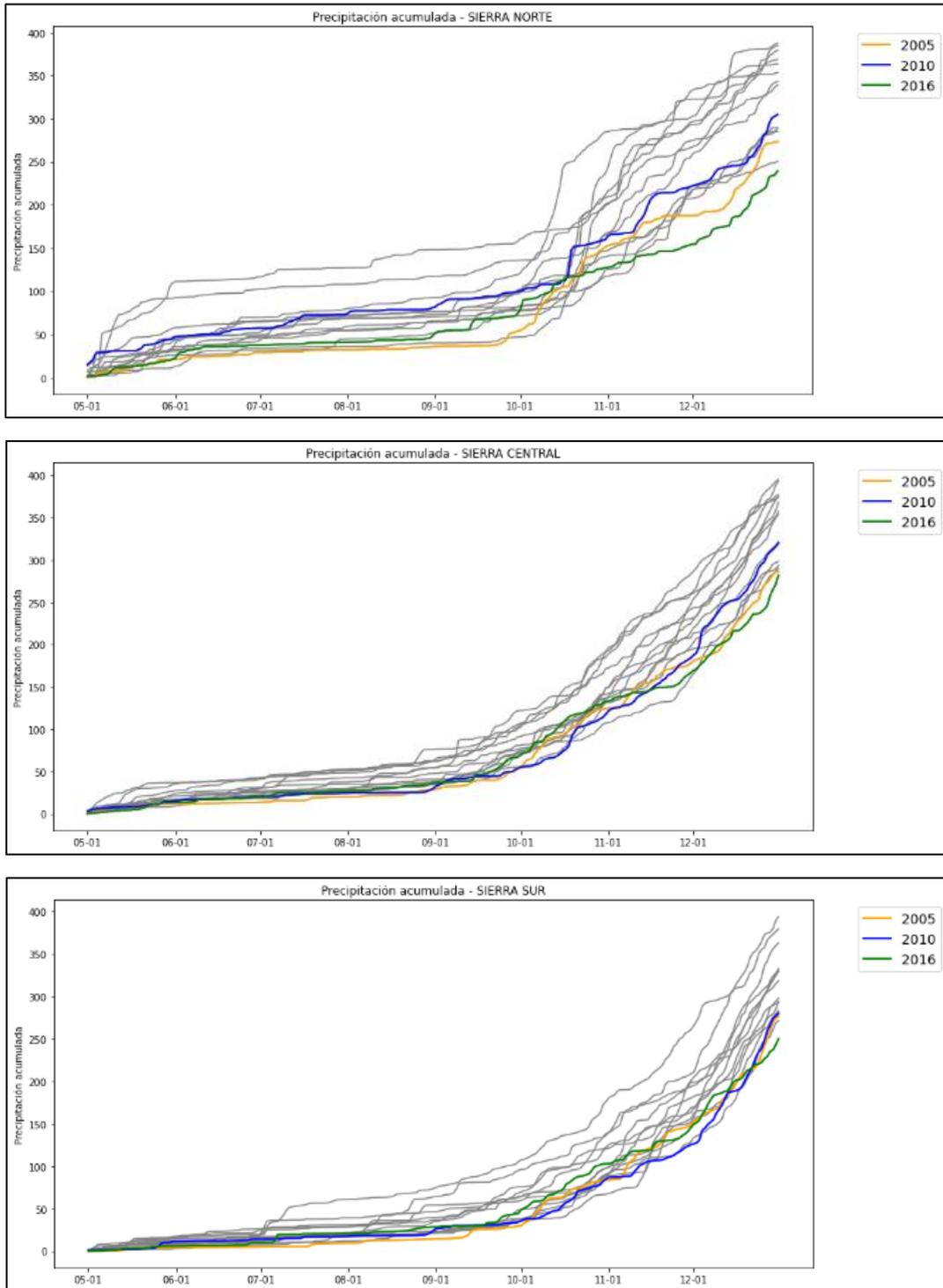
**Figura 8.** Precipitación (mm) y temperatura máxima promedio (°C) durante la temporada de estiaje (mayo -setiembre) en Selva Norte, Selva Central y Selva Sur.

En todas las regiones, durante los años identificados de incremento severo de incendios, se observó una tendencia a la baja en la precipitación y un aumento en las temperaturas máximas. A pesar de estas condiciones, la relación entre estos factores y la incidencia de incendios no está completamente clara. Por ejemplo, en la Sierra Norte durante los años 2012 y 2015, en la Sierra Central en 2010, y en la Sierra Sur en 2012, a pesar de presentar condiciones climáticas similares, no se registró un aumento significativo en la incidencia de incendios forestales. Lo mismo ocurrió en la Selva Norte en los años 2005, 2006, 2012 y 2015, así como en la Selva Central en 2006 y 2010, y en la Selva Sur en 2012 y 2016. Estos ejemplos sugieren que otros factores, como las quemadas agropecuarias, podrían influir en la ocurrencia de incendios. Sin embargo, también indican que parámetros climáticos derivados de la precipitación y la temperatura máxima podrían ser útiles para prever aumentos severos en la incidencia de incendios forestales ante una disminución generalizada de la humedad.

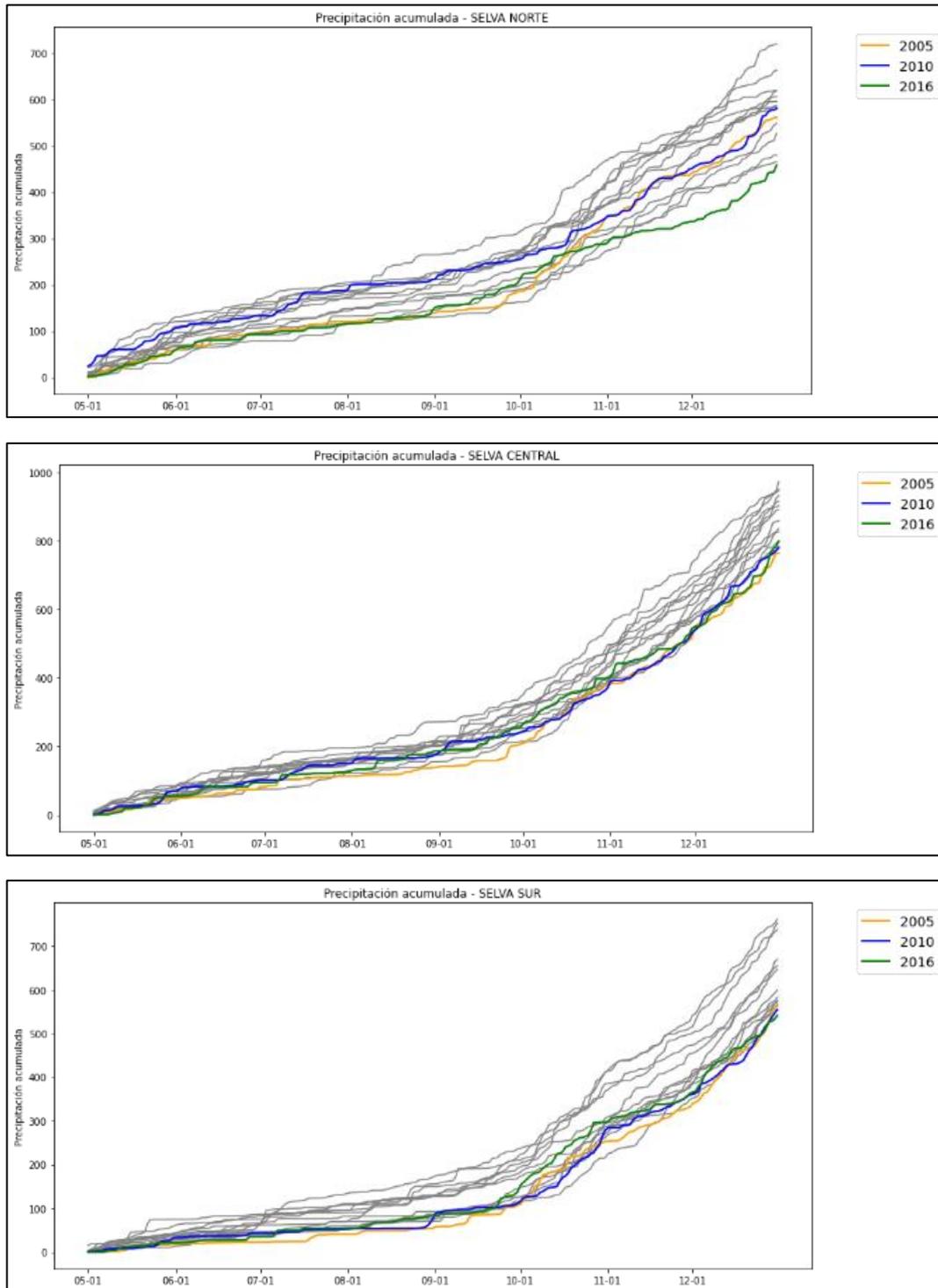
#### **4.3. Análisis de parámetro climáticos.**

Se obtuvieron los datos diarios de precipitación y temperatura máxima por punto de incendio forestal y se generaron series temporales promedio de precipitación (PISCOp) y temperatura máxima (PISCOt), por región priorizada para el periodo de análisis del 2002 al 2016. Se generaron series temporales de frecuencias acumulativas de los parámetros climáticos precipitación acumulada (mm), frecuencia de días secos (días) y frecuencia de días cálidos (días) desde el inicio de la temporada de estiaje (mayo) hasta final de año para analizar su evolución durante los años extremos 2005, 2010 y 2016, ver figuras del 9 al 14.

En la Sierra Norte y Selva Norte, la precipitación acumulada entre 2005 y 2016 se mantuvo cercana a los mínimos hasta septiembre, con una recuperación en octubre seguida de un descenso. En 2010, se mantuvo cerca del promedio hasta finales de octubre, disminuyendo después. Por otro lado, en la Sierra Central y Sur, así como en la Selva Central y Sur, durante los años 2005, 2010 y 2016, la evolución fue similar: entre mayo y septiembre, las precipitaciones estuvieron cerca de los mínimos, con un leve aumento en octubre-noviembre y luego valores cercanos a los mínimos hasta diciembre, ver Figura 9 y Figura 10

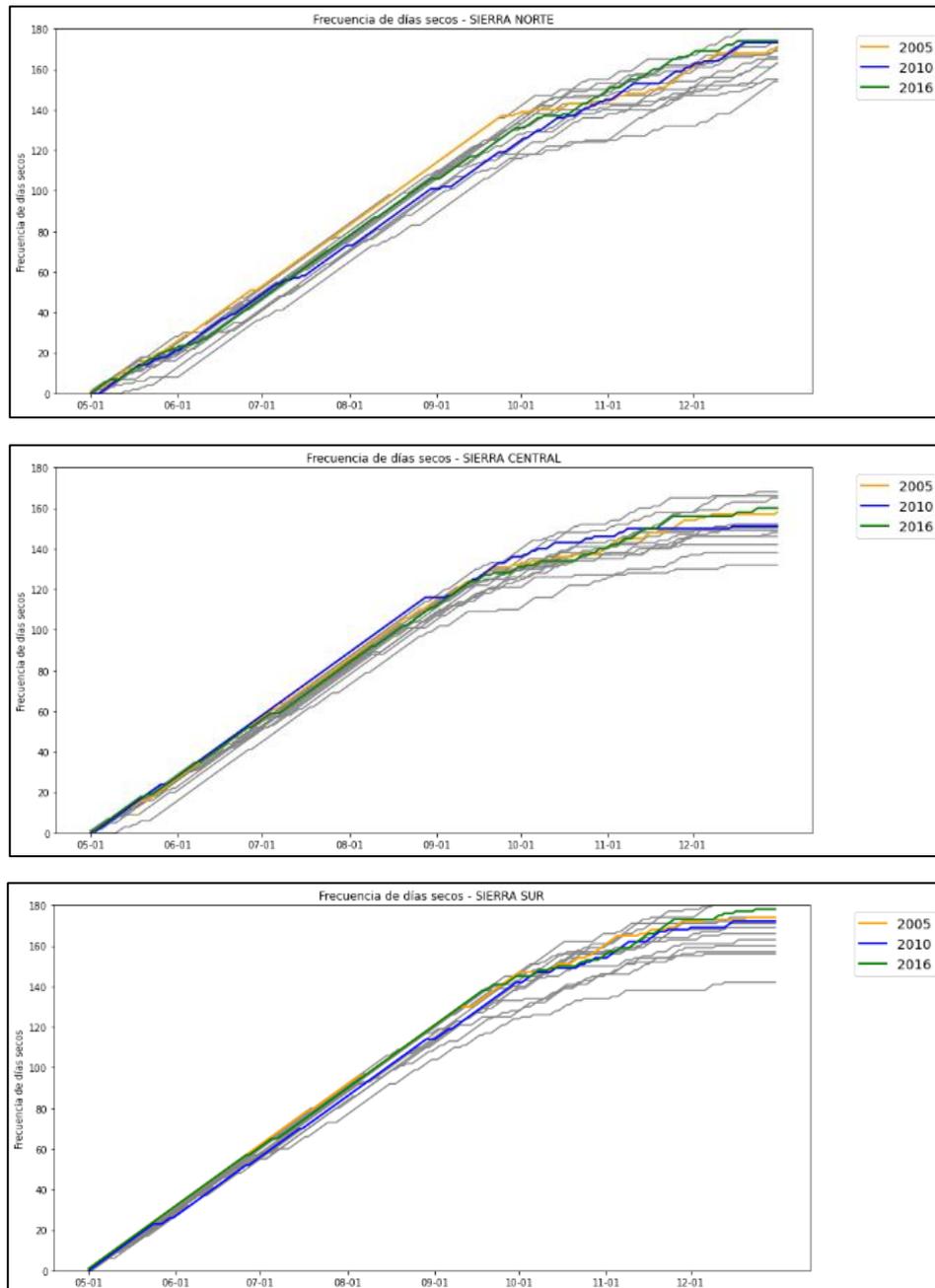


**Figura 9.** Precipitación acumulada (mm) de mayo a diciembre en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur.

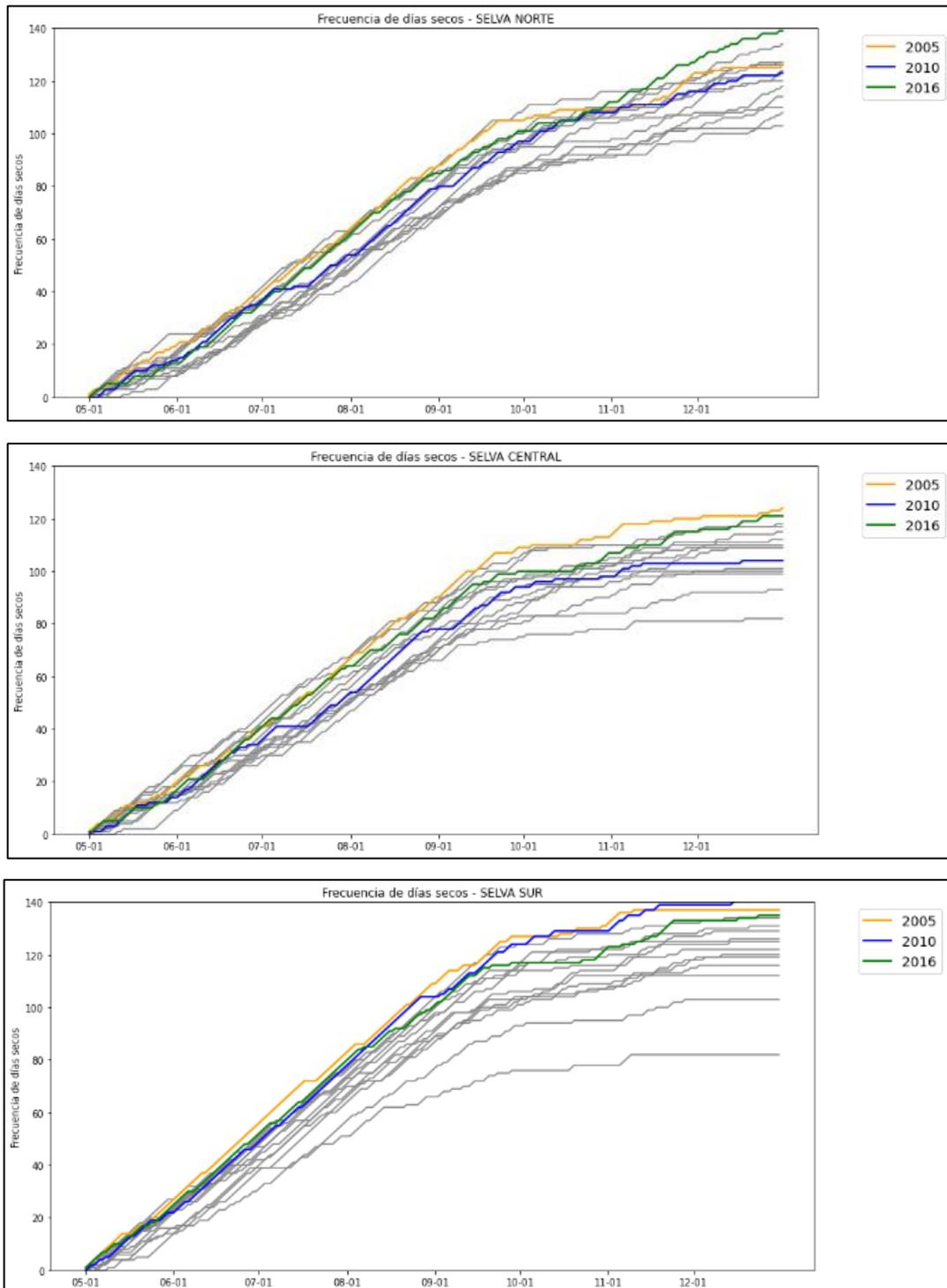


**Figura 10.** Precipitación acumulada (mm) de mayo a diciembre en Selva Norte, Selva Central y Selva Sur

La frecuencia acumulada de días secos durante los años 2005, 2010 y 2016 mostró un aumento constante durante todo el año, superando el promedio, con un notorio incremento en noviembre. Este patrón similar se observa en los mismos años en todas las regiones, con una frecuencia de días secos por encima del promedio que persiste hasta finales de noviembre, marcando el final del período de incendios en cada área, ver Figura 11 y Figura 12



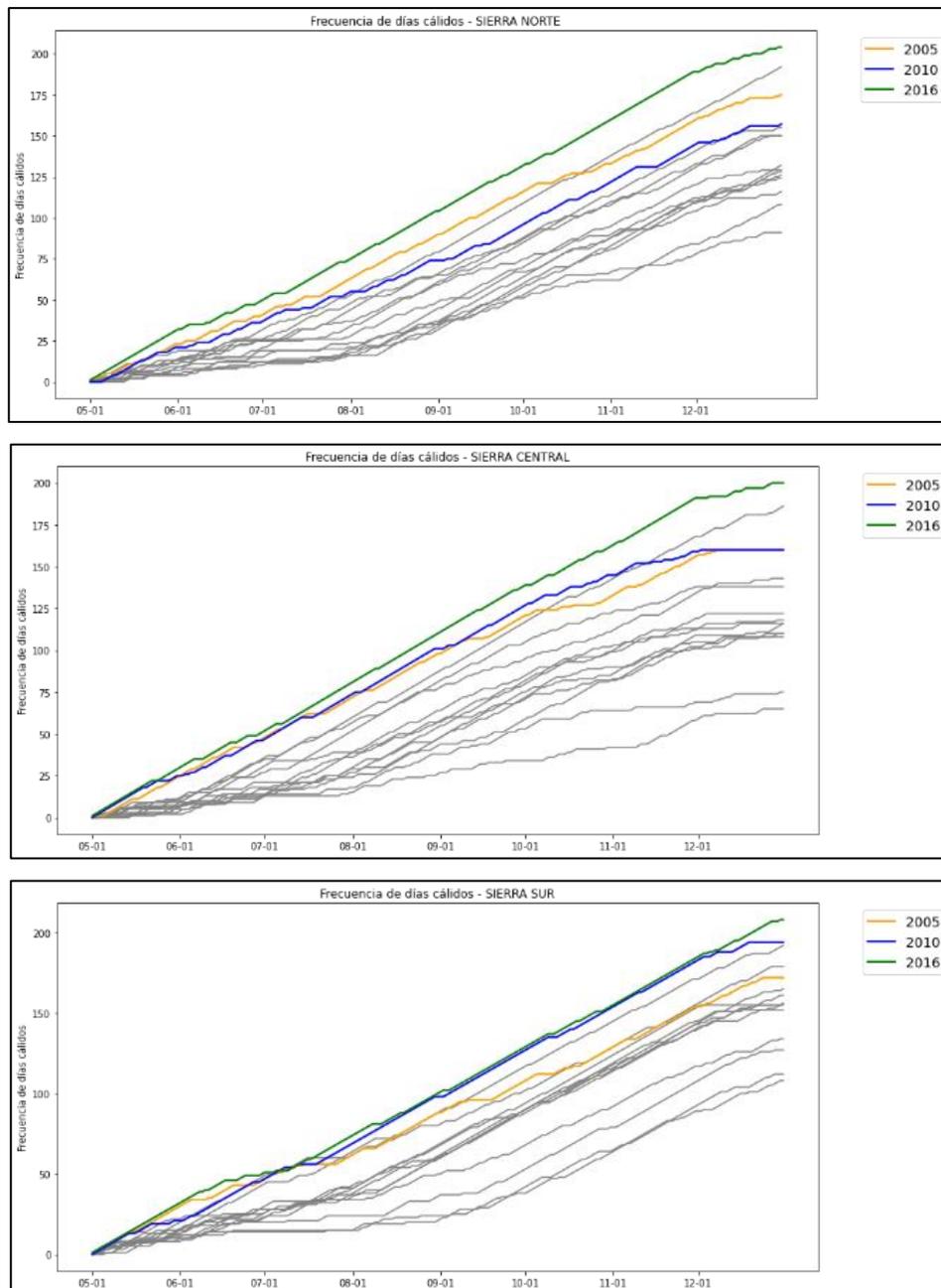
**Figura 11.** Frecuencia acumulada de días secos (días) de mayo a diciembre en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur.



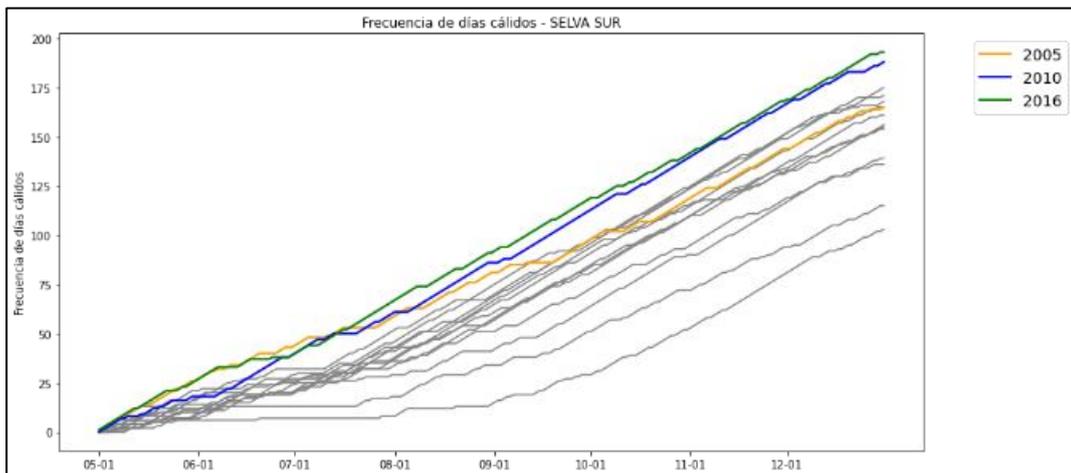
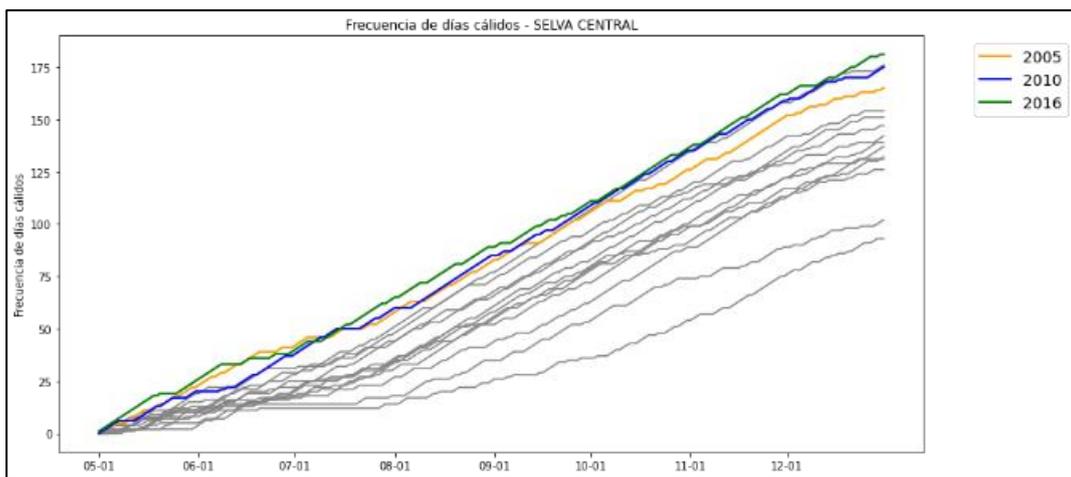
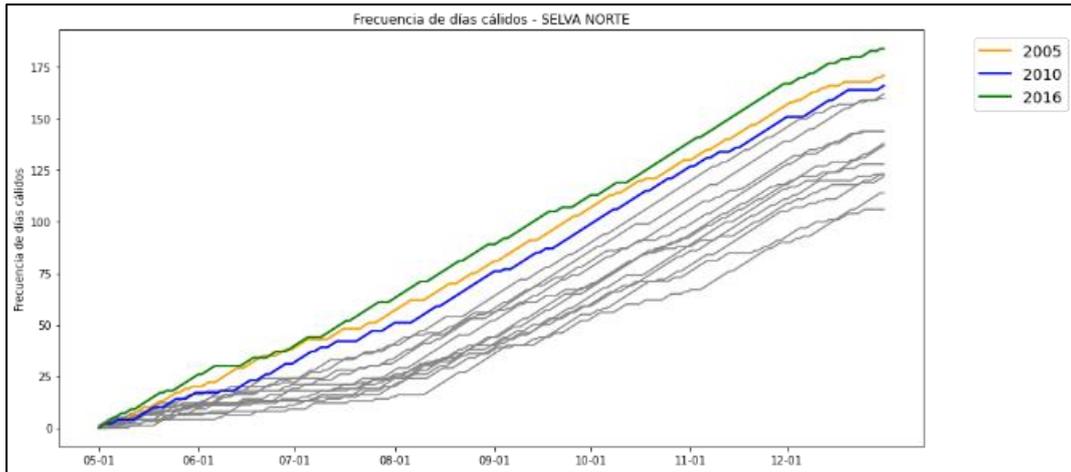
**Figura 12.** Frecuencia acumulada de días secos (días) de mayo a diciembre en Selva Norte, Selva Central y Selva Sur.

En la Sierra Norte, la frecuencia de días cálidos mostró un incremento constante por encima del promedio desde mayo hasta finales de año en 2005 y 2010. En 2016, alcanzó máximos históricos. En la Sierra Central y Sur, aunque en 2005 hubo valores superiores al promedio desde el inicio de la temporada de estiaje, el aumento fue menos pronunciado que en 2010 y 2016, años con frecuencias de días cálidos superó los máximos habituales. En las regiones

de Selva Norte, Selva Central y Selva Sur, se notó un comportamiento similar, aunque las frecuencias acumuladas en los años 2005, 2010 y 2016 no exhibieron una diferencia tan marcada en sus valores, Figura 13 y Figura 14.



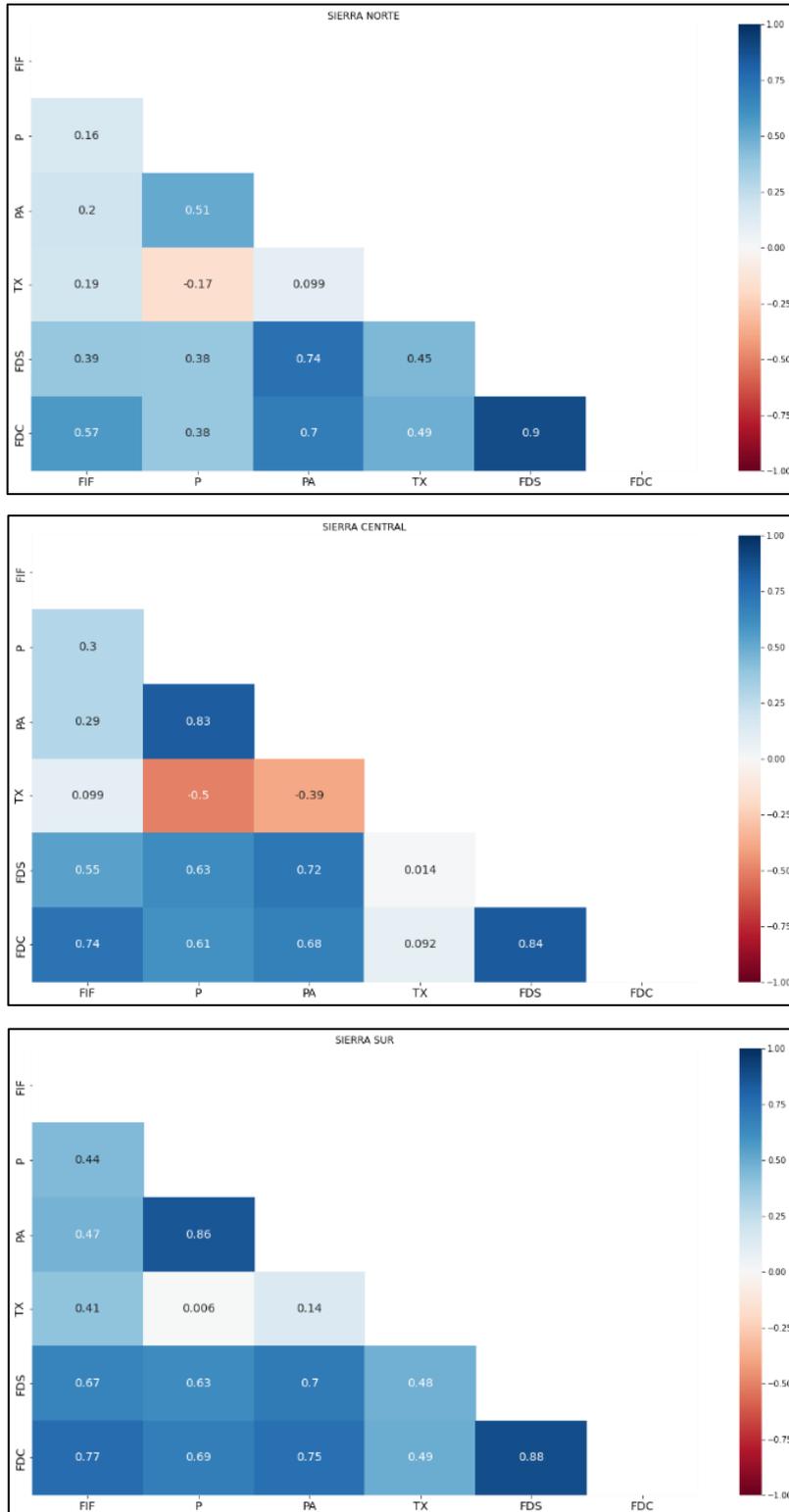
**Figura 13.** Frecuencia acumulada de días cálidos (días) de mayo a diciembre en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur.



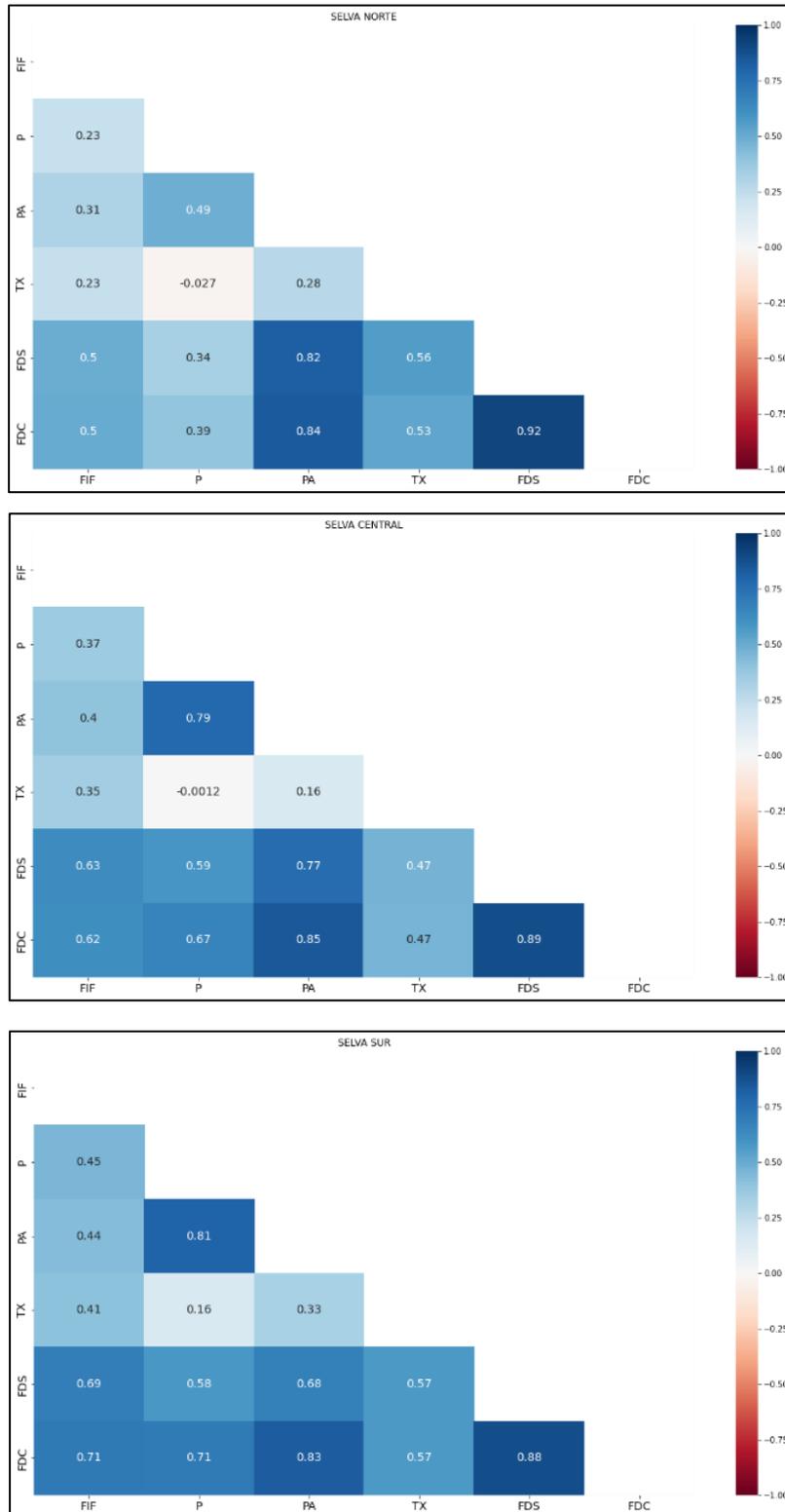
**Figura 14.** Frecuencia acumulada de días cálidos (días) de mayo a diciembre en Selva Norte, Selva Central y Selva Sur.

#### **4.4. Correlación de variables climáticas y parámetros climáticos con la frecuencia acumulada de incendios forestales.**

Se construyeron matrices de correlación de tipo Pearson para el periodo (mayo-diciembre), con el fin de analizar la relación existente entre la precipitación (P), temperatura máxima (TX), precipitación acumulada (PA), frecuencia acumulada de días secos (FDS), frecuencia acumulada de días cálidos (FDC) y frecuencia acumulada de incendios forestales (FIF), y determinar cuáles serían los más adecuados para implementar en el monitoreo de condiciones favorables a la ocurrencia de incendios forestales en las regiones priorizadas, Figura 15 y Figura 16.



**Figura 15.** Coeficiente de correlación entre temperatura máxima (TX), precipitación (P), precipitación acumulada (PA), frecuencia de días secos (FDS), frecuencia de días cálidos (FDC) y frecuencia de incendios forestales (FIF) para el periodo mayo- diciembre durante 2002-2016 en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur.



**Figura 16.** Coeficiente de correlación entre temperatura máxima (TX), precipitación (P), precipitación acumulada (PA), frecuencia de días secos (FDS), frecuencia de días cálidos (FDC) y frecuencia de incendios forestales (FIF) para el periodo mayo-diciembre durante 2002-2016 en Selva Norte, Selva Central y Selva Sur.

En la Sierra Norte, se observa una correlación positiva moderada entre la FIF y los parámetros climáticos FDS ( $r=0.39$ ) y FDC ( $r=0.57$ ), mientras que se registra una correlación positiva débil con la PA ( $r=0.2$ ). Por otro lado, en la Sierra Central, la FIF presenta una correlación positiva fuerte con la FDC ( $r=0.74$ ), y moderada con la FDS ( $r=0.54$ ), aunque se observan correlaciones positivas débiles con la PA ( $r=0.29$ ). Asimismo, en la Sierra Sur, se evidencian correlaciones positivas fuertes entre la FIF y los parámetros climáticos FDS ( $r=0.67$ ) y FDC ( $r=0.77$ ), mientras que la correlación con la PA es moderada ( $r=0.47$ ). En contraste con las correlaciones moderadas y fuertes observadas entre los parámetros climáticos y la mayoría de las regiones, resaltan las correlaciones débiles entre la FIF y la precipitación acumulada en la Sierra Norte ( $r=0.2$ ) y la Sierra Central ( $r=0.29$ ).

En la Selva Norte, se evidencia una correlación positiva moderada tanto entre la FIF y los parámetros climáticos FDS ( $r=0.5$ ) como FDC ( $r=0.5$ ), al igual que con la PA ( $r=0.31$ ). Por su parte, en la Selva Central, la FIF presenta una correlación positiva fuerte tanto con la FDC ( $r=0.62$ ) como con la FDS ( $r=0.63$ ), mientras que la correlación con la PA es moderada ( $r=0.4$ ). Por último, en la Selva Sur, se destacan correlaciones positivas fuertes entre la FIF y los parámetros climáticos FDS ( $r=0.69$ ) y FDC ( $r=0.71$ ), con una correlación moderada con la PA ( $r=0.44$ ). Estas relaciones, que varían de moderadas a fuertes, sugieren una influencia significativa de los parámetros climáticos en la ocurrencia de incendios forestales en las regiones de Selva.

#### **4.5. Identificación de umbrales**

Se calcularon los umbrales para los parámetros climáticos, incluyendo precipitación acumulada (PA), frecuencia acumulada de días secos (FDS) y frecuencia acumulada de días cálidos (FDC), tomando mayo como inicio de la temporada de estiaje y julio como el mes de inicio de la temporada de incendios forestales, tanto durante años con ocurrencia promedio como durante años con alta ocurrencia. Los valores de ocurrencia promedio se derivaron del promedio de los años normales, mientras que los valores de alta ocurrencia se basaron en el promedio de los años identificados como extremos (2005, 2010, 2016). Ver Tabla 2.

**Tabla 2:** Umbrales de precipitación acumulada (PA), frecuencia acumulada de días secos (FDS) y frecuencia acumulada de días cálidos (FDC) para el inicio de la temporada de incendios forestales en julio por región.

		PA (mm)	FDS (días)	FDC(días)
SIERRA NORTE	Ocurrencia promedio	60	46	21
	Alta ocurrencia	33	49	44
SIERRA CENTRAL	Ocurrencia promedio	29	52	23
	Alta ocurrencia	17	56	49
SIERRA SUR	Ocurrencia promedio	16	57	27
	Alta ocurrencia	10	59	47
SELVA NORTE	Ocurrencia promedio	123	33	20
	Alta ocurrencia	94	35	39
SELVA CENTRAL	Ocurrencia promedio	119	35	22
	Alta ocurrencia	88	40	40
SELVA SUR	Ocurrencia promedio	60	43	23
	Alta ocurrencia	38	50	34

Durante el período de mayo a julio:

**Sierra Norte:**

Precipitación acumulada (PA):

- Ocurrencia promedio: Se prevé un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la precipitación acumulada durante este intervalo cae por debajo del umbral de 60 mm.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la precipitación acumulada cae por debajo del umbral de 33 mm.

Frecuencia acumulada de días secos (FDS):

- Ocurrencia promedio: Se estima un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 46 días durante este intervalo.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 49 días.

Frecuencia acumulada de días cálidos (FDC):

- Ocurrencia promedio: Se anticipa un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días cálidos excede los 21 días durante el mismo período.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días cálidos excede los 44 días.

### **Sierra Central:**

Precipitación acumulada (PA):

- Ocurrencia promedio: Se prevé un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la precipitación acumulada durante este intervalo cae por debajo del umbral de 29 mm.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la precipitación acumulada cae por debajo del umbral de 17 mm.

Frecuencia acumulada de días secos (FDS):

- Ocurrencia promedio: Se estima un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 52 días durante este intervalo.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 56 días.

Frecuencia acumulada de días cálidos (FDC):

- Ocurrencia promedio: Se anticipa un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días cálidos excede los 23 días durante el mismo período.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días cálidos excede los 49 días.

## **Sierra Sur:**

### Precipitación acumulada (PA):

- Ocurrencia promedio: Se prevé un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la precipitación acumulada durante este intervalo cae por debajo del umbral de 16 mm.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la precipitación acumulada cae por debajo del umbral de 10 mm.

### Frecuencia acumulada de días secos (FDS):

- Ocurrencia promedio: Se estima un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 57 días durante este intervalo.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 59 días.

### Frecuencia acumulada de días cálidos (FDC):

- Ocurrencia promedio: Se anticipa un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días cálidos excede los 27 días durante el mismo período.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días cálidos excede los 47 días.

## **Selva Norte:**

### Precipitación acumulada (PA):

- Ocurrencia promedio: Se prevé un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la precipitación acumulada durante este intervalo cae por debajo del umbral de 123 mm.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la precipitación acumulada cae por debajo del umbral de 94 mm.

### Frecuencia acumulada de días secos (FDS):

- Ocurrencia promedio: Se estima un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 33 días durante este

intervalo.

- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 35 días.

Frecuencia acumulada de días cálidos (FDC):

- Ocurrencia promedio: Se anticipa un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días cálidos excede los 20 días durante el mismo período.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días cálidos excede los 39 días.

### **Selva Central:**

Precipitación acumulada (PA):

- Ocurrencia promedio: Se prevé un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la precipitación acumulada durante este intervalo cae por debajo del umbral de 119 mm.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la precipitación acumulada cae por debajo del umbral de 88 mm.

Frecuencia acumulada de días secos (FDS):

- Ocurrencia promedio: Se estima un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 35 días durante este intervalo.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 40 días.

Frecuencia acumulada de días cálidos (FDC):

- Ocurrencia promedio: Se anticipa un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días cálidos excede los 22 días durante el mismo período.
- Alta ocurrencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días cálidos excede los 40 días.

## **Selva Sur:**

### Precipitación acumulada (PA):

- Ocurriencia promedio: Se prevé un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la precipitación acumulada durante este intervalo cae por debajo del umbral de 60 mm.
- Alta ocurriencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la precipitación acumulada cae por debajo del umbral de 38 mm.

### Frecuencia acumulada de días secos (FDS):

- Ocurriencia promedio: Se estima un incremento por encima del promedio en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 43 días durante este intervalo.
- Alta ocurriencia: Se anticipa un incremento severo en la temporada de incendios si la frecuencia acumulada de días secos supera los 50 días.

## V. CONCLUSIONES

- Se observó un significativo aumento en los incendios forestales en Perú, especialmente en 2005, 2010 y 2016. El patrón común de inicio de temporada en julio y agosto, extendiéndose hasta fin de año, se observó en todas las regiones. Destacan correlaciones moderadas a fuertes entre la frecuencia de incendios y los parámetros climáticos, aunque en algunas áreas se registraron correlaciones más débiles en la precipitación acumulada.
- Durante el periodo 2002-2018, se notó un incremento significativo en la ocurrencia de incendios forestales en varias regiones de Perú, destacando los años críticos de 2005, 2010 y 2016 con incrementos importantes en la frecuencia de eventos.
- En todas las regiones analizadas, se observa un patrón consistente en el aumento de incendios forestales desde julio y agosto hasta finales de año. En la Sierra Norte, el incremento se da desde agosto, concentrándose principalmente en elevaciones superiores a los 3000 metros sobre el nivel del mar durante agosto y septiembre, y por encima de los 1500 msnm entre octubre y diciembre. En la Sierra Central y Sur, el aumento se manifiesta desde julio, principalmente por encima de los 3500 msnm durante este periodo. En la Selva Norte, el incremento también se registra desde agosto, desarrollándose principalmente entre las cotas de 500 a 2500 msnm. Del mismo modo, en la Selva Central y Sur, se observa un aumento desde julio, concentrándose entre las cotas de 500 a 2500 msnm.
- En todas las regiones analizadas, se observa una tendencia hacia correlaciones moderadas y fuertes entre la frecuencia acumulada de incendios forestales (FIF) y los parámetros climáticos. Sin embargo, se registraron correlaciones débiles específicamente en la Sierra Norte y Sierra Central con la precipitación acumulada.
- Se proponen umbrales por sector para el inicio de la temporada de incendios forestales en julio, así como el monitoreo de la evolución de los parámetros climáticos desde el inicio de la temporada seca en mayo, con el fin de estimar incrementos severos en la ocurrencia de incendios forestales debido a una persistente disminución de las precipitaciones, incremento de días secos y aumento de días cálidos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Implementar el monitoreo de la evolución de los parámetros climáticos frecuencia acumulada de días secos, frecuencia acumulada de días cálidos y precipitación acumulada desde el inicio de la temporada seca (mayo), y de umbrales para el inicio de la temporada de incendios forestales (julio) a fin de estimar incrementos severos de ocurrencia de incendios forestales debido a una persistente disminución de las precipitaciones, incremento de días secos e incremento de días cálidos.
- Considerando la variabilidad de los patrones climáticos y orográficos, se recomienda una futura evaluación definiendo días secos y días cálidos mediante el método de distribución por deciles de precipitación y temperatura máxima a una escala diaria y para un mes específico durante el periodo 2002-2016.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2020). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65, 770-785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Espinoza, J. C., Segura, H., Ronchail, J., Drapeau, G., & Gutierrez, O. (2016). Evolution of wet- and dry-day frequency in the western Amazon basin: Relationship with the atmospheric circulation and impacts on the vegetation. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1002/2016WR019305>.
- Huerta, A., Aybar, C., & Lavado-Casimiro, W. (2018). PISCO temperatura v. 1.1. SENAMHI-DHI. (Lima, Peru).
- Jarvis, A., Guevara, E., Reuter, H. I., & Nelson, A. D. (2008). Hole-filled SRTM for the globe: version 4: data grid. Hole-filled SRTM for the globe: version 4: data grid. CGIAR Consortium for Spatial Information.
- Manta, M.I. (2007). Evaluación de las causas naturales y socioeconómicas de los incendios forestales en América del Sur. Cuarta Conferencia Mundial de Incendios Forestales. Ed. por Johann Goldammer. 17 p. Sevilla, del 11-14 de mayo
- Manta, M.I. (2017). Contribución al conocimiento de la prevención de los incendios forestales en la sierra peruana, Lima, Perú. Fondo editorial: UNALM
- Manta, M.I. & León, H. (2004). Los incendios forestales en el Perú: grave problema por resolver. *Floresta*, 34(2): 2-9.
- SENAMHI (2016). Ciclos horarios de precipitación en el Perú utilizando información satelital. Lima, Perú
- SENAMHI (2018). Estudio de las condiciones atmosféricas favorables a los incendios forestales en el Perú, Lima, Perú.
- SENAMHI (2019). “Escenario probabilístico de lluvias para el verano 2020”. Informe Técnico N°013-2019/SENAMHI-DMA-SPC.

SERFOR. (2018). Plan de prevención y reducción de riesgos de incendios forestales, Periodo 2019 – 2022.

USAID, USDA. (2015). Reporte de Evaluación del Manejo de Incendios Forestales en el Perú.