

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**

FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“INFLUENCIA DE INCENDIOS FORESTALES EN LA
CONCENTRACIÓN DE CARBONO NEGRO EN LOS GLACIARES
YANAPACCHA Y SHALLAP DE LA CORDILLERA BLANCA,
DURANTE EL PERIODO 2014 – 2018”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Br. RICHERT DIEGO CHAVEZ COLONIA

ASESORES:

Ing. RICARDO RAY VILLANUEVA RAMÍREZ

Ing. WILMER ESTEBAN SÁNCHEZ RODRÍGUEZ

Huaraz - Ancash – Perú

2023





"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los miembros del Jurado Evaluador de Tesis, en pleno que suscriben, reunidos el día uno de junio del dos mil veintitrés, en el Auditorium de la Facultad de Ciencias del Ambiente (FCAM) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), de conformidad a la normatividad vigente condujeron el acto académico público de sustentación y defensa de la tesis "**INFLUENCIA DE INCENDIOS FORESTALES EN LA CONCENTRACION DE CARBONO NEGRO EN LOS GLACIARES YANAPACCHA Y SHALLAP DE LA CORDILLERA BLANCA, DURANTE EL PERIODO 2014 - 2018**" que presentó **RICHERT DIEGO CHAVEZ COLONIA** para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Después de haber atendido la sustentación y defensa oral, y haber escuchado las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

..APROBADO.....

Con el calificativo de: *..BUENOS..... (15..)*

En consecuencia, **RICHERT DIEGO CHAVEZ COLONIA**, queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° y 4ta. disposición complementaria del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM), el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 01 de junio 2023

Dr. PRUDENCIO CELSO HIDALGO CAMARENA
Presidente
Jurado de sustentación

Dr. JERONIMO VICTOR MANRIQUE
Primer miembro
Jurado de sustentación

M.Sc. YRMA SOLEDAD MINAYA SALINAS
Segundo miembro
Jurado de sustentación

M.Sc. RICARDO RAY VILLANUEVA RAMIREZ
Asesor de tesista

Ing. WILMER ESTEBAN SANCHEZ RODRIGUEZ
Asesor Externo de tesista



Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM
ANEXO 1
INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

Presentado por: _____

con DNI N°: _____

para optar el Título Profesional de: _____

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11 ° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).

Porcentaje		Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda <input checked="" type="radio"/>
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado		
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz,



FIRMA

Apellidos y Nombres: _____

DNI N°: _____

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

INFORME DE TESIS - Richert FINAL.docx

AUTOR

Richert

RECUENTO DE PALABRAS

16207 Words

RECUENTO DE CARACTERES

87392 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

115 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

18.9MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 13, 2023 10:29 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 13, 2023 10:31 AM GMT-5**● 15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

DEDICATORIA

A Jorge, mi padre, por siempre estar conmigo e inculcarme valores para siempre seguir adelante y alcanzar cada uno de mis metas.

A Yolanda, mi madre, por brindarme el apoyo y amor incondicional.

A Jorge, mi hermano, por ser un ejemplo de vida y guiar mis pasos desde pequeño.

A Margot, mi esposa, por su compañía, apoyo y amor que me impulsan a seguir adelante.

A Antonio, mi hijo, por siempre sacarme una sonrisa con sus ocurrencias.

Richert Diego Chavez Colonia

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Ricardo R. Villanueva y al Ing. Wilmer E. Sánchez Rodríguez por el asesoramiento, por el tiempo brindado, apoyo y consejos brindados durante el proceso de investigación.

A mis compañeros de aula de la UNASAM que me ayudaron e impulsaron a seguir.

A Margot, por su compromiso, apoyo incondicional y sobre todo por impulsarme siempre a seguir adelante y culminar este trabajo de investigación.

RESUMEN

Los glaciares son reservas de agua y de vital importancia para el desarrollo de las actividades antropogénicas, sin embargo, están siendo dañados y contaminados por distintos factores que está causando la pérdida de este recurso; dentro de ello tenemos a las partículas de carbono negro que están siendo trasladados y depositados en los glaciares por acción principalmente de los vientos, provocando una aceleración en la fusión a causa de la radiación solar.

Las fuentes de emisión de estas partículas provienen de la quema de biomasa, parque automotor, procesos industrias y generación de energía, y la quema de biomasa se destaca por ser la mayor fuente de emisión de carbono negro a causa de los incendios forestales producto de actividades antrópicas y muy pocas veces naturales. (Bond, 2017)

En la presente investigación se tomó como base a los incendios forestales ocurridos a nivel regional, nacional y continental; como emisores de carbono negro entre el periodo de septiembre del 2014 hasta diciembre del 2018 para investigar como estos fenómenos guardan relación en la concentración del carbono negro encontrado en los glaciares de Yanapaccha y Shallap.

Utilizando métodos estadísticos tanto gráficos como analíticos se estudió la correlación de ambos fenómenos, también se hizo la interpretación grafica mediante mapas que nos ayudaron a comprender dicha relación entre carbono negro e incendios forestales detectados por el sensor VIIRS / Suomi NPP mediante focos de calor.

Los resultados evidenciaron que hay mayor correlación entre la cantidad incendios forestales ocurridos a menor distancia con respecto a los glaciares Yanapaccha y Shallap, así también influye la densidad y la dirección en la cual se ubicaron los incendios vistos desde los puntos donde se recogieron los datos de concentración de CN; se hace esta afirmación ya que se encontraron índices de correlación más elevada con los incendios forestales ocurridos a nivel regional.

Palabras clave: Carbono negro, incendios forestales, focos de calor, glaciares, correlación.

ABSTRACT

Glaciers are water reserves and of vital importance for the development of anthropogenic activities, however, they are being damaged and contaminated by different factors that are causing the loss of this resource; within this we have the black carbon particles that are being transferred and deposited in the glaciers mainly by the action of winds, causing an acceleration in the melting due to solar radiation.

The emission sources of these particles come from the burning of biomass, automotive fleet, industrial processes and power generation mainly, and the burning of biomass stands out for being the largest source of black carbon emissions due to forest fires resulting from anthropogenic activities and very rarely natural. (Bond, 2017)

In the present research, forest fires occurred at regional, national and continental level were taken as a basis; as emitters of black carbon between the period from September 2014 to December 2018 to investigate how these phenomena are related to the concentration of black carbon found in the Yanapaccha and Shallap glaciers.

Using both graphical and analytical statistical methods, the correlation of both phenomena was studied, also the graphical interpretation was made using maps that helped us to understand the relationship between black carbon and forest fires detected by the VIIRS / Suomi NPP sensor through hot spots.

The results showed that there is a greater correlation between the number of forest fires occurring at a shorter distance with respect to the Yanapaccha and Shallap glaciers, and also influenced by the density and direction in which the fires were located as seen from the points where the CN concentration data were collected; this statement is made since higher correlation indexes were found with forest fires occurring at the regional level.

Keywords: Black carbon, forest fires, hot spots, glaciers, correlation.

ÍNDICE

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN	i
ACTA DE SUSTRENTACIÓN	iii
INFORME DE SIMILITUD.....	iv
CONSTANCIA DE SIMILITUD	v
REPORTE DE SIMILITUD	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE	xi

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
1.2. Hipótesis	3
1.3. Variables	3
1.3.1. Variable Independiente.....	3
1.3.2. Variable Dependiente	3

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Base teórica	6
2.2.1. Incendios forestales.....	6
2.2.2. Emisión de CN producto de los incendios forestales.....	9
2.2.3. Factores que influyen en el transporte del CN hacia los glaciares ...	11
2.2.4. Concentración de CN en los glaciares.....	13
2.2.5. Efectos sobre los glaciares.....	15
2.2.6. Sensores para el monitoreo de incendios.....	16
2.2.7. Estimador de Densidad de Kernel.	19
2.2.8. Coeficientes de correlación de Spearman	21
2.3. Términos Básicos.....	22

2.3.1. Aerosoles.....	22
2.3.2. Áreas quemadas.....	22
2.3.3. Albedo	22
2.3.4. Biomasa.....	23
2.3.5. Carbono negro.....	23
2.3.6. Deposición.....	23
2.3.7. Focos de calor	23
2.3.8. Incendio forestal	23
2.3.9. Viento	23

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO	25
3.1. Tipo de investigación.....	25
3.2. Diseño de la investigación.....	25
3.3. Métodos y técnicas.....	25
3.3.1. Registro de ocurrencias de incendios.....	25
3.3.2. Densidad de incendios forestales	27
3.3.3. Método LAHM.....	28
3.4. Población	28
3.5. Muestra	28
3.5.1. Unidad de muestra	28
3.5.2. Tamaño de muestra.....	28
3.5.3. Representatividad de la muestra	29
3.5.4. Tipo de muestreo.....	29
3.6. Instrumentos validos de recolección de datos.....	29
3.7. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información.....	32

CAPITULO IV

RESULTADOS.....	37
4.1. Influencia de incendios forestales a nivel regional con la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap.....	37
4.1.1. Comparación grafica de incendios forestales y carbono negro	37
4.1.2. Prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov	39
4.1.3. Correlación de datos.....	40
4.2. Influencia de incendios forestales a nivel nacional con la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap.....	41

4.2.1.	Comparación grafica de incendios forestales y carbono negro	41
4.2.2.	Prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov	43
4.2.3.	Correlación de datos.....	44
4.3.	Influencia de incendios forestales a nivel continental con la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap.....	46
4.3.1.	Comparación grafica de incendios forestales y carbono negro	46
4.3.2.	Prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov	48
4.3.3.	Correlación de datos.....	49
4.4.	Mapas de densidad de Incendios forestales	50
4.4.1.	Mapas de los meses con el mayor índice de CN.....	50
4.4.2.	Mapas de los meses con el menor índice de CN.....	64
CAPITULO V		
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		77
CAPITULO VI		
CONCLUSIONES.....		80
CAPITULO VII		
RECOMENDACIONES.....		82
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....		83
ANEXOS		88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dinámica para la ocurrencia de incendios. (Pausas, 2012)	7
Figura 2: Distribución de las emisiones de CN en función a la fuente (Bond, 2017)	10
Figura 3: Transformación de las partículas en la atmosfera desde el punto de emisión al depósito (Bond et al., 2013)	11
Figura 4: Imagen representativo del CN bajo un microscopio electrónico (EPA, 2012)	14
Figura 5: Registro de focos de calor para Perú, para los años 2013 y 2014 (Zamora, 2016).....	19
Figura 6: Estimador de Densidad de Kernel.....	21
Figura 7: Representación teórica de un foco de calor y de cicatrización de quema asociada. (DGOTA, 2017)	26
Figura 8: Plataforma de monitoreo de quemas e incendios	30
Figura 9: Mapa de ubicación de los puntos muestreados para los glaciares Yanapaccha y Shallap.....	31
Figura 10: Regla de interpretación del coeficiente de correlación	36
Figura 11: Pantalla de ingreso a la plataforma del INPE – Brasil.....	90
Figura 12: Plataforma para descarga de datos de focos de calor	91
Figura 13: Pantalla de descarga de datos	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variación mensual de la cantidad de incendios forestales a nivel regional y la concentración de carbono negro en el glaciar Yanapaccha, septiembre 2014 – diciembre 2018	37
Gráfico 2: Variación mensual de la cantidad de Incendios forestales a nivel regional y la concentración de carbono negro en el glaciar Shallap, septiembre 2014 – diciembre 2018.....	37
Gráfico 3: Variación mensual de la cantidad de incendios forestales a nivel nacional y la concentración de carbono negro en el glaciar Yanapaccha, septiembre 2014 – diciembre 2018	42
Gráfico 4: Variación mensual de la cantidad de incendios forestales a nivel nacional y la concentración de carbono negro en el glaciar Shallap, septiembre 2014 – diciembre 2018.....	42
Gráfico 5: Variación mensual de la cantidad de incendios forestales a nivel continental y la concentración de carbono negro en el glaciar Yanapaccha, septiembre 2014 – diciembre 2018	46
Gráfico 6: Variación mensual de cantidad de incendios forestales a nivel continental y la concentración de carbono negro en el glaciar Shallap, septiembre 2014 – diciembre 2018.....	47
Gráfico 7: Meses con la mayor concentración de carbono negro durante cada año en el glaciar Yanapaccha	51
Gráfico 8: Meses con la mayor concentración de carbono negro durante cada año en el glaciar Shallap.....	51
Gráfico 9: Meses con la menor concentración de carbono negro durante cada año en el glaciar Yanapaccha	64
Gráfico 10: Meses con la menor concentración de carbono negro durante cada año en el glaciar Shallap	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Características técnicas del sensor VIIRS	17
Tabla 2: Características de las bandas del sensor VIIRS	17
Tabla 3: Procedimiento para el estimador de densidad de Kernel.....	27
Tabla 4: Cantidad de incendios forestales registrados mensualmente	32
Tabla 5: Concentración de CN mensual en los glaciares Shallap y Yanapaccha.34	
Tabla 6: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel regional.....	39
Tabla 7: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel regional	39
Tabla 8: Correlación Rho de Spearman entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel regional	40
Tabla 9: Correlación Rho de Spearman entre las variables concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel regional	41
Tabla 10: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel nacional.....	43
Tabla 11: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel nacional.....	44
Tabla 12: Correlación Rho de Spearman entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel nacional.....	45
Tabla 13: Correlación Rho de Spearman entre concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel nacional.....	45
Tabla 14: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel continental.....	48
Tabla 15: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel continental.....	48
Tabla 16: Correlación Rho de Spearman entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel continental	49
Tabla 17: Correlación Rho de Spearman entre concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel continental.....	50

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015	52
Mapa 2: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016	53
Mapa 3: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017	54
Mapa 4: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018	55
Mapa 5: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015	56
Mapa 6: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016	57
Mapa 7: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017	58
Mapa 8: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018	59
Mapa 9: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015	60
Mapa 10: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016	61

Mapa 11: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017	62
Mapa 12: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018	63
Mapa 13: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015	65
Mapa 14: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016	66
Mapa 15: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017	67
Mapa 16: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018	68
Mapa 17: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015	69
Mapa 18: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016	70
Mapa 19: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017	71
Mapa 20: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018	72
Mapa 21: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015	73

Mapa 22: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016	74
Mapa 23: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017	75
Mapa 24: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018	76



LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1: Partículas en suspensión estancadas producto de incendios forestales.....	13
Fotografía 2: Ascenso al glaciar Yanapaccha.....	94
Fotografía 3: Evidencia de presencia de CN en el glaciar Yanapaccha	94
Fotografía 4: Derretimiento del glaciar.....	95
Fotografía 5: Acumulación de sedimentos producto del derretimiento del glaciar	95
Fotografía 6: Prueba granulométrica de nieve	96
Fotografía 7: Presencia de sedimentos oscuros en los glaciares	96
Fotografía 8: Incendio forestal local en la ciudad de Huaraz 2018	98
Fotografía 9: Incendio forestal cercano al glaciar Shallap 2016.....	98
Fotografía 10: Partículas en suspensión post incendio forestal 2016	99
Fotografía 11: humareda en la quebrada LLanganuco, cercano al glaciar Yanapaccha 2016	99
Fotografía 12: Emisión de partículas, incendio dentro PNH – sector Olleros agosto 2016, cercano al Glaciar Shallap.....	100
Fotografía 13: Emisión de partículas, incendio dentro PNH – Yanama septiembre 2017, cercano al glaciar Yanapaccha	100

SIGLAS

SIGLA	DENOMINACIÓN
CN	Carbono negro
INAIGEM	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
PNH	Parque Nacional Huascarán
SERFOR	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
COER	Centro De Operaciones De Emergencia Regional
INGEMET	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
DGOTA	Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Mexico)
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brasil)
LAHM	Light Absorbing Heating Method
EPA	Environmental Protection Agency
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
EOSDIS	Earth Observing System Data and Information System
VIIRS	Visible Infrared Imager Radiometer Suite

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son los mayores emisores de carbono negro (CN) en todo el mundo, estos se pueden rastrear vía satélite mediante sensores que identifican los focos de calor causados por dichos incendios. El carbono negro está siendo depositado en los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca causando el derretimiento glaciar debido a que estos reducen el albedo permitiendo mayor absorción de radiación solar, por consiguiente, una aceleración en la fusión que da paso al retroceso glaciar.

Los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca son dos fuentes importantes de recursos hídrico, debido a proveen agua para la realización de las distintas actividades dentro de sus respectivas cuencas hidrográficas, también estas aguas aportan al caudal del río Santa y en su recorrido abastecen de recurso hídrico a parte del callejón de Huaylas hasta llegar a los valles costeros.

El presente estudio detalla el nivel de relación que existe entre la variable de incendios forestales a nivel regional, nacional y continental; con la concentración de carbono negro entre el periodo del 2014 al 2018. Los datos de trabajo se obtuvieron de fuentes confiables, el primero de incendios forestales de la plataforma del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE, acrónimo en portugués); por otro lado, los datos de concentración de carbono negro de los glaciares de Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca se obtuvieron del estudio realizado por Sánchez, (2019) y Sanchez & Schmitt, (2018).



En el trabajo de análisis de dichas variables se obtuvo resultados favorables que permiten entender el nivel de correlación de ambos fenómenos, teniendo un porcentaje mayor de correlación entre la cantidad de incendios forestales ocurridos a nivel regional con la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap debido a factores como la cercanía de ambos eventos principalmente. Por otro lado, se obtuvo menor nivel de correlación con los incendios ocurridos a nivel continental.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Estimar la influencia de la cantidad de incendios forestales en escala continental, nacional y regional; con la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha Y Shallap de la Cordillera Blanca durante el periodo 2014 – 2018.

1.1.2. Objetivos específicos

- a. Estimar la influencia de la cantidad de incendios forestales a nivel regional en la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca en el periodo 2014 – 2018.
- b. Estimar la influencia de la cantidad de incendios forestales a nivel nacional en la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca en el periodo 2014 – 2018.
- c. Estimar la influencia de la cantidad de incendios forestales a nivel continental en la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca en el periodo 2014 – 2018.
- d. Determinar la densidad de los incendios forestales utilizando mapas digitalizados.

1.2. Hipótesis

Los incendios forestales ocurridos a nivel regional poseen mayor influencia en la concentración de carbono negro debido a la cercanía de los eventos en comparación con los incendios ocurridos a nivel nacional y continental en los glaciares de Yanapaccha y Shallap de la cordillera Blanca en el periodo 2014 – 2018.

1.3. Variables

1.3.1. Variable Independiente

Los incendios forestales ocurridos a nivel Continental, Nacional y Regional.

1.3.2. Variable Dependiente

Concentración de carbono negro en los glaciares de Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La investigación tuvo como base los estudios sobre concentración de Carbono Negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca.

Sánchez, (2019) y Sanchez & Schmitt, (2018) ambos estudios determinaron que la concentración de Carbono Negro muestran altas concentraciones en ambos glaciares durante la temporada seca del 2016, con registros de 1091.75 ng/g en agosto y 1047.07 ng/g en mayo para cada glaciar, las concentraciones mínimas se registraron durante la temporada húmeda del 2015 con 3.24 ng/g en abril y 16.64 ng/g en marzo en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente.

Sanchez & Schmitt, (2018) para el año 2017 hallaron un máximo de 706.40 ng/g de CN en el mes de septiembre para el glaciar Shallap y una mínima de 0.63 ng/g de CN en el mes de marzo para el glaciar Yanapaccha, este registro mínimo se le atribuyó a las anomalías provocadas por la presencia del niño costero que provocó abundante cobertura de nieve sobre los glaciares.

En otra investigación Schmitt et al., (2015) evaluó 15 picos de la cordillera blanca la concentración de partículas absorbentes de luz entre los años 2011 al 2013, durante la estación seca (mayo – agosto). Se encontró

que las concentraciones de Carbono Negro en dichos glaciares fueron de un mínimo de 2.0 ng/g y un máximo de 80.0 ng/g en la nieve. Concluyéndose que estos valores son mayores debidos a la cercanía de los glaciares con la población y menores cuando se encuentran en lugares remotos.

En el estudio realizado en la capa de hielo en Groenlandia Kaitlin et al., (2014) encontraron que en el 2012 la masa de hielo sufrió un derretimiento generalizado de más del 97% de su superficie. Debido a las temperaturas cálidas combinadas con los sedimentos de Carbono Negro de los incendios forestales del hemisferio norte redujeron el albedo por debajo de un umbral crítico en la región de nieve seca, causando el evento de deshielo.

Rowe et al., (2019) midieron perfiles verticales de carbono negro y otras impurezas en los Andes chilenos durante los inviernos australes de 2015 y 2016, en 22 sitios entre las latitudes 18 ° S y 41 ° S. Las muestras fueron analizadas para determinar la absorción de luz visible resuelta espectralmente. Para la nieve superficial, la proporción de mezcla de masa promedio de CN fue de 15 ng/g en el norte de Chile (18° S - 33° S), 28 ng/g cerca de Santiago y 13 ng/g en el sur de Chile (33° S - 41° S). Los resultados se atribuyeron a contaminantes antropogénicos emitido durante la combustión.

En el estudio realizado sobre la distribución espacial de las emisiones de incendios forestales en el hemisferio sur en el año 2014, Pino, (2020) obtuvo que las principales fuentes de Carbono Negro son producto de la actividad antropogénica y los incendios forestales. También investigó que el Carbono Negro depositado en la Antártida provenía de los incendios forestales registrados en Australia y África entre los meses de junio y septiembre; los meses restantes era producto por la actividad humana, específicamente, por fuentes industriales, residenciales y de transporte.

Se determinó el origen de las partículas encontradas sobre el glaciar Zongo de Bolivia, Magalhães et al., (2019) encontraron que las emisiones de los incendios forestales ocurridos en la cuenca del Amazonas entre los años 2000 y 2016, fueron transportados por los vientos superando así la barrera

orográfica y llegaron a los glaciares andinos tropicales cargados de polvo y Carbono Negro; estos al depositarse en los glaciares provocaron el incremento del balance radiativo de onda corta debido al efecto albedo, esto se comprobó con los estudios realizados sobre la superficie del glaciar Zongo debido a que se intensificó el deshielo anual de $5.0 \pm 1.0\%$ a $11.7 \pm 2.0\%$. También se calculó que el carbono negro de los incendios de la Amazonía aumentó el derretimiento de los glaciares entre un 3% y 4%.

En un estudio realizado en un área de 2.8 millones de hectáreas y altitudes mayores a los 2000 m.s.n.m en las regiones de Cuzco, Ayacucho y Puno, Oliveras et al., (2014) evaluaron la dinámica de quema de biomasa en esta parte de los Andes Tropicales entre el 2000 al 2011. La dinámica de los incendios mostró una gran variabilidad intraanual e interanual, con la mayoría de los incendios ocurridos entre mayo y octubre (el período que coincide con la estación seca).

2.2. Base teórica

Se ha investigado poco el efecto del CN sobre los glaciares en la Cordillera Blanca, se sabe que las principales fuentes de emisión tienen origen en la quema de combustibles diésel, incendios forestales puntuales, quema de residuos agrícolas e industrias (Bond, 2017).

Los incendios forestales han hecho que se incremente la emisión de partículas de Carbono Negro, y parte de ello sea depositada en los glaciares.

2.2.1. Incendios forestales

“Se trata de incendios que pueden tener un origen humano o natural y propagarse por cualquier tipo de vegetación, incluida la forestal, en ecosistemas terrestres como matorrales, pastizales, turberas, pradera, etc” (Pausas, 2012)

Manta & León, (2004) Consideran incendio forestal a la quema de vegetación presente en terrenos destinados a la conservación y producción forestal. Del mismo modo, las llamas de menos de 1,5 hectáreas se consideran incendios menores.

Especialmente en relación con la dinámica de la vegetación, el ciclo biogeoquímico y la química atmosférica, los incendios forestales son un fenómeno fundamental del sistema terrestre que afecta significativamente a las condiciones terrestres y atmosféricas. Los incendios forestales en Sudamérica alteran estas condiciones y repercuten en otros factores relacionados con la estructura y el funcionamiento de los bosques tropicales, así como con su composición. (Cochrane & Laurence, 2018).

Los incendios necesitan igniciones (como un rayo), biomasa vegetal (combustible) y las circunstancias meteorológicas adecuadas, como una cantidad específica de sequedad ambiental. (Pausas, 2012). Cada uno de estos factores va influir y propiciará desde pequeños incendios a incendios de gran magnitud.

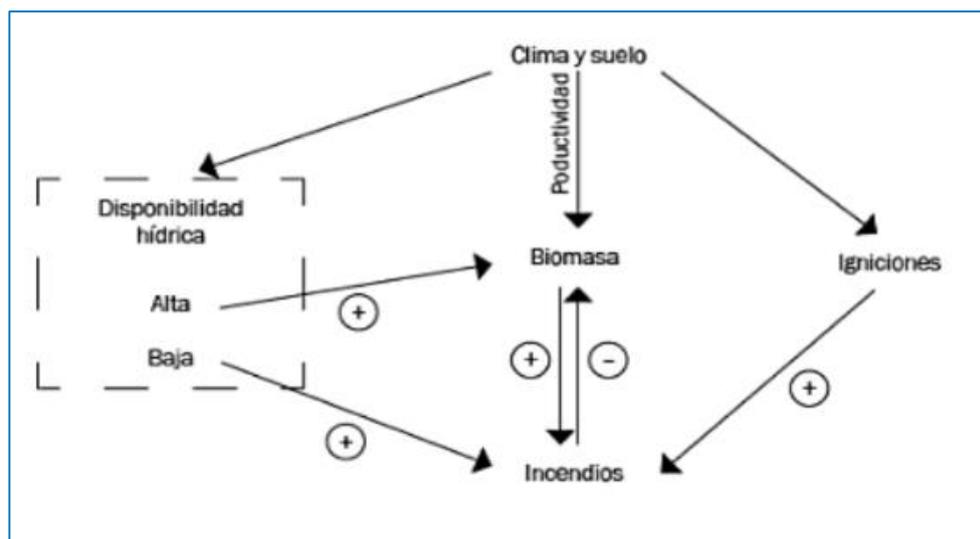


Figura 1: Dinámica para la ocurrencia de incendios. (Pausas, 2012)

a. Componentes que favorecen los incendios forestales

Tiempo Atmosférico

No se puede controlar y es impredecible, el clima tiene un impacto significativo en cómo se comporta un incendio. Los elementos que regulan el inicio y la propagación del fuego son la temperatura, la velocidad y la dirección del viento. (Villers, 2006)

Combustible forestal

Toda la flora de la zona, así como las ramas caídas, las hojas secas, las hierbas secas y los troncos secos, son ejemplos de combustible forestal. La cantidad disponible de estos componentes determinará la facilidad con la que puede iniciarse un incendio forestal. (Aguirre, 2016)

Topografía

La pendiente de la ladera es el más crucial de estos elementos porque las variaciones en la pendiente tienen un impacto inmediato en el comportamiento del fuego. Cuanto más pronunciada sea la pendiente, más precalentamiento pueden experimentar los combustibles y más rápido se propagará el incendio forestal, cuanto más pronunciada sea la pendiente. (SENAMHI, 2018)

b. Tipos de incendios forestales

Incendios de Superficie

Esta forma de fuego, que se produce a ras de suelo, devora cualquier tipo de material combustible que se encuentre por encima de la superficie del suelo y por debajo de las hojas de los árboles, quemando pastos, hierbas, pastizales, arbustos y plantas de mayor tamaño.

Incendio subterráneo

Bajo la superficie del suelo, quema turba, humus, materia orgánica y raíces. Como suele arder sin llama, la única forma de detectarlo es mediante la producción de humo.

c. Causas más comunes de los incendios forestales

Vellozas et al. (2010) describen que el 80% de los incendios en todo el mundo son provocados por el hombre, ya sea a propósito o por negligencia. Algunos ejemplos son las quemas para pastoreo, trabajos forestales, hogueras, fumadores descuidados y quema de residuos.

Quemas agrícolas

En Sudamérica, entre el 35% y el 40% de todos los incendios intencionados anuales son provocados por incendios agrícolas. Se realizan para eliminar los residuos de la cosecha (rastros) y facilitar la preparación del suelo para la siembra de la temporada siguiente. Aunque facilitan la preparación del suelo para la siembra, no aportan ningún beneficio al suelo, sino que contribuyen a agotarlo progresivamente. Desde el punto de vista agronómico, las quemas agrícolas son innecesarias e incluso perjudiciales para el medio ambiente porque reducen progresivamente la calidad edáfica del suelo.

Quemas para la obtención de pastos

Tras eliminar los pastos o la vegetación leñosa, normalmente matorrales densos, en regiones que se han vuelto inaccesibles para el ganado debido al crecimiento de esta vegetación, se realizan quemas en zonas de pastoreo para favorecer el desarrollo de pastos. A veces están relacionadas con regiones en las que abunda el ganado ovino, bovino y caprino. Tras un incendio, se produce el rebrote de los tallos y el crecimiento de plantas herbáceas que se benefician de la fertilidad del suelo a corto plazo, favoreciendo buenos pastos para los animales.

2.2.2. Emisión de CN producto de los incendios forestales

Los incendios forestales son una de las perturbaciones que más influyen sobre la estructura y funcionamiento de gran parte de los ecosistemas terrestres. La combustión de biomasa sobre grandes extensiones puede llegar a suponer la emisión de una gran cantidad de aerosoles y gases de efecto invernadero.

Los incendios forestales emiten Carbono Negro con otros componentes presentes en el material particulado, como resultado de una combustión incompleta.

La principal fuente de emisiones de CN es la quema de biomasa, seguida de la quema de carbón y biocombustibles en entornos residenciales convencionales, los motores diésel utilizados en el transporte y la industria, y diversas operaciones industriales y de generación de energía. (Bond, 2017)

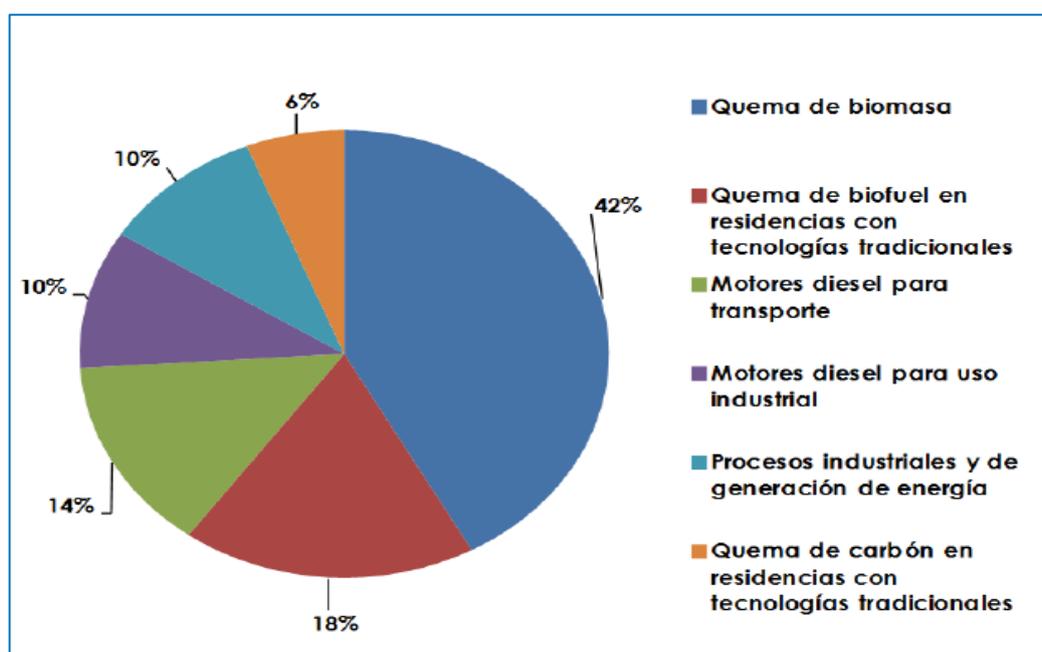


Figura 2: Distribución de las emisiones de CN en función a la fuente (Bond, 2017)

Como se observa en la Figura 2, la quema de biomasa representa de lejos la mayor fuente de Carbono Negro. De hecho, los incendios forestales, que son un aspecto natural de la quema de biomasa, constituyen un proceso de renovación y regeneración de los ecosistemas. Sin embargo, en la actualidad sólo el 4% de las llamas se producen de forma natural, por ejemplo por la caída de rayos, y el 96% de todos los incendios que se producen en el planeta son provocados intencionada o accidentalmente por el ser humano. (DW, 2020).

Este incremento en los incendios forestales involuntarios, significa una mayor emisión de carbono negro, siendo así relevante la evaluación del transporte del CN hasta los glaciares.

El carbono negro y otros componentes de los aerosoles se mezclan internamente durante o poco después de su emisión, lo que les permite residir en la misma partícula junto con otras especies químicas. Esta

mezcla puede modificar las características ópticas del CN, afectar a su vida atmosférica y a su capacidad para formar cristales de hielo y gotas de nubes. Por consiguiente, los efectos del carbono negro sobre el clima deben evaluarse a la luz de las modificaciones de sus características fisicoquímicas provocadas por las interacciones con otros constituyentes de los aerosoles. (Bond et al., 2013)

Las partículas de carbono negro, que tienen diámetros entre 0,001 y 0,005 micrómetros (μm), se liberan durante la combustión incompleta. Estas partículas pueden agregarse para producir polvos y otros tipos de aerosoles, que tienen tamaños de entre 0,1 y 1 (μm). (EPA, 2012)

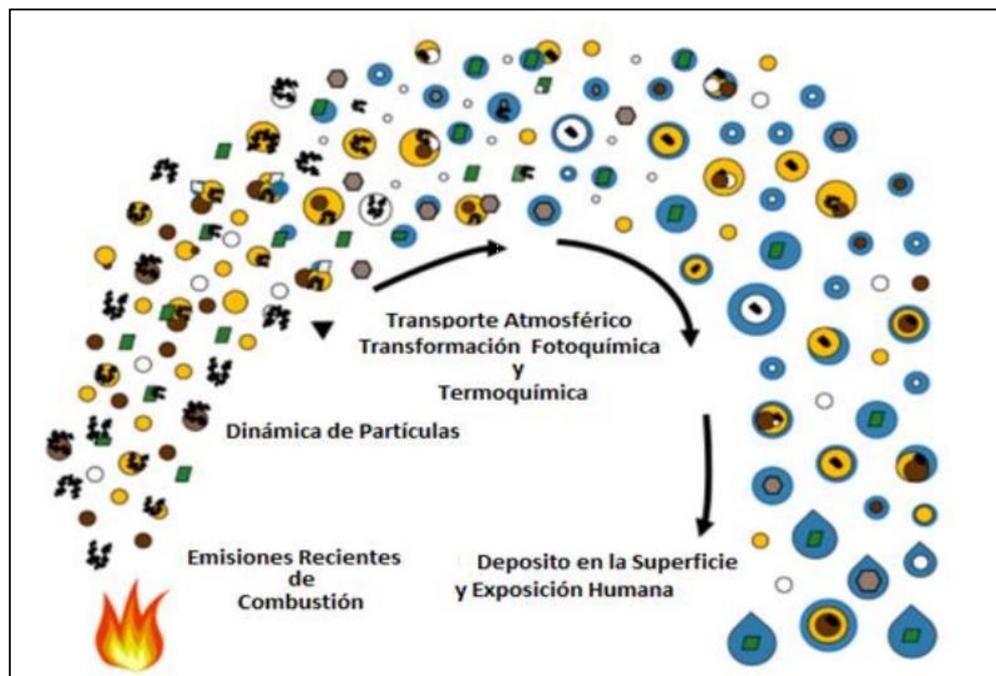


Figura 3: Transformación de las partículas en la atmósfera desde el punto de emisión al depósito. Fuente. Bond et al., (2013)

2.2.3. Factores que influyen en el transporte del CN hacia los glaciares

El carbono negro es uno de los gases y aerosoles que son emitidos y transportados a la atmósfera desde su origen por el viento y otros factores climáticos, lo que repercute en los glaciares. (Wiedinmyer et al., 2006)

Una vez emitido hacia la atmósfera el carbono negro tiene un tiempo de residencia en la atmósfera de algunos días a semanas, esto permite que sea transportada a los glaciares por la acción del viento, donde

precipita tanto en forma seca como húmeda en forma de gotas de agua o copos de nieve. (COER, 2019)

Collazo, (2011) explica que el proceso natural de transporte, dispersión, transformación y eliminación de contaminantes en una región es complejo debido a los numerosos factores que influyen, como las variables meteorológicas, la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar y el efecto de las distintas masas de aire que difieren en su origen y trayectorias. En consecuencia, la distribución del carbono negro dependerá de todos estos factores.

El Servicio de Evaluación Ambiental de Chile, en su guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA (2012) afirman que la dirección del viento tiene en cuenta de dónde viene o a dónde va la persistencia del viento, por lo que podemos concluir que la dirección revelará el destino de los contaminantes, pero la velocidad del viento afecta a la cantidad de emisiones y a la primera dilución de esas emisiones.

Los vientos predominantes que atraviesan las quebradas andinas en nuestra zona son los alisios del Atlántico, sin embargo su dirección es siempre cambiante debido a la conformación de la cordillera. Debido a la diferencia de temperatura entre los tramos altos y bajos, que crea una corriente ascendente de las capas inferiores que se dilatan por la alta concentración de calor, también soplan ocasionalmente vientos locales y erráticos. (Pareja Paz, 1936)

Garread & Patricio, (2007) manifiestan que debido a los anticiclones que se forman en el continente y en el Atlántico a lo largo del año, los vientos predominantes son del Este; durante los meses de marzo, abril y mayo, las zonas ecuatorial y central del continente albergan dos anticiclones más débiles que el Alto de Bolivia (que domina durante los meses de diciembre, enero y febrero); de sus resultados podemos observar que estos anticiclones ocasionan vientos que se desplazan por la cordillera girando antes de llegar a la costa peruana, aunque la

predominancia de los vientos del Este es siempre mayor, esta disminuye presentando alternancias de vientos del Oeste.

Inche, (2004) Es frecuente observar altas concentraciones de contaminantes atmosféricos en ciudades rodeadas de una geomorfología complicada, como tierras bajas o cadenas montañosas (entre ellos el Carbono Negro). La Cordillera Blanca es la cordillera tropical más alta del planeta, con picos de más de 6000 m.s.n.m. cubiertos de hielo y nieve, mientras que la Cordillera Negra tiene montañas de hasta 5100 m.s.n.m., que se caracterizan por no tener nieve. Es el caso del Callejón de Huaylas, un estrecho y alargado valle aluvial de la Cordillera de los Andes por lo cual estas condiciones favorecen al estancamiento de Carbono Negro provenientes de la costa norte y parte de la sierra; con su posterior deposición en los glaciares. (INGEMET, 2013)

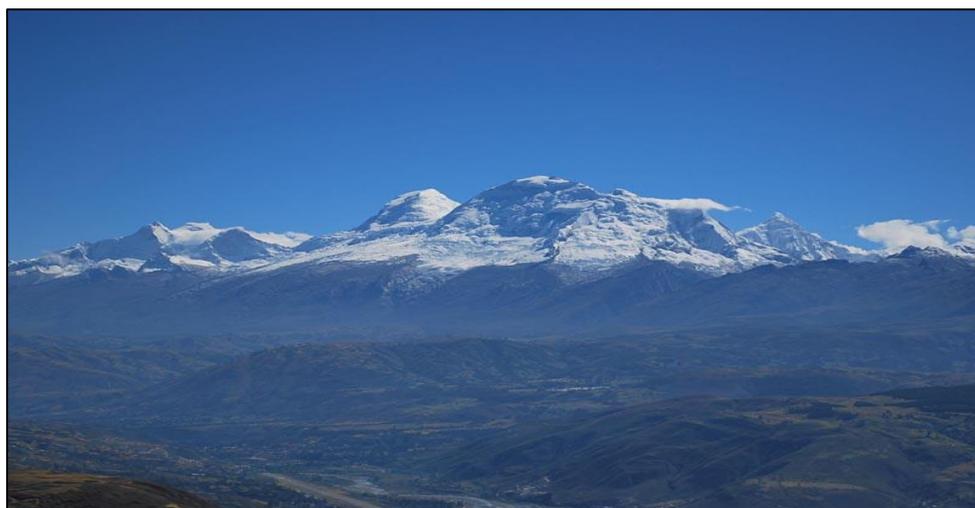


Figura 4: Partículas en suspensión estancadas producto de incendios forestales, INAIGEM

2.2.4. Concentración de CN en los glaciares.

Debido a la superficie predominantemente blanca de los glaciares, la absorción de la radiación solar en longitudes de onda visibles y ultravioletas por el hielo es extremadamente débil. Como resultado, pequeñas cantidades de impurezas absorbentes de luz en la nieve pueden dominar la absorción de la radiación solar en esas longitudes de onda, reduciendo el albedo en comparación con la nieve pura,

aumentando el balance energético de la superficie y provocando un deshielo más temprano. (Doherty et al., 2010)

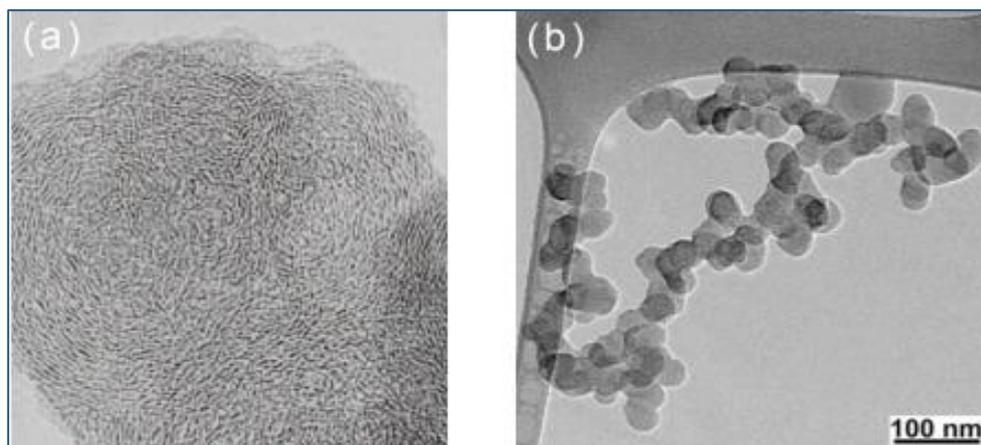


Figura 5: Imagen representativo del CN bajo un microscopio electrónico, EPA

A continuación, algunas maneras de evaluar el carbono negro acumulado en los glaciares.

Para estimar el carbono negro efectivo Schmitt et al., (2015) desarrollaron el método LAHM (Light Absorption Heating Method), determina la probabilidad de contaminantes en la nieve dentro de un filtro cuando se utiliza el equipo LAHM y se calibra con 5 estándares conocidos de concentración de carbono negro. El filtro se expone a una fuente de luz artificial, lo que provoca un aumento de temperatura. El aumento máximo de temperatura de un filtro puede oscilar entre menos de 1 °C para un filtro limpio y hasta 10 °C para un filtro que esté sustancialmente contaminado.

Esta metodología determinó la concentración de Carbono Negro a partir de la capacidad de absorber la luz visible de estas partículas. Ejemplo de ello tenemos estudios realizados para evaluar los glaciares en el Perú con esta metodología. Sánchez, (2019); Sanchez y Schmitt, (2018) estimaron las concentraciones de carbono negro en los nevados de Yanapaccha y Shallap en el periodo 2014 - 2016 y 2017 – 2018 de la Cordillera Blanca respectivamente. Otro ejemplo es el estudio realizado por Cuadros, (2019) en el nevado de Coropuna – Arequipa, ambos

estudios con resultados satisfactorios de concentración de carbono negro acumulado en los glaciares.

Flanner et al., (2007) desarrollaron el modelo SNICAR (Snow, Ice, and Aerosol Radiative), esto permite calcular la diferencia de albedo entre la nieve limpia y una nieve con impurezas (carbono negro) debido a que permite ingresar la masa de partículas de carbono negro, esta simulación requiere de una serie de datos, como:

- Radiación incidente: Angulo cenital solar.
- Distribución espectral de la superficie.
- Radio efectivo del grano de nieve.
- Espesor de la capa de nieve.
- Densidad de la capa de nieve.
- Albedo de fondo subyacente.
- Concentración de carbono negro.

Adicionalmente si se cuenta con mayor información también se puede utilizar agregando datos de:

- Concentración de polvo.
- Concentración de cenizas volcánicas.
- Concentración experimental de partículas.

2.2.5. Efectos sobre los glaciares.

El principal efecto es la pérdida de glaciares por el derretimiento acelerado de las capas de hielo, se da por la presencia de partículas que se depositan en la nieve.

Budyko, (1969) explica que la disminución de la reflectancia provocada por el carbono negro y otras impurezas absorbentes es alarmante, ya que incluso pequeñas variaciones en la absorción solar pueden afectar al momento en que se funde la nieve, y porque la relación entre la capa de nieve y el clima es bastante estrecha.

Si bien esto no afecta directamente a la salud de la población va generar un problema de disponibilidad de agua, el Carbono Negro

depositado en los glaciares incide en los procesos de acumulación y ablación de los glaciares.

Rowe et al., (2014) demostraron que el Carbono Negro acumulado en los glaciares puede aumentar hasta un 14% el derretimiento de la capa de hielo, por tanto, tener en cuenta la deposición de Carbono Negro en los glaciares es de suma importancia.

2.2.6. Sensores para el monitoreo de incendios

Existen diversos sensores para el estudio de incendios forestales mediante la detección de focos de calor, los cuales podemos mencionar las siguientes: AVHRR de los satélites polares NOAA, MODIS de los satélites polares de TERRA y AQUA, GOES Imager de los satélites geoestacionarios GOES y los sensores VIIRS del satélite Suomi NPP y NOAA (este último empezó a registrar datos a partir del 2020).

Por su relevancia y capacidad en detección de focos de calor abordaremos el sensor VIIRS 375m / Suomi NPP

a. Sensor VIIRS

El sensor VIIRS está a bordo del satélite Suomi NPP, lanzado en octubre de 2011. La capa de fuego VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) muestra la localización de anomalías térmicas como llamaradas de gas y llamas en curso. El estudio de la distribución espacial y temporal del fuego, la localización de focos de calor duraderos como volcanes y llamaradas de gas, la identificación de fuentes de contaminación atmosférica por humo que puedan ser perjudiciales para la salud humana, y otras tareas pueden realizarse con ayuda de la capa de fuego.

VIIRS es el sucesor de MODIS para la generación de productos de datos de ciencias de la Tierra. Los datos de la banda I de 375m complementan las detecciones de incendios MODIS; Ambos muestran una buena concordancia en la detección de focos de calor, pero la mayor resolución espacial de los datos de 375 m permite cartografiar mejor vastos perímetros de incendios y una mayor

reacción en incendios de áreas relativamente pequeñas. Los datos de 375 m también mejoran el rendimiento nocturno. Como resultado, estos datos pueden utilizarse para apoyar tanto las aplicaciones científicas que necesitan una cartografía de incendios de mayor fidelidad como la gestión de incendios (como los sistemas de alerta casi en tiempo real). (EOSDIS, 2019)

Tabla 1: Características técnicas del sensor VIIRS

	Característica
Fecha de lanzamiento	2011
Orbita	824 km
Dimensiones de la franja	3000 km x 13 km
Resolución radiométrica	12 bits
Tiempo estimado de vida	7 años

Fuente. NASA

Tabla 2: Características de las bandas del sensor VIIRS

Bandas de VIIRS	Rango de longitud de onda (um)	Explicación de la banda	Band	Resolución espacial
M1	0.402 - 0.422	Color del océano y aerosol	Visible	750 m
M2	0.436 - 0.454			
M3	0.478 - 0.488			
M4	0.545 - 0.565			
M5 (B)	0.662 - 0.682			
M6	0.739 - 0.754	Atmosferico	IR cercano	
M7 (G)	0.846 - 0.885	Color del océano y aerosol		

M8	1.23 - 1.25	Tamaño de partículas de nubes	IR onda corta	
M9	1.371 - 1.386	Cobertura de nubes y cirrus		
M10 (R)	1.58 - 1.64	Fracción de nieve		
M11	2.23 - 2.28	Nubes		
M12	3.61 - 3.79	SST y Fuego	IR onda media	
M13	3.97 - 4.13	SST y Fuego		
M14	8.4 - 8.7	Propiedades de cobertura de nubes	IR onda larga	
M15	10.26 - 11.26	SST y Fuego		
M16	11.54 - 12.49	SST		
DNB	0.5 - 0.9	Imágenes	Visible	750 m
I1 (B)	0.6 - 0.68	Imágenes	Visible	375 m
I2 (G)	0.85 - 0.88	NDVI	IR cercano	
I3 (R)	1.58 - 1.64	Mapeo de nieve	IR onda corta	
I4	3.55 - 3.93	Visualización de nubes	IR onda media	
I5	10.5 - 12.4	Visualización de nubes	IR onda larga	

Fuente. RAMMB

Se realizaron los estudios de validación (entre junio a noviembre 2015), los productos de fuego activo del VIIRS se encontraban en un estado “provisional”, es decir, no totalmente validados. Sin embargo, instituciones como el INPE y CONABIO ya habían incorporado en su sistema de alertas los focos de calor provenientes del NPP-750m desde noviembre de 2013, en el caso del INPE y enero del 2014 en el caso de CONABIO; e incorporaron los focos de calor del NPP-375m desde inicios del 2015. Actualmente, es el satélite que reporta más puntos de calor para nuestro país. (Zamora, 2016)

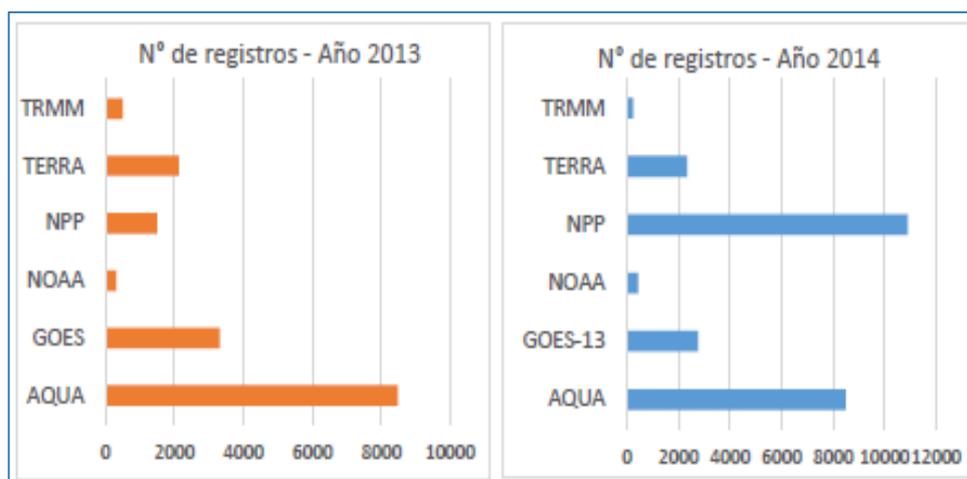


Figura 6: Registro de focos de calor para Perú, para los años 2013 y 2014 (Zamora, 2016)

2.2.7. Estimador de Densidad de Kernel.

Los mapas de densidad son una técnica de interpolación utilizada para localizar incendios forestales entre los numerosos métodos de detección/visualización de patrones espaciales.

Existen numerosas técnicas de interpolación. Algunos de esos métodos son el Kriging, las superficies de tendencia, polinómica, IDW (el inverso de la distancia) y los modelos de regresión local, los cuales requieren en su mayoría que los puntos de muestreo/entrada asuman valores heterogéneos diferentes de cero (Anselin, 1992; Cleveland et al. 1993, Venables & Ripley, 1997)

El hecho de no muestrear la información cuando se trabaja con datos de focos de calor y, en su lugar, basarse por completo en los sucesos registrados para proporcionar el alcance total de la información es una característica única. Además, cada punto representa un suceso concreto. Pues no toda la superficie de la zona de estudio en sus 3 niveles (regional, nacional y continental) van a suceder incendios forestales, pero existe una probabilidad de que ocurran, la estimación de densidad de Kernel sirve para calcular esa probabilidad de modo que la interpolación produce "superficies de riesgo". (Smith & Bruce, 2008)

El método Densidad de Kernel analiza patrones de puntos bien conocidos y permite determinar la densidad de eventos en el espacio.

Para utilizar el método, la región investigada se divide en cuadrículas del mismo tamaño, en la que cada punto cae en un cuadrado diferente. Además, se define un radio de búsqueda o ancho de banda que se puede hallar siguiendo el siguiente algoritmo: “calcular el centro medio de los puntos de entrada, calcular la distancia desde el centro medio (ponderado) para todos los puntos, calcular la distancia media de esas distancias, D_m , calcular el valor de la distancia estándar SD ” (ArcGIS, 2017).

Por lo tanto, la ecuación para hallar el ancho de banda (R), es:

$$R = 0.9 * \min \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)}} * D_m \right) * n^{-0.2}$$

La ecuación para determinar la función de densidad para cada una de las mallas creadas es donde "n" es el número de puntos, y las demás variables se especificaron previamente.

$$\lambda(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\pi r^2} k \left(\frac{d_{is}}{r} \right)$$

Donde $\lambda(s)$ representa la función densidad del punto "s", mientras "r" representa el ancho de banda, "k" es la función de peso relacionada con

$$k \left(\frac{d_{is}}{r} \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{d_{is}^2}{2r^2} \right), \text{ para } 0 < d_{is} \leq r$$

$$k \left(\frac{d_{is}}{r} \right) = 0, \text{ para } d_{is} > r$$

el ancho de banda y la distancia desde la más cercana con un peso de d_{is} hasta la más lejana con 0, cuando se supere el ancho de banda (F. Moreno, 2016). Además, para hallar el valor del peso, se puede realizar por medio de la función Gaussiana la cual es:

En la que k es un valor que puede ser $3/\pi$ o $3/4$.

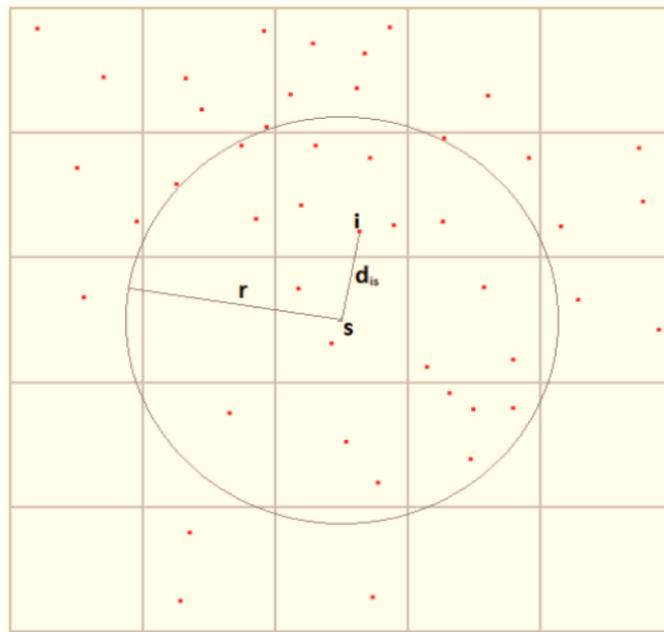


Figura 7: Estimador de Densidad de Kernel

2.2.8. Coeficientes de correlación de Spearman

La correlación es una medida estadística que sirve para expresar el grado en la cual dos variables se relacionan entre sí. Para determinar dicha correlación primero se tiene que determinar la normalidad de cada variable mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov, los cuales pueden ser de distribución normal (gaussiana) y no normal. Dependiendo de las características se procede a aplicar las pruebas paramétricas (para dos variables normales) o por el contrario las pruebas no paramétricas (para dos variables no normales o una normal y otra no normal). (Hernández, Fernández y Baptista, 2010)

Dentro de las pruebas paramétricas para el análisis de correlación la más importante es la prueba de correlación de Pearson y dentro de las no paramétricas destaca la prueba de correlación de Spearman.

El intervalo de correlación de Spearman, a diferencia del coeficiente de correlación de Pearson, se ve menos afectado por la existencia de datos sesgados y no necesita la premisa de normalidad ni que las variables se midan en intervalos de escala. Los valores del coeficiente oscilan entre -1 y 1. Cuando el valor se aproxima a 1, se considera que

la relación entre las variables es directa; cuando el valor se aproxima a -1, se dice que las variables están inversamente relacionadas. La ausencia de relación entre las variables se indica mediante un coeficiente de correlación cercano a 0. (Fujita, A., 2019)

Los datos de concentración de CN se encontraron una distribución normal para el glaciar Shallap y no normal para el glaciar Yanapaccha, mientras que para los datos de focos de calor producto de los incendios forestales presentaron distribución no normal en los tres niveles de la investigación (regional, nacional y continental).

Por las características de cada variable que se comparó y realizó la correlación se ajustaron para el trabajo utilizando la prueba de coeficiente de Spearman.

2.3. Términos Básicos

2.3.1. Aerosoles

Son una mezcla de gases y partículas sólidas o líquidas en suspensión, normalmente de entre 0,01 y 10 micrómetros de tamaño, que han estado presentes en la atmósfera durante al menos unas horas. Los aerosoles pueden originarse de forma natural o artificial. Las palabras "materia particulada" o "partículas" se utilizan con frecuencia indistintamente. (EPA, 2012)

2.3.2. Áreas quemadas

Comprende la identificación de las áreas, puntos donde se han producido los incendios, esta identificación se puede realizar a través de un análisis multi-temporal, con la utilización de imágenes de satélite. (DGOTA, 2017)

2.3.3. Albedo

Porcentaje de energía solar que refleja una superficie u objeto; este valor se expresa con frecuencia. Las superficies oscuras, como los suelos, las plantas y los océanos profundos, tienen un albedo bajo, mientras que las superficies de color claro, como las cubiertas de nieve y hielo, tienen un albedo alto. (EPA, 2012)

2.3.4. Biomasa

Biomasa es una palabra utilizada con frecuencia en la industria energética para describir materiales orgánicos que pueden quemarse para proporcionar energía o transformarse en gas y utilizarse como combustible, como la madera y los residuos agrícolas. (EPA, 2012)

2.3.5. Carbono negro

Es una forma sólida, principalmente pura, de carbono que absorbe todas las longitudes de onda de la luz solar. La combustión incompleta produce carbono negro, que es el tipo de materia particulada más eficaz en masa para captar la energía solar. (EPA, 2012)

2.3.6. Deposición

Es el movimiento de gases y polvo sobre la superficie de la Tierra. La precipitación provoca la deposición húmeda, mientras que la deposición seca se produce en ausencia de precipitación. (EPA, 2012)

2.3.7. Focos de calor

Estas anomalías térmicas captadas por satélite suelen estar asociadas a incendios. Se denomina foco de calor a cualquier lugar de la superficie terrestre que desprenda suficiente calor como para que un píxel de la imagen de satélite indique que tiene una temperatura superior a la de otros píxeles sin dejar de respetar los umbrales del algoritmo de origen. (CONABIO, 2015)

2.3.8. Incendio forestal

Es la propagación libre y no programada del fuego sobre la vegetación, en los bosques, selvas y zonas áridas o semiáridas. Se entiende también, como el fuego causado en forma natural, accidental o intencional en el cual se afectan combustibles naturales situados en áreas boscosas, cuya quema no estaba prevista (INDECI, 2006).

2.3.9. Viento

Las corrientes de aire que se desplazan tanto horizontal como verticalmente están causadas por las diferencias de temperatura que se producen entre las distintas partes de la Tierra y la atmósfera. Las masas

de aire cálido tienden a ascender mientras que el aire más frío y denso llena el espacio libre. Se desplaza desde centros de altas presiones (anticiclones) hacia centros de bajas presiones, en función de la distribución y evolución de los centros isobáricos (depresiones). Cuanto mayor sea el diferencial de presión, más fuerte será. Generalmente el viento se ve alterado por el relieve y la fuerza de coriolis. El viento está definido por dos parámetros; la dirección en el plano horizontal y la velocidad. (DGOTA, 2017)

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

La investigación fue **de tipo descriptivo – correlacional**. Primero porque se describió los hechos tal cual se observaron y segundo porque se buscaron la relación existente entre la variable dependiente e independiente mediante ecuaciones y pruebas estadísticas, en otras palabras, se estudió la correlación entre estas variables.

3.2. Diseño de la investigación

Por su enfoque el diseño corresponde a una **investigación no experimental**, debido a que no se manipularon variables para lograr nuestros objetivos. Según temporalidad corresponde a un **diseño longitudinal**, ya que se utilizó datos recolectados a través del tiempo en un periodo específico.

3.3. Métodos y técnicas

3.3.1. Registro de ocurrencias de incendios

Comprendió la información histórica registrada de datos acompañados de imágenes satelitales registrados por los sensores ópticos que operan en la banda termal media de 4 μ m. Los sensores actuales utilizados para focos de calor son: AVHRR de los satélites polares NOAA, MODIS de los satélites polares de TERRA y AQUA, GOES Imager de los satélites geoestacionarios GOES y el sensor VIIRS del satélite Suomi-NPP y NOAA. Para nuestro propósito se hizo el

análisis de la ocurrencia mensual del número incendios registrados de VIIRS / Suomi NPP.

a. Método de análisis de focos de calor

Para el análisis se utilizó un algoritmo contextual que compara la temperatura de brillo conjunta de un pixel candidato y sus vecinos, con valores umbrales típicos de incendios en las bandas de 4 μm - 11 μm (Giglio et al. 2016). Mediante un punto se reporta el foco de calor, ubicado al centro de pixel activado. La activación de un pixel puede ser producto de un incendio, una quema agrícola, fuegos industriales, volcanes activos u otros; a su vez ocasionan lo que llamamos cicatriz de quema que va es observado en una imagen. (DGOTA, 2017)

Un suceso a gran escala puede activar numerosos píxeles simultáneamente y estar representado, por varios focos de calor. El foco de calor puede estar representado por uno o varios sucesos que se produzcan en el mismo píxel.

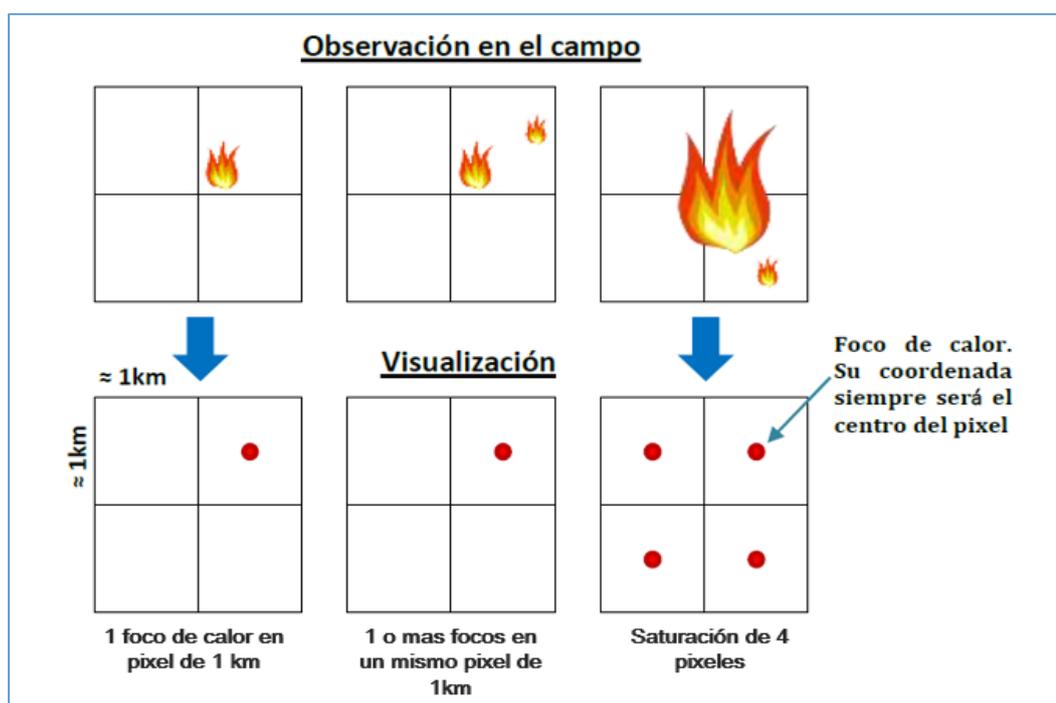


Figura 8: Representación teórica de un foco de calor y de cicatrización de quema asociada. (DGOTA, 2017)

b. Focos de calor del Sistema INPE de Brasil

Los focos de calor se obtuvo de imágenes VIIRS / Suomi NPP, este sensor posee pixel de resolución de 375m y proporcionan una mayor respuesta sobre incendios de áreas relativamente pequeñas respecto a su antecesor MODIS que posee pixeles de resolución de 1000m. También debe entenderse que el fuego registrado no se produjo en la exacta coordenada del punto de detección sino en algún punto a 500m alrededor (salvo excepciones por deformación de pixel).

3.3.2. Densidad de incendios forestales

Para determinar la densidad de eventos de incendios se aplicó el análisis de densidad de Kernel, esto sirvió para tener una noción más amplia de los lugares con mayor concentración de incendios y dar un mayor contraste a nuestros resultados. Con ayuda del software ArcGIS 10.5, por lo cual se aplicó automáticamente sin realización de cálculos propios del método. A continuación, se muestra el procedimiento que se siguió:

Tabla 3: Procedimiento para el estimador de densidad de Kernel

Procedimiento de la herramienta de análisis espacial DENSIDAD DE KERNEL	<ol style="list-style-type: none">1. Creación de archivo Ráster para el shapefiles de focos de calor.<ul style="list-style-type: none">• Campo de Población: Valor de 1 para cada punto.• Tamaño de celda X,Y: determinado automáticamente• Radio calculado a partir de un algoritmo que mide la cantidad de puntos tomados y presentados en el mapa. Se utiliza una variante espacial de la regla presentada por Silverman en su artículo: Estimación de densidad para estadística y análisis de datos (Silverman, 1986).
---	--

	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades de Área: Kilómetros cuadrados. Tomados así en función de la unidad lineal de la referencia espacial de salida. <ol style="list-style-type: none"> 2. Exclusión de datos con valor 0. 3. Clasificación de datos: 5 clases en intervalos iguales, para establecer parámetros que van de muy baja densidad a muy alta densidad. 4. Para mostrar la densidad de puntos de menor a mayor, se tomó la escala de color verde (menor concentración) a rojo (mayor concentración).
	5.

3.3.3. Método LAHM

Este método se utilizó para estimar la concentración de carbono negro mensual en los glaciares de Yanapaccha y Shallap durante el periodo de estudio en el periodo 2014 - 2018. Cabe recalcarlo porque los datos para realizar el estudio ya se obtuvieron en estudios anteriores realizados por Sanchez, (2019) y Sanchez y Schmitt, (2018).

3.4. Población

Lo constituyen los incendios forestales ocurridos en América del Sur y el CN muestreado mensualmente en los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca, durante el periodo 2014 - 2018.

3.5. Muestra

3.5.1. Unidad de muestra

Lo conforma los focos de calor producto de los incendios forestales registrados por el sensor VIIRS / Suomi NPP; y la nieve donde se muestreó la concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca durante el periodo 2014 - 2015.

3.5.2. Tamaño de muestra

El número de incendios registrados mensualmente por el sensor VIIRS / Suomi NPP a nivel continental, nacional y regional; la

concentración mensual de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap de la cordillera Blanca. Ambos en el periodo 2014 - 2018.

3.5.3. Representatividad de la muestra

Los datos obtenidos del número de incendios se obtuvieron de la plataforma INPE – Brasil (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), una plataforma segura y probada para la obtención de datos con fines de investigación científica (Zammora, 2016). Por otra parte, los datos de concentración de CN en los glaciares Yanapacha y Shallap de la cordillera Blanca fueron obtenidos por (Sanchez, 2019) y (Sanchez y Schmitt, 2018) en la zona de acumulación de los glaciares. Al ser la zona con mayor vulnerabilidad y una deposición reciente de CN.

3.5.4. Tipo de muestreo

El muestreo es no probabilístico (no aleatorio), de tipo intencional. Esto debido a que el estudio tuvo como base los datos de número incendios forestales registrados en focos de calor, estos eventos van a ocurrir próximos y/o lejanos en un periodo determinado y emitirán partículas que van a ser transportados y depositados en los glaciares donde los puntos de muestreo de carbono negro darán reflejo de ello, por lo cual recopilar datos de incendios forestales a nivel continental, nacional y regional; y compararlos con las concentraciones mensuales de carbono negro fue conveniente para el estudio.

3.6. Instrumentos validos de recolección de datos

Los datos obtenidos para la investigación son el número de incendios ocurridos a nivel continental, nacional y regional (estos registrados como focos de calor por el sensor VIIRS / Suomi NPP) y la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca.

Para la recolección de datos del número de incendios se utilizó la plataforma INPE – Brasil (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

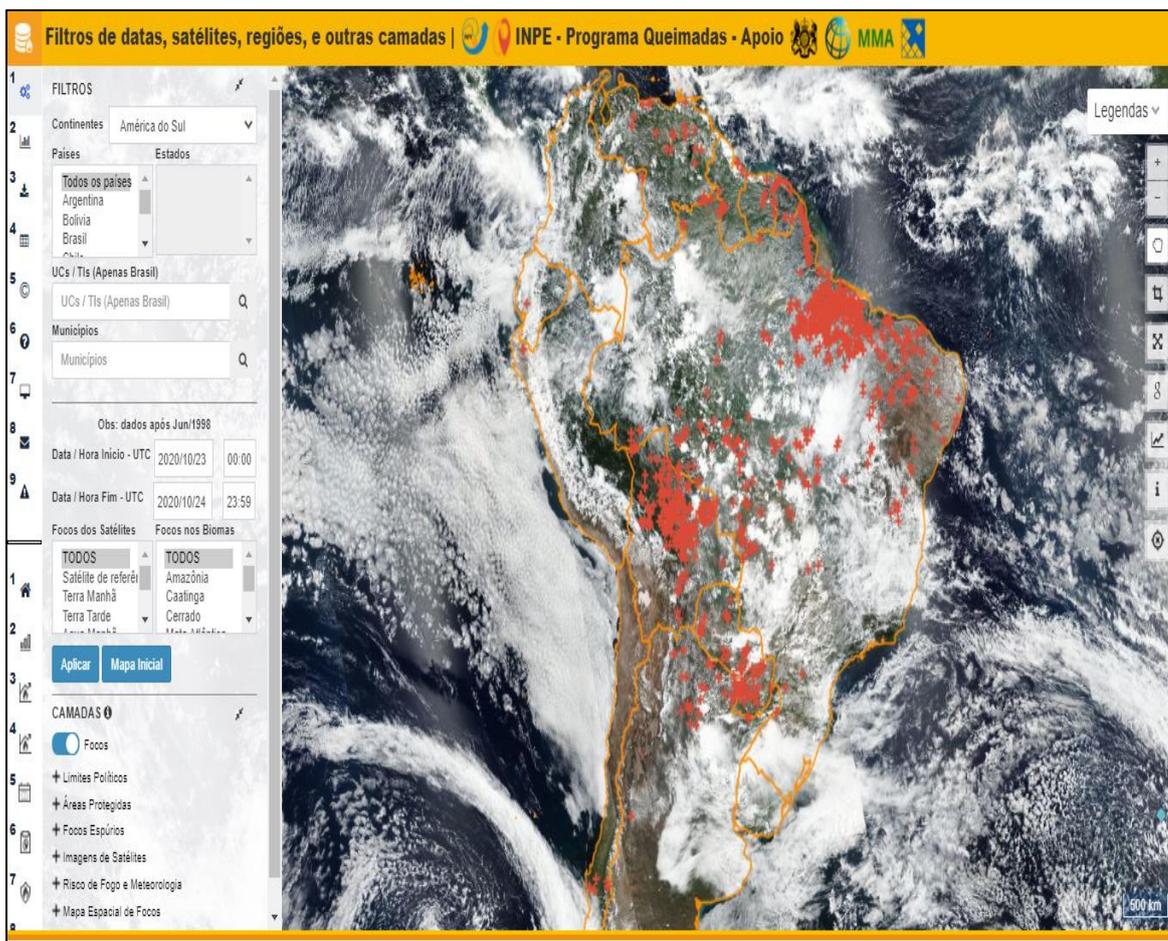


Figura 9: Plataforma de monitoreo de queimas e incendios

La obtención de datos de carbono negro fueron obtenidos de (Sánchez, 2019) y (Sanchez y Schmitt, 2018) quienes estimaron la concentración mensual de carbono negro en dichos glaciares para el periodo de estudio 2014 al 2018. A continuación las coordenadas de los puntos muestreados.

	Latitud	Longitud
SHALLAP	9°29'17.84"S	77°19'59.75"O
YANAPACCHA	9° 1'40.59"S	77°34'54.76"O

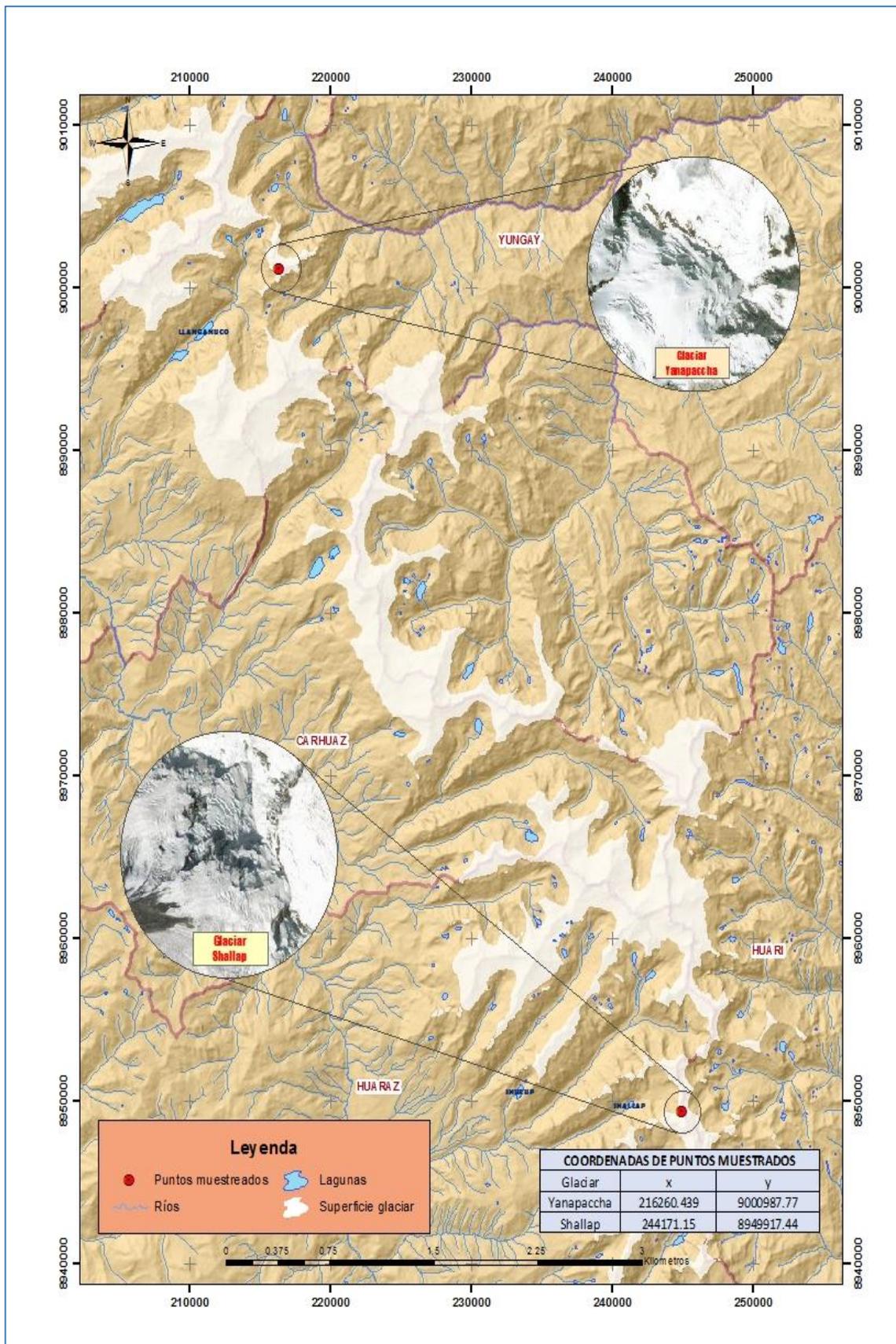


Figura 10: Mapa de ubicación de los puntos muestreados para los glaciares Yanapaccha y Shallap.

3.7. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información

Se trabajó las características de los datos para su debido tratamiento estadístico. Luego se realizó la correlación de Spearman en la comparación de variables dependiente e independiente. Para finalizar se utilizó el Software ArcGIS para determinar la densidad de los incendios forestales utilizando los focos de calor y contrastarlos con los datos obtenidos en el tratamiento estadístico.

Todo el proceso de análisis de datos se hizo por separado en el ámbito regional, nacional y continental.

Paso 1

Como punto de partida para la investigación se obtuvieron datos de concentración de CN muestreados mensualmente de manera selectiva en la superficie de los glaciares Yanapaccha y Shallap entre los años 2014 – 2018 por Sánchez, (2019) y Sánchez & Schmitt, (2018).

Así mismo la cantidad de incendios forestales es asociado a los focos de calor detectados por los sensores VIIRS / Suomi NPP, producto de anomalías térmicas causadas por los incendios forestales. Estos fueron obtenidos de manera gratuita del portal web INPE – Brasil (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), el cual brinda datos precisos para fines de investigación (véase el Anexo 1).

Ambos datos se agruparon para ver el nivel de correlación que guardan mediante gráficos, que luego fueron corroborados con cálculos estadísticos.

Tabla 4: Cantidad de incendios forestales registrados mensualmente

Cantidad de Incendios forestales (focos de calor)			
Mes	Local	Nacional	Continental
sep-14	244	17472	382448
oct-14	57	7730	385691
nov-14	120	3001	149213
dic-14	45	1456	100401
ene-15	56	947	84728
feb-15	12	767	85472
mar-15	30	508	102606

abr-15	62	585	73990
may-15	35	736	57769
jun-15	72	1929	62174
jul-15	119	4593	101772
ago-15	297	17269	339707
sep-15	331	26157	603839
oct-15	165	11301	519631
nov-15	88	3775	266327
dic-15	61	1847	207859
ene-16	96	2761	149304
feb-16	20	451	102210
mar-16	51	703	160114
abr-16	44	822	60575
may-16	59	1779	34670
jun-16	104	3545	71496
jul-16	334	11601	202381
ago-16	330	22126	457427
sep-16	460	23404	465437
oct-16	214	9082	312255
nov-16	898	11908	191191
dic-16	75	2026	112241
ene-17	19	1039	123003
feb-17	44	945	74501
mar-17	31	558	63719
abr-17	61	737	63137
may-17	40	753	25266
jun-17	67	2101	52575
jul-17	90	6164	180750
ago-17	87	12697	374391
sep-17	73	15062	716835
oct-17	72	11390	416336
nov-17	82	3087	191970
dic-17	42	2090	139296
ene-18	46	1546	83950
feb-18	44	1289	142127
mar-18	40	736	134734
abr-18	50	995	70095
may-18	34	1487	47118
jun-18	36	2475	61101
jul-18	28	5694	133569
ago-18	112	14101	291900
sep-18	309	26177	434968
oct-18	79	3622	217057
nov-18	57	2248	112116
dic-18	85	2808	90565

Tabla 5: Concentración de CN mensual en los glaciares Shallap y Yanapaccha.

Concentración de Carbono Negro		
Mes	Glaciar Shallap	Glaciar Yanapaccha
sep-14	298.08	17.15
oct-14	82.75	12.64
nov-14	89.81	46.87
dic-14	173.64	89.09
ene-15	79.96	33.03
feb-15	34.81	44.73
mar-15	17.81	16.37
abr-15	217.02	5.06
may-15	75.02	13.30
jun-15	68.70	53.03
jul-15	88.81	129.81
ago-15	328.34	159.51
sep-15	350.82	26.33
oct-15	354.99	12.39
nov-15	206.08	13.44
dic-15	64.64	20.80
ene-16	394.75	203.07
feb-16	427.34	500.17
mar-16	383.05	283.86
abr-16	176.10	96.61
may-16	283.99	138.37
jun-16	263.59	163.58
jul-16	403.78	201.14
ago-16	364.82	793.59
sep-16	26.53	56.91
oct-16	126.01	40.95
nov-16	340.63	65.03
dic-16	91.49	19.29
ene-17	1.96	1.89
feb-17	10.03	1.80
mar-17	9.11	6.87
abr-17	56.23	2.81
may-17	77.05	30.19
jun-17	184.93	41.86
jul-17	166.57	171.08
ago-17	425.31	225.10
sep-17	533.62	276.02
oct-17	593.12	157.50

nov-17	227.00	60.82
dic-17	3.09	3.78
ene-18	5.35	10.03
feb-18	4.54	1.56
mar-18	1.45	2.12
abr-18	2.65	1.60
may-18	1.01	1.26
jun-18	354.79	59.56
jul-18	202.38	19.61
ago-18	140.08	8.17
sep-18	306.03	37.13
oct-18	21.33	12.18
nov-18	287.83	75.19
dic-18	58.65	26.07

Paso 2

Para la correlación se determinó las características de ambas variables para ello se utilizó la prueba de bondad de ajuste de kolmogorow – Smirnov con un grado de significancia al 5% para probar si los datos siguen una distribución normal o no. Por lo tanto las decisiones fueron tomadas con la siguiente regla:

Para $\alpha=0.05$

- P – Valor < 0.05: Se acepta H1: La variable aleatoria NO tiene distribución normal.
- P – Valor \geq 0.05: Se acepta H0: La variable aleatoria SI tiene distribución normal.

Paso 3

Determinado el tipo de distribución se procedió con la correlación de los datos, el cual se determinó que lo más adecuado es realizar la correlación de Spearman (Rho de Spearman) debido a que nuestros datos de concentración de CN provienen de una distribución no normal y los datos de incendios forestales provienen de una distribución normal. Para Hernández, Fernández y Baptista (2010) la correlación de estos datos demanda que las

variables deben ser procesadas inferencialmente con estadísticos de correlación no paramétricos.

El coeficiente de correlación está dado por la siguiente formula:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Esta fórmula nos permite transformar los datos cuantitativos a datos ordinales, debido a que los datos no cumplen la regla de normalidad. Luego los valores del coeficiente de correlación lo medimos para encontrar en los siguientes rangos, los cuales están definidos según los resultados a obtener:

REGLA DE INTERPRETACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	
rho	Grado de Relación
0	Relación Nula
± 0.000... – 0.19...	Relación Muy Baja
± 0.200 – 0.39...	Relación Baja
± 0.400 – 0.59...	Relación Moderada
± 0.600 – 0.79...	Relación Alta
± 0.800 – 0.99...	Relación Muy Alta
± 1	Relación Perfecta

La relación puede ser directa (+) o inversa (-)

Fuente: Mayorga, L.A. (2022). *Manual de Metodología de la Investigación*. Cusco: Yachay.

Figura 11: Regla de interpretación del coeficiente de correlación

Paso 4

Finalmente para hacer un contraste con los resultados obtenidos en el análisis estadístico, seleccionamos los meses con mayor y menor concentración de CN en cada año; para luego tomar dichos meses de referencia y plasmar en mapas de densidad de incendios forestales con referencia a la ubicación de los puntos de muestreo de CN de ambos glaciares.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Influencia de incendios forestales a nivel regional con la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap.

4.1.1. Comparación grafica de incendios forestales y carbono negro

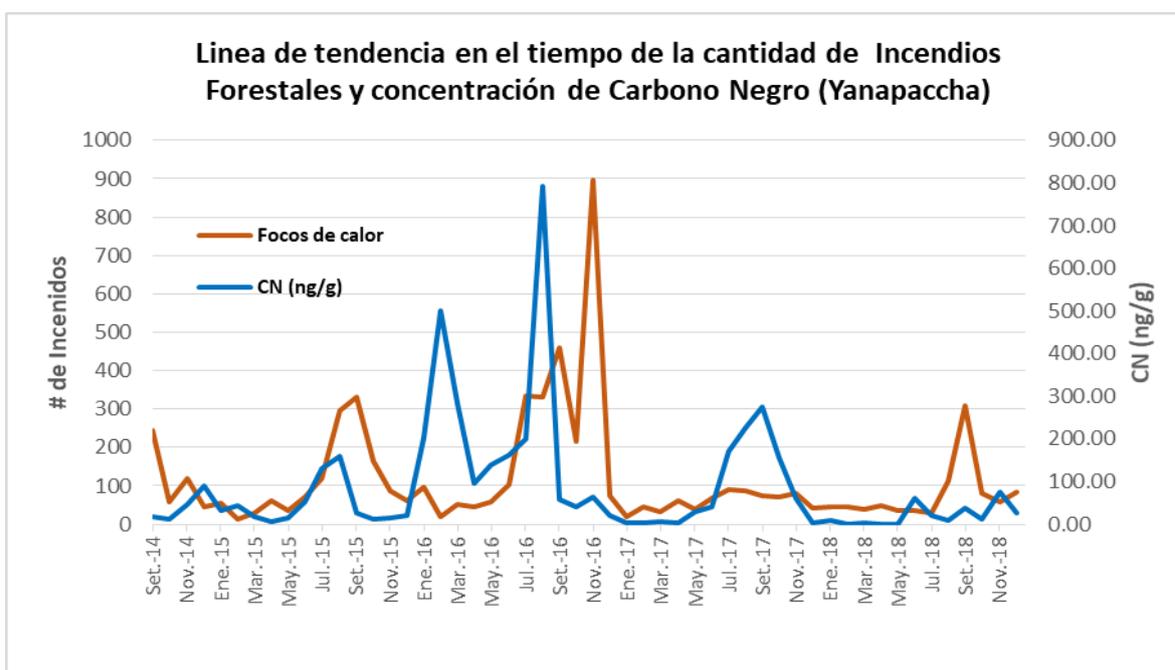


Gráfico 1: Variación mensual de la cantidad de incendios forestales a nivel regional y la concentración de carbono negro en el glaciar Yanapaccha, septiembre 2014 – diciembre 2018

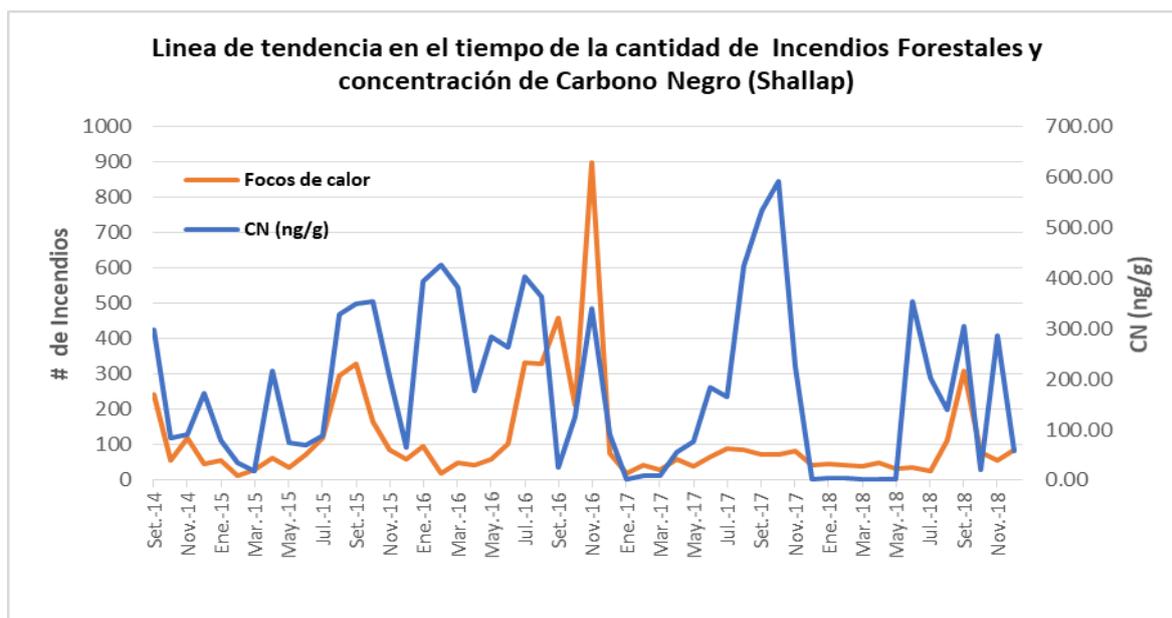


Gráfico 2: Variación mensual de la cantidad de Incendios forestales a nivel regional y la concentración de carbono negro en el glaciar Shallap, septiembre 2014 – diciembre 2018.

Se puede observar en los Gráficos 1 y 2; que la líneas que siguen las cantidades de incendios forestales detectados mediante focos de calor por el sensor VIIRS 375m / Suomi NPP; que durante la estación seca entre mayo – septiembre, presenta picos elevados; con excepción del año 2017 que se registró poca cantidad de incendios. Por otro lado la menor incidencia se ve registrado durante la estación húmeda entre octubre – abril.

En la Grafica 1, se observa que la línea que marca el comportamiento del CN muestreado en el glaciar Yanapaccha hay mayor registro entre mayo - septiembre y menor durante octubre – abril coincidentemente durante la estación seca y húmeda respectivamente.

En cuanto a la línea que sigue la concentración de CN podemos ver en la Gráfica 2 que la concentración de CN correspondiente al glaciar Shallap no sigue un patrón marcada a causa de su cercanía a las grandes ciudades como es el caso de Huaraz, donde hay mayor probabilidad de aporte de CN provenientes del parque automotor, industrias, etc. Que son constantes durante todo el año.

En cuanto a la relación que guardan ambas variables respecto a los glaciares Yanapaccha y Shallap se aprecia gráficamente que hay relaciones

directas e inversas, ya que tienden a ir en sentidos con la misma dirección y en sentidos con direcciones opuestas en algunos tramos. Esto ocurre en todas las relaciones de los gráficos 1, 2.

4.1.2. Prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov

Utilizando el valor de significancia de 5% se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 6: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel regional

		Carbono negro (Yanapaccha)	Incendios forestales (regional)
N		52	52
Parámetros normales	Media	86,35267	117,44
	Desviación típica	138,570840	148,802
Diferencias más extremas	Absoluta	0,270	0,301
	Positiva	0,253	0,301
	Negativa	-0,270	-0,239
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,944	2,169
Sig. asintót. (bilateral)		0,001	0,000

En la tabla 6: se observa la prueba de normalidad donde se obtuvo que la variable de concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha proviene de una distribución no normal teniendo un $p < 0.05$ y que la variable de incendios forestales a nivel regional proviene de una distribución no normal teniendo un $p < 0.05$; por lo que se acepta la hipótesis alterna H1 en ambos casos. Para Hernández, Fernández y Baptista (2010) estos datos demandan que las variables deben ser procesadas inferencialmente con estadísticos de correlación no paramétricos.

Tabla 7: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel regional

		Carbono negro (Shallap)	Incendios forestales (regional)
N		52	52
	Media	182,45083	117,44

Parámetros normales	Desviación típica	159,056564	148,802
Diferencias más extremas	Absoluta	0,178	0,301
	Positiva	0,178	0,301
	Negativa	-0,127	-0,239
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,282	2,169
Sig. asintót. (bilateral)		0,075	0,000

En la tabla 7; se aprecia la prueba de normalidad donde se obtuvo que la variable de concentración de carbono negro en el glaciar Shallap proviene de una distribución normal teniendo un $p \geq 0.05$ por lo que se acepta la hipótesis nula H_0 ; en cambio la variable de incendios forestales a nivel regional proviene de una distribución no normal teniendo un $p < 0.05$. Para Hernández, Fernández y Baptista (2010) estos datos demandan que las variables deben ser procesadas inferencialmente con estadísticos de correlación no paramétricos.

4.1.3. Correlación de datos

La correlación a utilizar es Rho de Spearman, debido al resultado de normalidad de nuestros datos.

Tabla 8: Correlación Rho de Spearman entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel regional

		Carbono negro (Yanapaccha)	Incendios forestales (regional)
Carbono negro (Yanapaccha)	Coefficiente de correlación	1,000	0,374**
	Sig. (bilateral)	.	0,006
	N	52	52
Incendios forestales (regional)	Coefficiente de correlación	0,374**	1,000
	Sig. (bilateral)	0,006	.
	N	52	52

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

En la tabla 8, se aprecia el grado de relación entre ambas variables, como el valor de “p” calculado es menor al 0.01 ($0.006 < 0.01$) y el coeficiente rho de Spearman es de 0.374. Se puede afirmar con un 99% de confianza

que existe una relación positiva baja entre la concentración de carbono negro en el glaciar Yanapaccha y los incendios ocurridos a nivel regional.

Tabla 9: Correlación Rho de Spearman entre las variables concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel regional

		Carbono negro (Shallap)	Incendios forestales (regional)
Carbono negro (Shallap)	Coeficiente de correlación	1,000	0,477**
	Sig. (bilateral)	.	0,000
	N	52	52
Incendios forestales (regional)	Coeficiente de correlación	0,477**	1,000
	Sig. (bilateral)	0,000	.
	N	52	52

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

En la tabla 9, se aprecia el grado de relación entre ambas variables, como el valor de “p” calculado es menor al 0.01 ($0.000 < 0.01$) y el coeficiente rho de Spearman es de 0.477. Se puede afirmar con un 99% de confianza que existe una relación positiva moderada entre la concentración de carbono negro en el glaciar Shallap y los incendios ocurridos a nivel regional.

4.2. Influencia de incendios forestales a nivel nacional con la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap.

4.2.1. Comparación grafica de incendios forestales y carbono negro

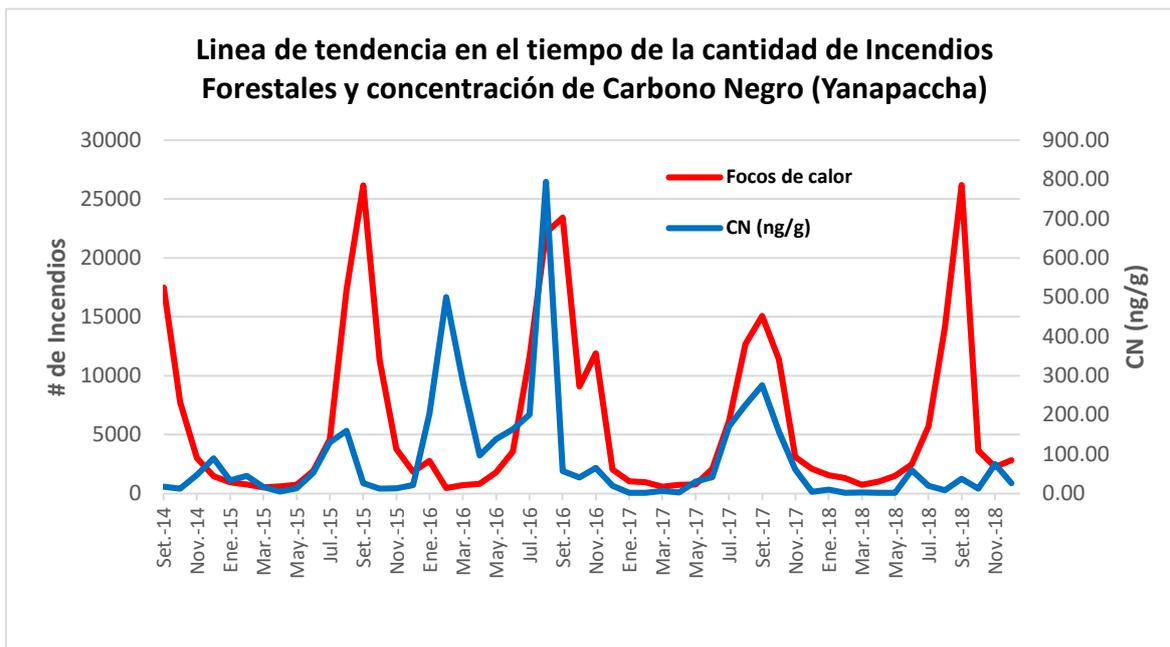


Gráfico 3: Variación mensual de la cantidad de incendios forestales a nivel nacional y la concentración de carbono negro en el glaciar Yanapaccha, septiembre 2014 – diciembre 2018

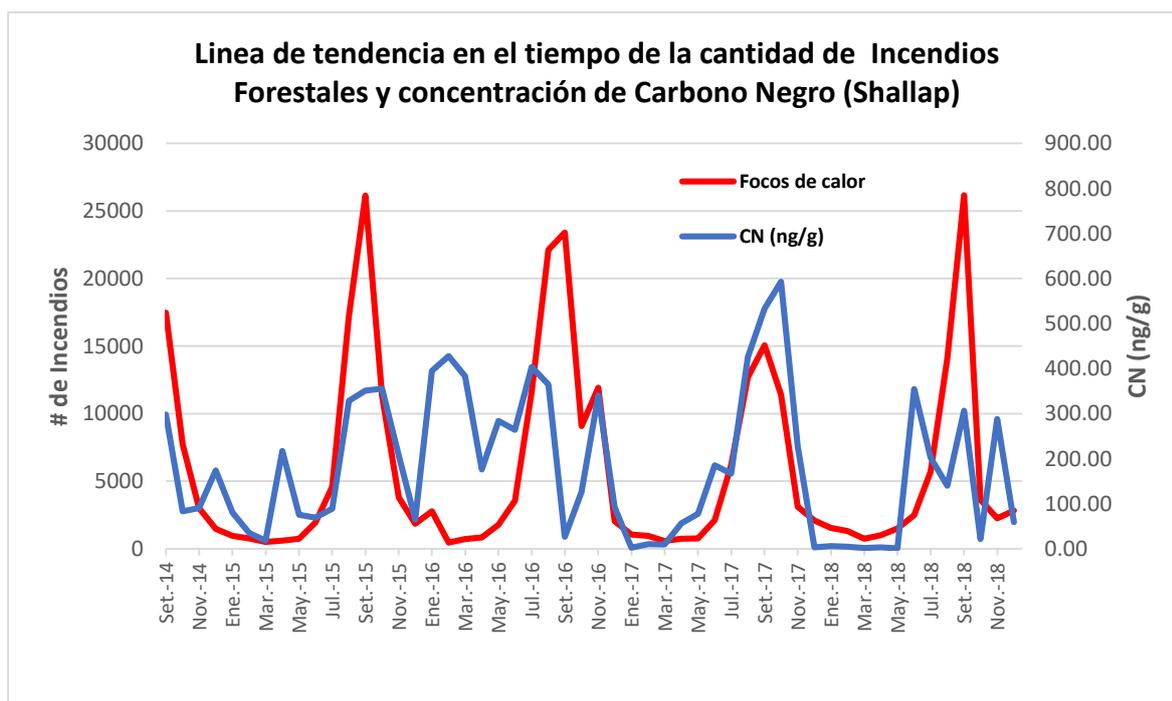


Gráfico 4: Variación mensual de la cantidad de incendios forestales a nivel nacional y la concentración de carbono negro en el glaciar Shallap, septiembre 2014 – diciembre 2018

En los Gráficos 3, 4 se aprecian picos y valles con más notoriedad, resaltando el periodo de estación seca y húmeda, donde hay mayor y menor cantidad de incendios forestales respectivamente. Por otro lado la menor

incidencia de incendios forestales se ve registrado durante la estación húmeda entre octubre – abril.

En la Grafica 3, se observa que la línea que marca el comportamiento del CN muestreado en el glaciar Yanapaccha hay mayor registro entre mayo - septiembre y menor durante octubre – abril coincidentemente durante la estación seca y húmeda respectivamente.

En cuanto a la línea que sigue la concentración de CN podemos ver en la Gráfica 4 que la concentración de CN correspondiente al glaciar Shallap no sigue un patrón marcado a causa de su cercanía a las grandes ciudades como es el caso de Huaraz, donde hay mayor probabilidad de aporte de CN provenientes del parque automotor, industrias, etc. Que son constantes durante todo el año.

En cuanto a la relación que guardan ambas variables respecto a los glaciares Yanapaccha y Shallap se aprecia gráficamente que hay relaciones directas e inversas, ya que tienden a ir en sentidos con la misma dirección y en sentidos con direcciones opuestas en algunos tramos. Esto ocurre en todas las relaciones de los gráficos 3, 4.

4.2.2. Prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov

Utilizando el valor de significancia de 5% se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 10: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel nacional

		Carbono negro (Yanapaccha)	Incendios forestales (nacional)
N		52	52
Parámetros normales	Media	86,35267	5963,12
	Desviación típica	138,570840	7196,554
Diferencias más extremas	Absoluta	0,270	0,273
	Positiva	0,253	0,273
	Negativa	-0,270	-0,222
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,944	1,971
Sig. asintót. (bilateral)		0,001	0,001

En la tabla 10; se observa la prueba de normalidad donde se obtuvo que la variable de concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha proviene de una distribución no normal teniendo un $p < 0.05$ y que la variable de incendios forestales a nivel nacional proviene de una distribución no normal teniendo un $p < 0.05$; por lo que se acepta la hipótesis alterna H1 en ambos casos. Para Hernández, Fernández y Baptista (2010) estos datos demandan que las variables deben ser procesadas inferencialmente con estadísticos de correlación no paramétricos.

Tabla 11: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel nacional

		Carbono negro (Shallap)	Incendios forestales (nacional)
N		52	52
Parámetros normales	Media	182,45083	5963,12
	Desviación típica	159,056564	7196,554
Diferencias más extremas	Absoluta	0,178	0,273
	Positiva	0,178	0,273
	Negativa	-0,127	-0,222
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,282	1,971
Sig. asintót. (bilateral)		0,075	0,001

En la tabla 11; se aprecia la prueba de normalidad donde se obtuvo que la variable de concentración de carbono negro en el glaciar Shallap proviene de una distribución normal teniendo un $p \geq 0.05$ por lo que se acepta la hipótesis nula H0; en cambio la variable de incendios forestales a nivel nacional proviene de una distribución no normal teniendo un $p < 0.05$. Para Hernández, Fernández y Baptista (2010) estos datos demandan que las variables deben ser procesadas inferencialmente con estadísticos de correlación no paramétricos.

4.2.3. Correlación de datos

La correlación a utilizar es Rho de Spearman, debido al resultado de normalidad de nuestros datos.

Tabla 12: Correlación Rho de Spearman entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel nacional

		Carbono negro (Yanapaccha)	Incendios forestales (nacional)
Carbono negro (Yanapaccha)	Coeficiente de correlación	1,000	0,340*
	Sig. (bilateral)	.	,014
	N	52	52
Incendios forestales (nacional)	Coeficiente de correlación	0,340*	1,000
	Sig. (bilateral)	0,014	.
	N	52	52

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

En la tabla 12, se aprecia el grado de relación entre ambas variables, como el valor de “p” calculado es menor al 0.05 ($0.014 < 0.05$) y el coeficiente rho de Spearman es de 0.340. Se puede afirmar con un 95% de confianza que existe una relación positiva baja entre la concentración de carbono negro en el glaciar Yanapaccha y los incendios ocurridos a nivel nacional.

Tabla 13: Correlación Rho de Spearman entre concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel nacional

		Carbono negro (Shallap)	Incendios forestales (nacional)
Carbono negro (Shallap)	Coeficiente de correlación	1,000	0,488**
	Sig. (bilateral)	.	0,000
	N	52	52
Incendios forestales (nacional)	Coeficiente de correlación	0,488**	1,000
	Sig. (bilateral)	0,000	.
	N	52	52

**.. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

En la tabla 13, se aprecia el grado de relación entre ambas variables, como el valor de “p” calculado es menor al 0.01 ($0.000 < 0.01$) y el coeficiente rho de Spearman es de 0.488. Se puede afirmar con un 99% de confianza

que existe una relación positiva moderada entre la concentración de carbono negro en el glaciar Shallap y los incendios ocurridos a nivel nacional.

4.3. Influencia de incendios forestales a nivel continental con la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap.

4.3.1. Comparación grafica de incendios forestales y carbono negro

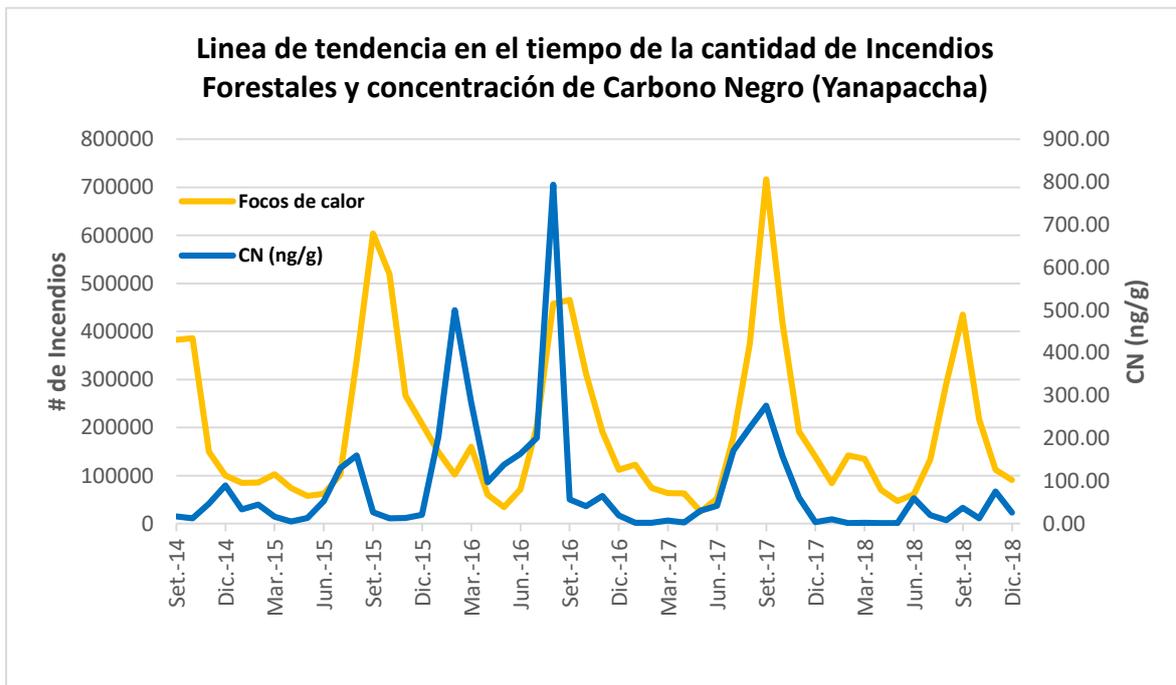


Gráfico 5: Variación mensual de la cantidad de incendios forestales a nivel continental y la concentración de carbono negro en el glaciar Yanapaccha, septiembre 2014 – diciembre 2018

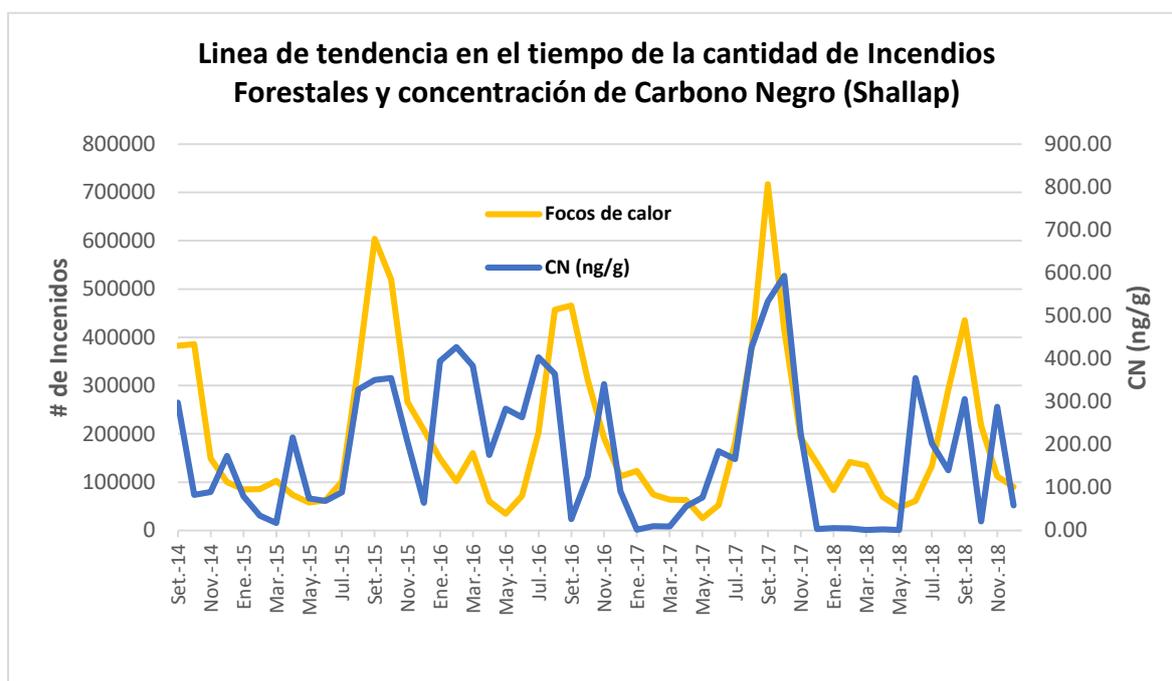


Gráfico 6: Variación mensual de cantidad de incendios forestales a nivel continental y la concentración de carbono negro en el glaciar Shallap, septiembre 2014 – diciembre 2018

En los Gráficos 5 y 6 se aprecian picos y valles con más notoriedad, resaltando el periodo de estación seca y húmeda, donde hay mayor y menor cantidad de incendios forestales respectivamente. Por otro lado la menor incidencia de incendios forestales se ve registrado durante la estación húmeda entre octubre – abril.

En la Grafica 5, se observa que la línea que marca el comportamiento del CN muestreado en el glaciar Yanapaccha hay mayor registro entre mayo - septiembre y menor durante octubre – abril coincidentemente durante la estación seca y húmeda respectivamente.

En cuanto a la línea que sigue la concentración de CN podemos ver en la Gráfica 6 que la concentración de CN correspondiente al glaciar Shallap no sigue un patrón marcado a causa de su cercanía a las grandes ciudades como es el caso de Huaraz, donde hay mayor probabilidad de aporte de CN provenientes del parque automotor, industrias, etc. Que son constantes durante todo el año.

En cuanto a la relación que guardan ambas variables respecto a los glaciares Yanapaccha y Shallap se aprecia gráficamente que hay relaciones

directas e inversas, ya que tienden a ir en sentidos con la misma dirección y en sentidos con direcciones opuestas en algunos tramos. Esto ocurre en todas las relaciones de los gráficos 5 y 6.

4.3.2. Prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov

Utilizando el valor de significancia de 5% se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 14: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel continental

		Carbono negro (Yanapaccha)	Incendios forestales (continental)
N		52	52
Parámetros normales	Media	86,35267	193923,21
	Desviación típica	138,570840	161531,807
Diferencias más extremas	Absoluta	0,270	0,205
	Positiva	0,253	0,205
	Negativa	-0,270	-0,148
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,944	1,478
Sig. asintót. (bilateral)		0,001	0,025

En la tabla 14; se observa la prueba de normalidad donde se obtuvo que la variable de concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha proviene de una distribución no normal teniendo un $p < 0.05$ y que la variable de incendios forestales a nivel continental proviene de una distribución no normal teniendo un $p < 0.05$; por lo que se acepta la hipótesis alterna H1 en ambos casos. Para Hernández, Fernández y Baptista (2010) estos datos demandan que las variables deben ser procesadas inferencialmente con estadísticos de correlación no paramétricos.

Tabla 15: Prueba de Kolmogorov – Smirnov entre concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel continental

		Carbono negro (Shallap)	Incendios forestales (continental)
N		52	52
Media		182,45083	193923,21

Parámetros normales	Desviación típica	159,056564	161531,807
Diferencias más extremas	Absoluta	0,178	0,205
	Positiva	0,178	0,205
	Negativa	-0,127	-0,148
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,282	1,478
Sig. asintót. (bilateral)		0,075	0,025

En la tabla 15; se aprecia la prueba de normalidad donde se obtuvo que la variable de concentración de carbono negro en el glaciar Shallap proviene de una distribución normal teniendo un $p \geq 0.05$ por lo que se acepta la hipótesis nula H_0 ; en cambio la variable de incendios forestales a nivel continental proviene de una distribución no normal teniendo un $p < 0.05$. Para Hernández, Fernández y Baptista (2010) estos datos demandan que las variables deben ser procesadas inferencialmente con estadísticos de correlación no paramétricos.

4.3.3. Correlación de datos

La correlación a utilizar es Rho de Spearman, debido al resultado de normalidad de nuestros datos.

Tabla 16: Correlación Rho de Spearman entre concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel continental

		Carbono negro (Yanapaccha)	Incendios forestales (continental)
Carbono negro (Yanapaccha)	Coeficiente de correlación	1,000	0,228
	Sig. (bilateral)	.	0,104
	N	52	52
Incendios forestales (continental)	Coeficiente de correlación	0,228	1,000
	Sig. (bilateral)	0,104	.
	N	52	52

En la tabla 16, se aprecia el grado de relación entre ambas variables, como el valor de “p” calculado es mayor al 0.05 ($0.104 > 0.05$) se descarta

cualquier tipo de correlación entre las variables concentración de carbono negro del glaciar Yanapaccha e incendios forestales a nivel continental.

Tabla 17: Correlación Rho de Spearman entre concentración de carbono negro del glaciar Shallap e incendios forestales a nivel continental

		Carbono negro (Shallap)	Incendios forestales (continental)
Carbono negro (Shallap)	Coeficiente de correlación	1,000	0,425**
	Sig. (bilateral)	.	0,002
	N	52	52
Incendios forestales (continental)	Coeficiente de correlación	0,425**	1,000
	Sig. (bilateral)	0,002	.
	N	52	52

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

En la tabla 14, se aprecia el grado de relación entre ambas variables, como el valor de “p” calculado es menor al 0.01 ($0.002 < 0.01$) y el coeficiente rho de Spearman es de 0.425. Se puede afirmar con un 99% de confianza que existe una relación positiva moderada entre la concentración de carbono negro en el glaciar Shallap y los incendios ocurridos a nivel continental.

4.4. Mapas de densidad de Incendios forestales

Para determinar los mapas de densidad de calor se obtuvo tomando los meses con mayor y menor concentración de carbono negro para ambos glaciares por cada año.

4.4.1. Mapas de los meses con el mayor índice de CN.

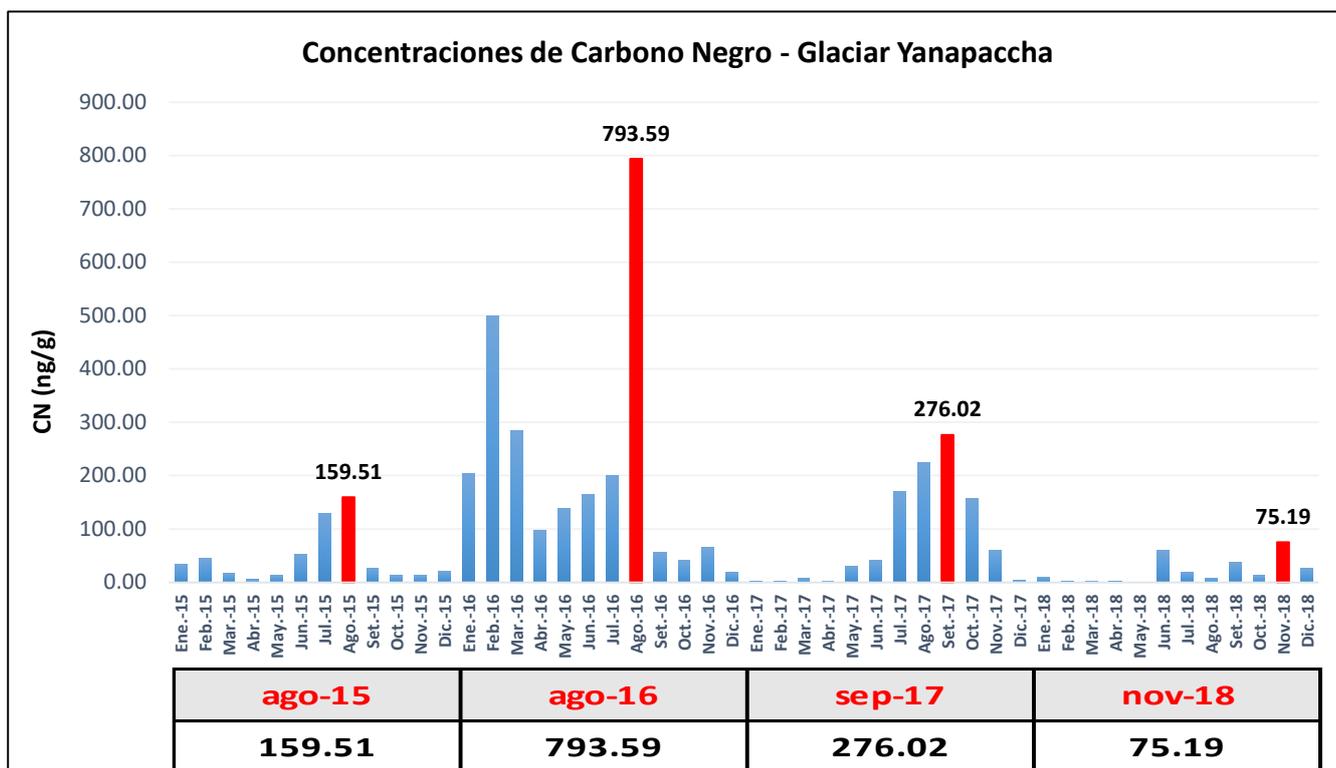


Gráfico 7: Meses con la mayor concentración de carbono negro durante cada año en el glaciar Yanapaccha

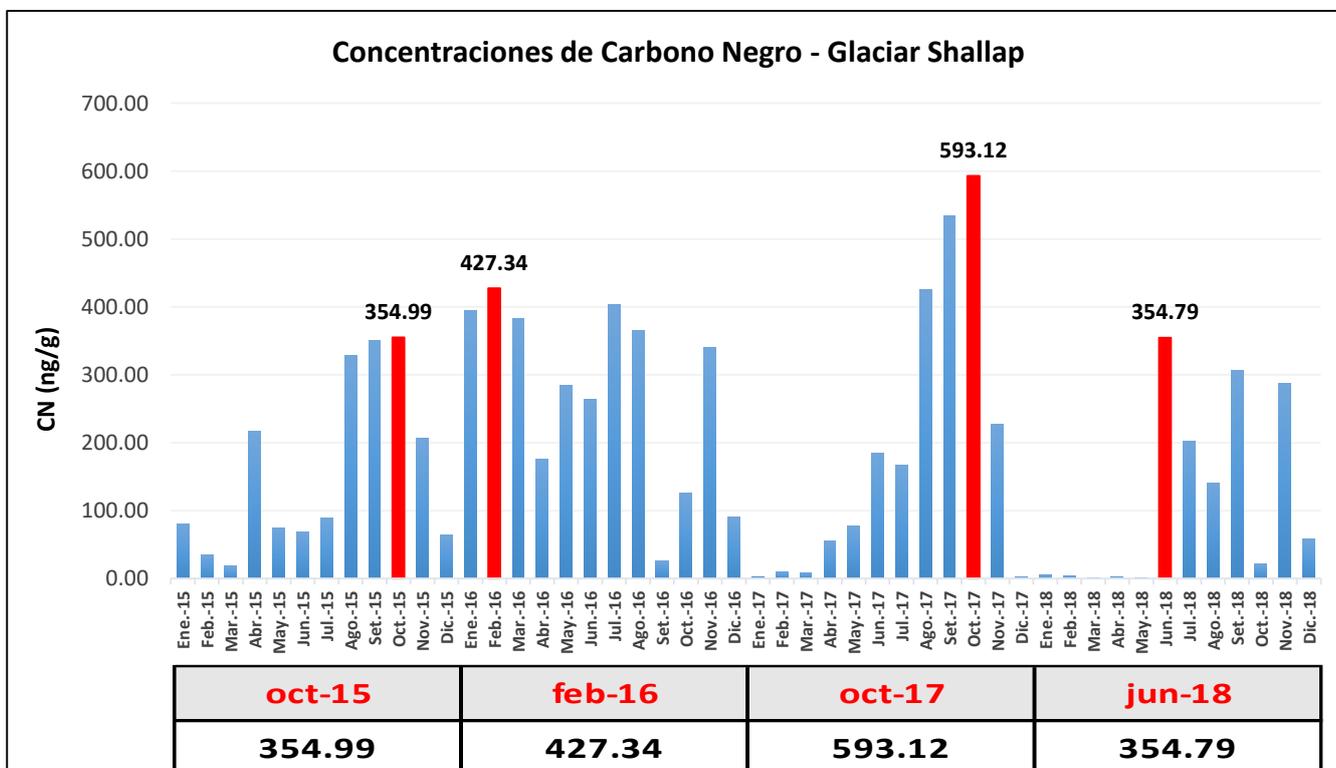
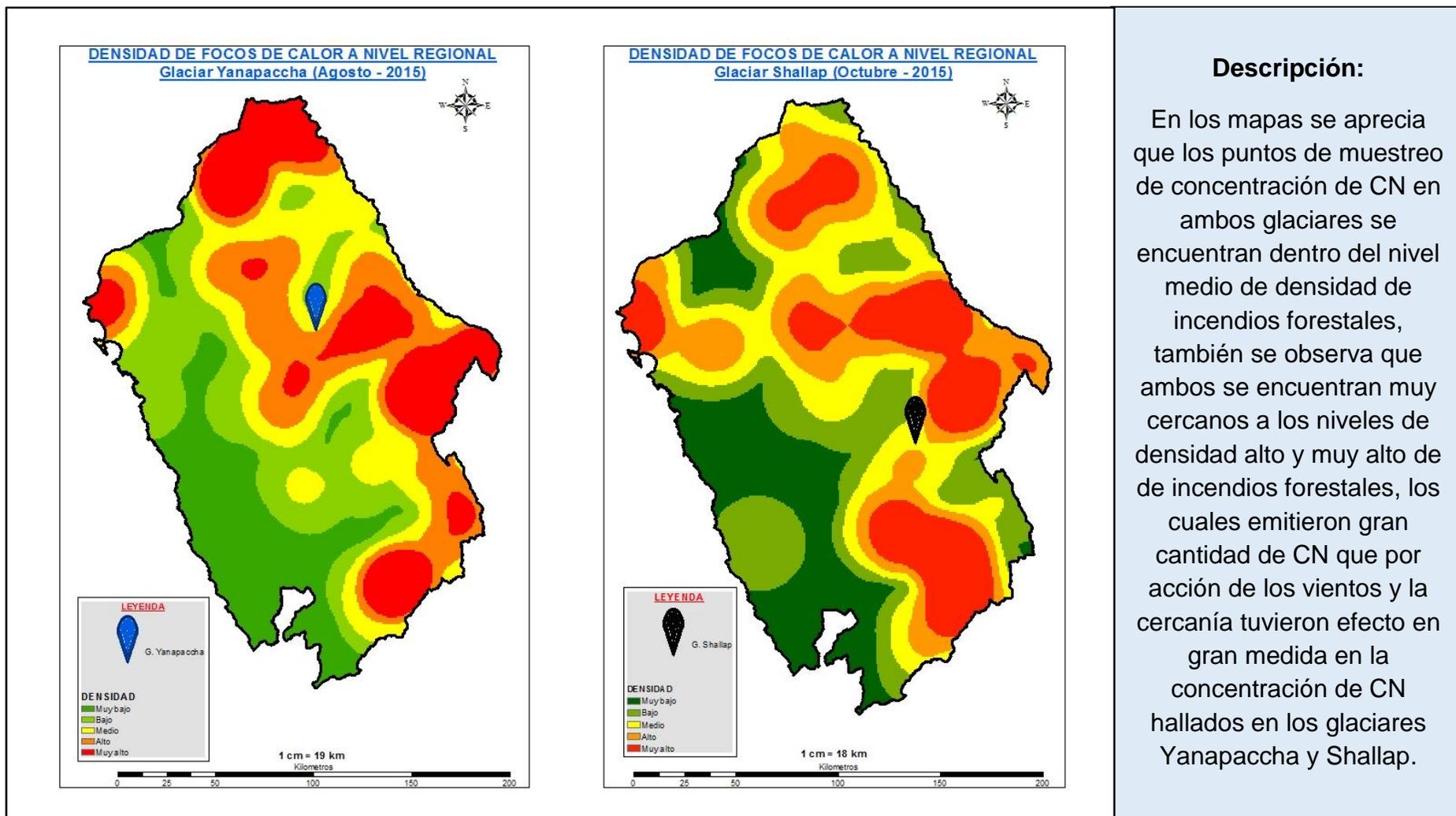


Gráfico 8: Meses con la mayor concentración de carbono negro durante cada año en el glaciar Shallap.

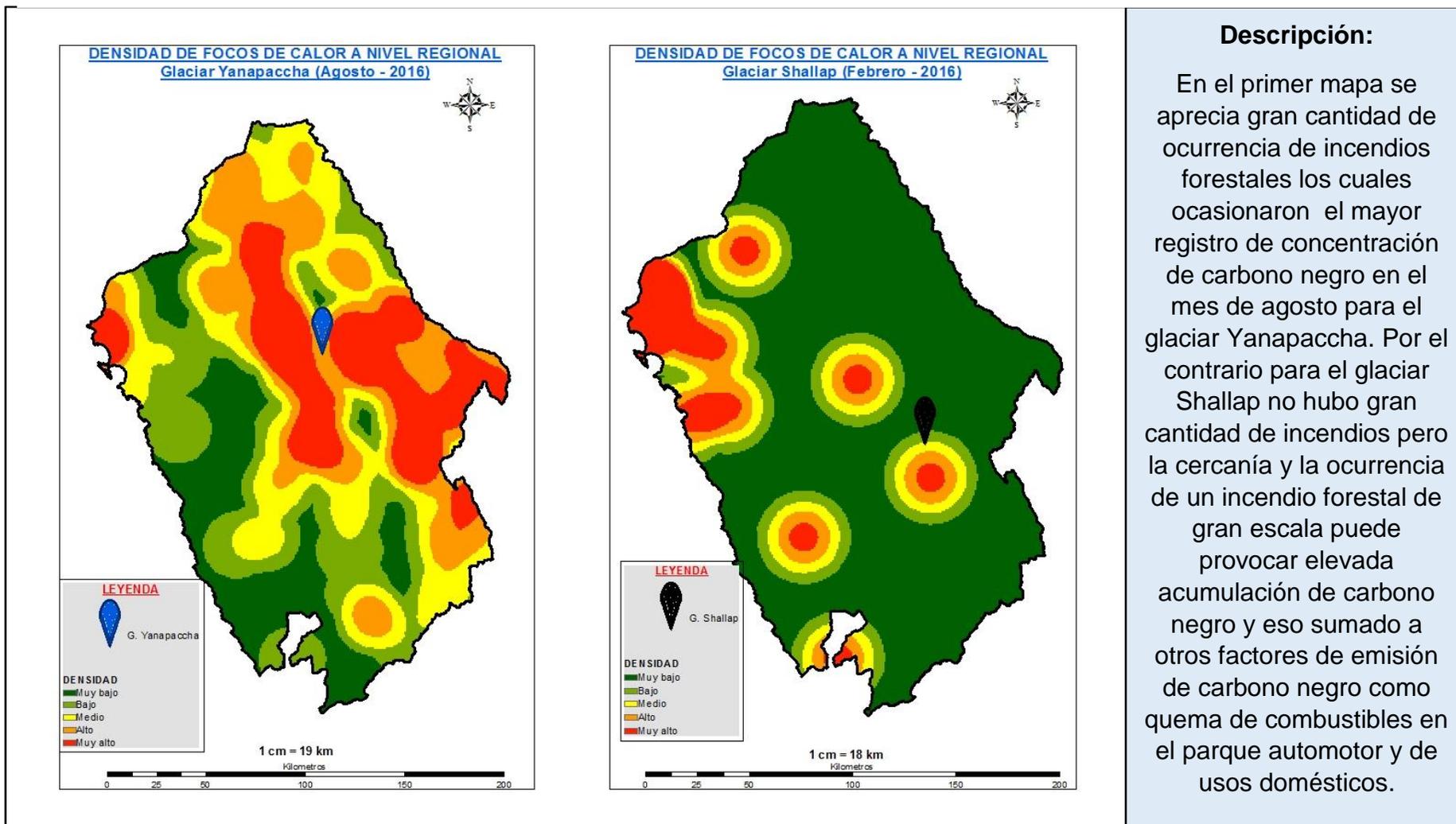
Mapa 1: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015



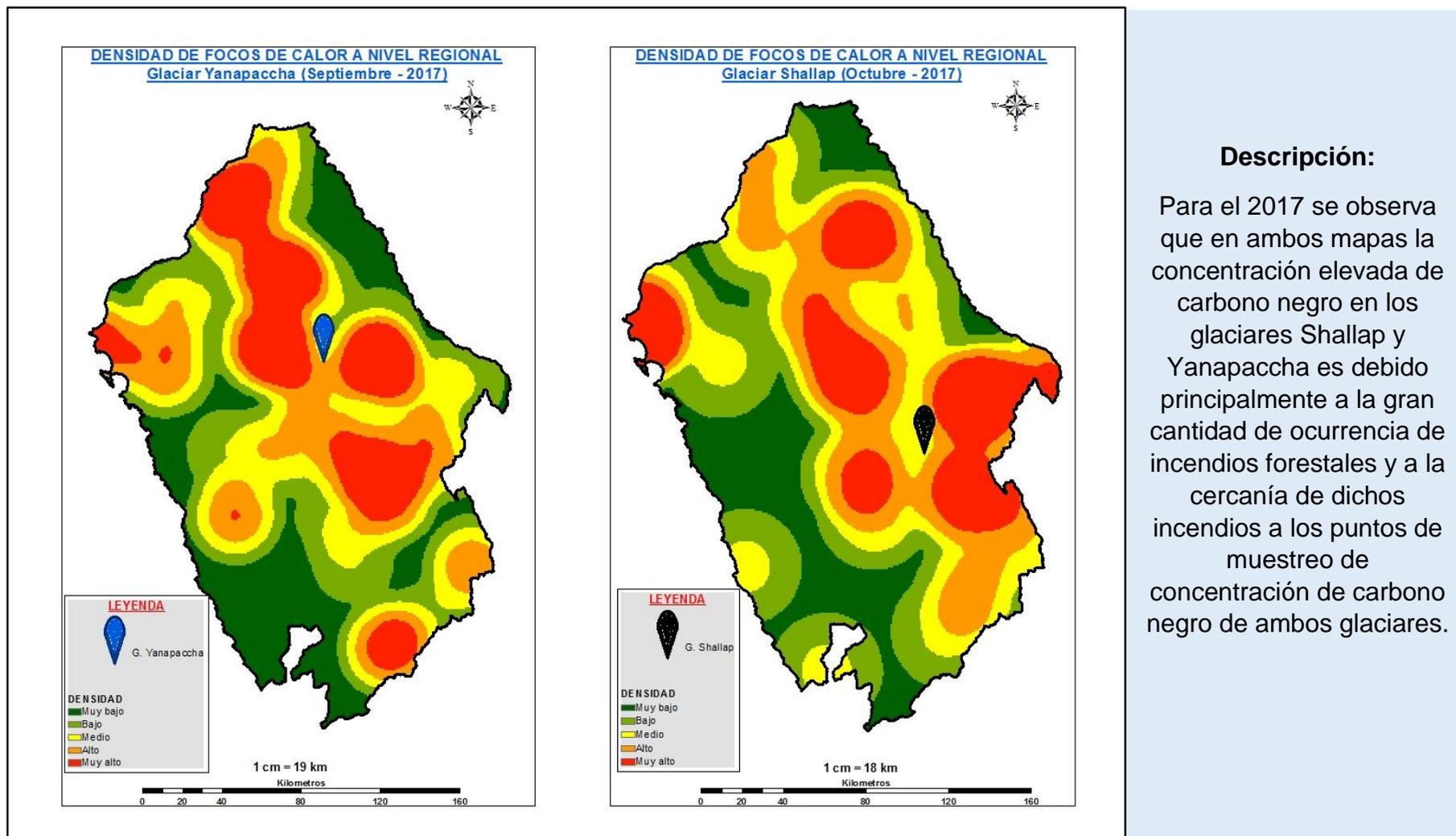
Descripción:

En los mapas se aprecia que los puntos de muestreo de concentración de CN en ambos glaciares se encuentran dentro del nivel medio de densidad de incendios forestales, también se observa que ambos se encuentran muy cercanos a los niveles de densidad alto y muy alto de incendios forestales, los cuales emitieron gran cantidad de CN que por acción de los vientos y la cercanía tuvieron efecto en gran medida en la concentración de CN hallados en los glaciares Yanapaccha y Shallap.

Mapa 2: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016



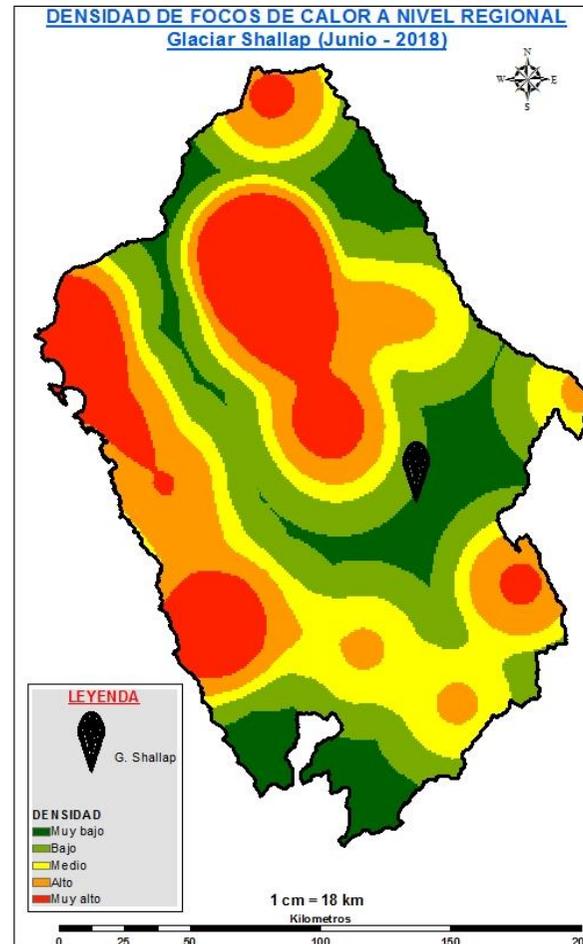
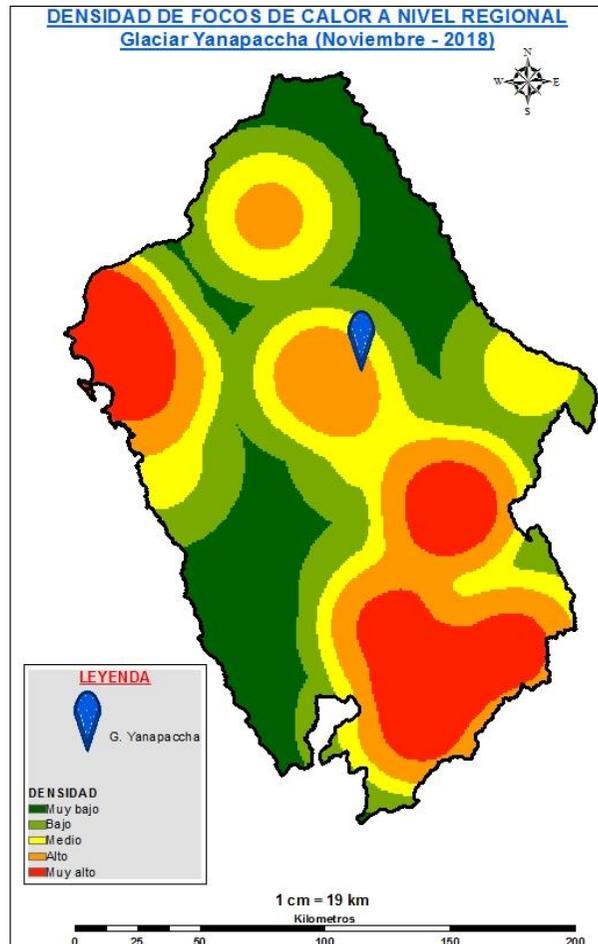
Mapa 3: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017



Descripción:

Para el 2017 se observa que en ambos mapas la concentración elevada de carbono negro en los glaciares Shallap y Yanapaccha es debido principalmente a la gran cantidad de ocurrencia de incendios forestales y a la cercanía de dichos incendios a los puntos de muestreo de concentración de carbono negro de ambos glaciares.

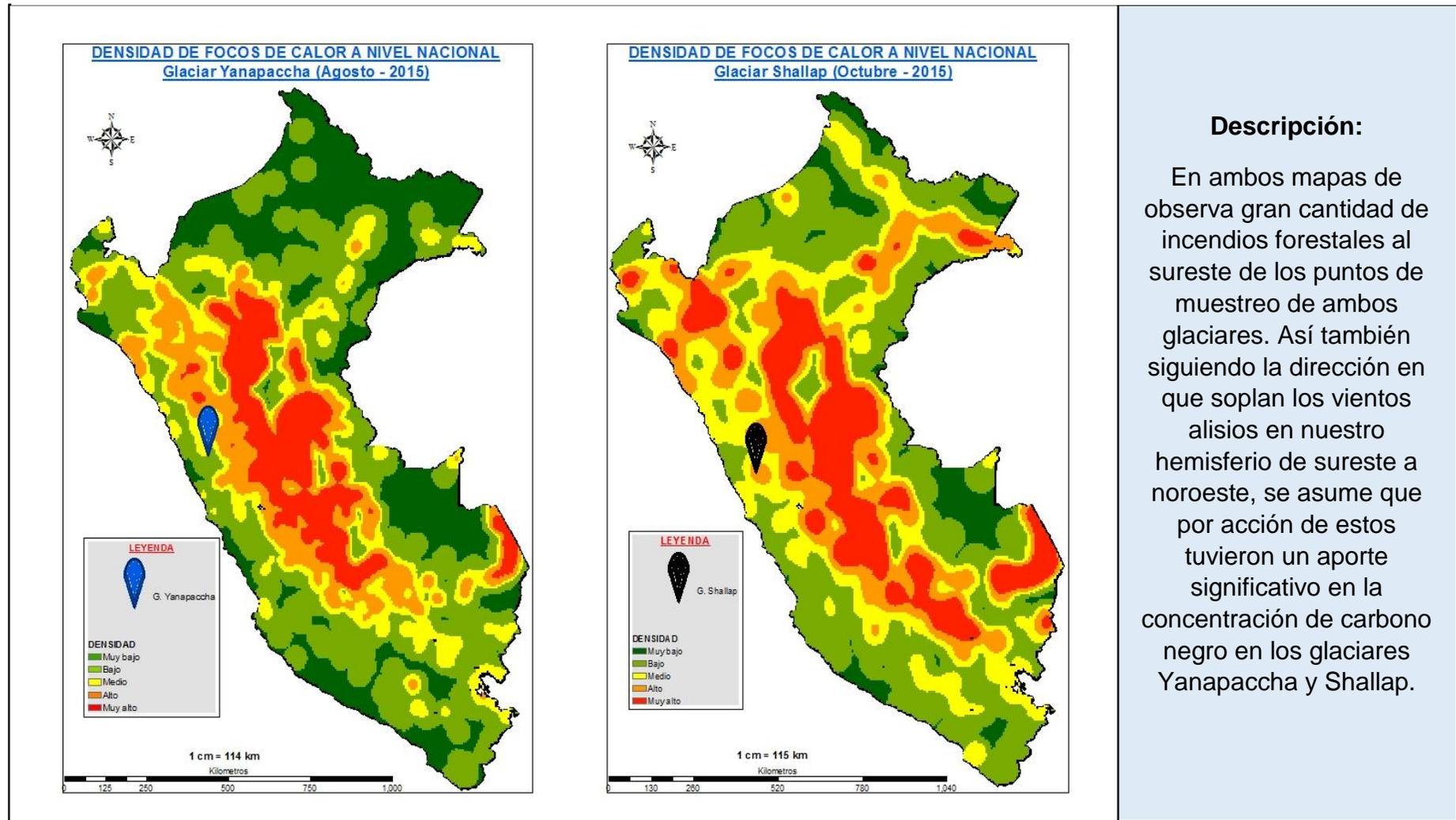
Mapa 4: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018



Descripción:

En el primer mapa se observa la alta concentración de carbono negro en el glaciar Yanapaccha es principalmente a causa de los incendios forestales ocurridos cerca de dicho glaciar. Por otro lado se aprecia que cerca al glaciar Shallap no hubo ocurrencia de incendios forestales, por lo que la concentración alta de carbono negro se le atribuye con mayor influencia a producto de la actividad humana (parque automotor, industrias y productos de uso doméstico); ya que dicho glaciar se encuentra relativamente cerca de la ciudad de Huaraz y otros pequeños poblados.

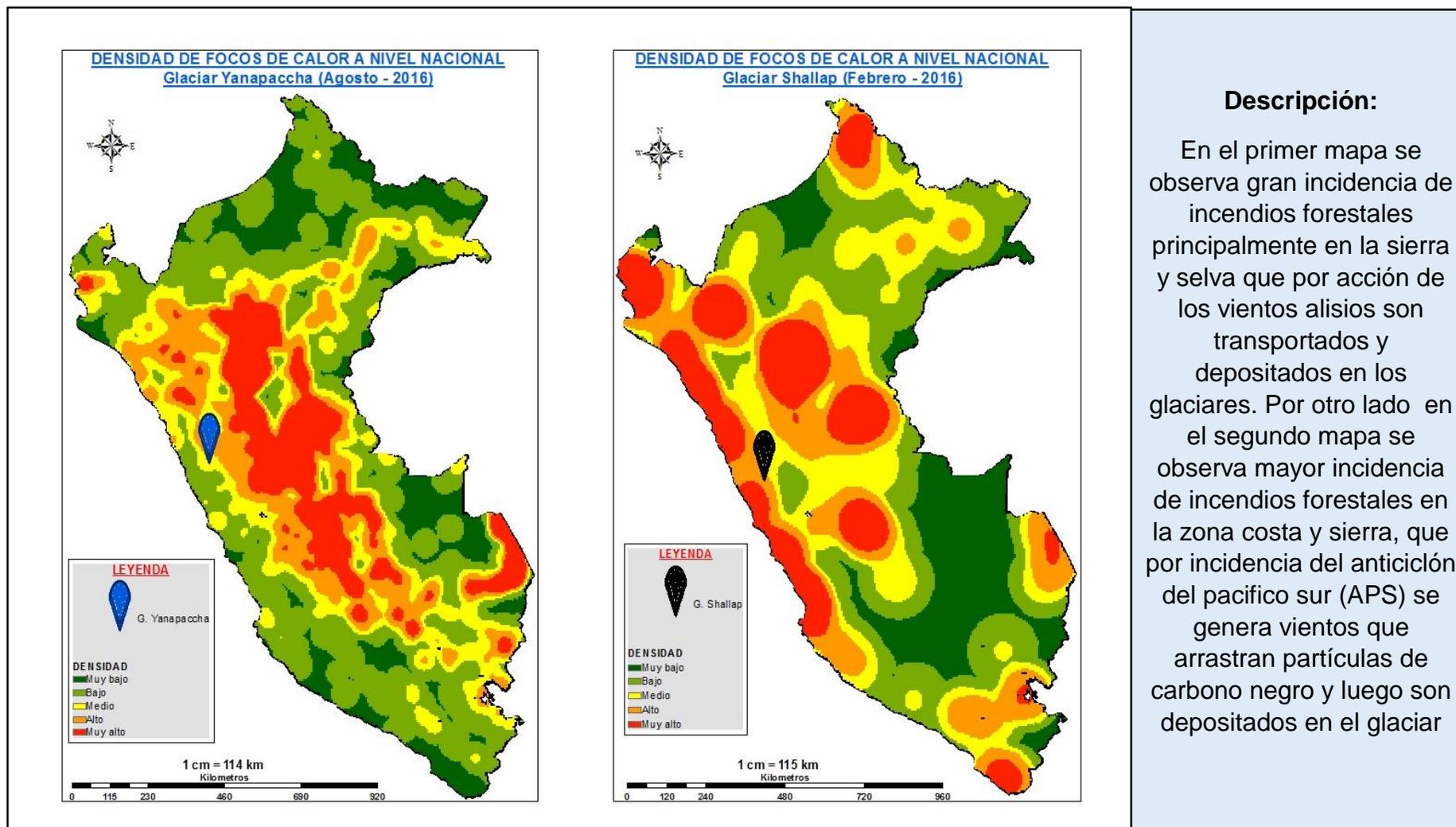
Mapa 5: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015



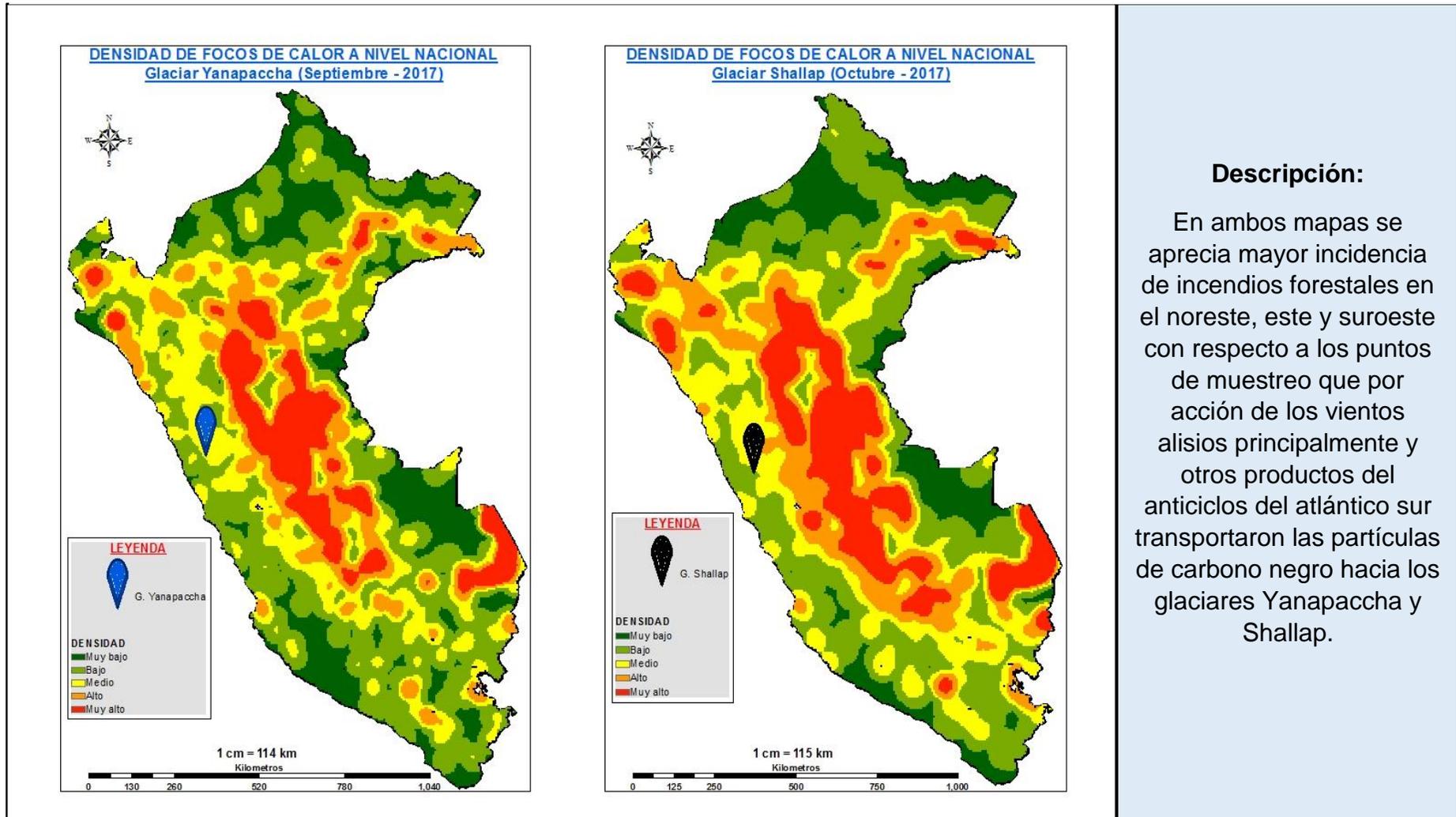
Descripción:

En ambos mapas de observa gran cantidad de incendios forestales al sureste de los puntos de muestreo de ambos glaciares. Así también siguiendo la dirección en que soplan los vientos alisios en nuestro hemisferio de sureste a noroeste, se asume que por acción de estos tuvieron un aporte significativo en la concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap.

Mapa 6: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016



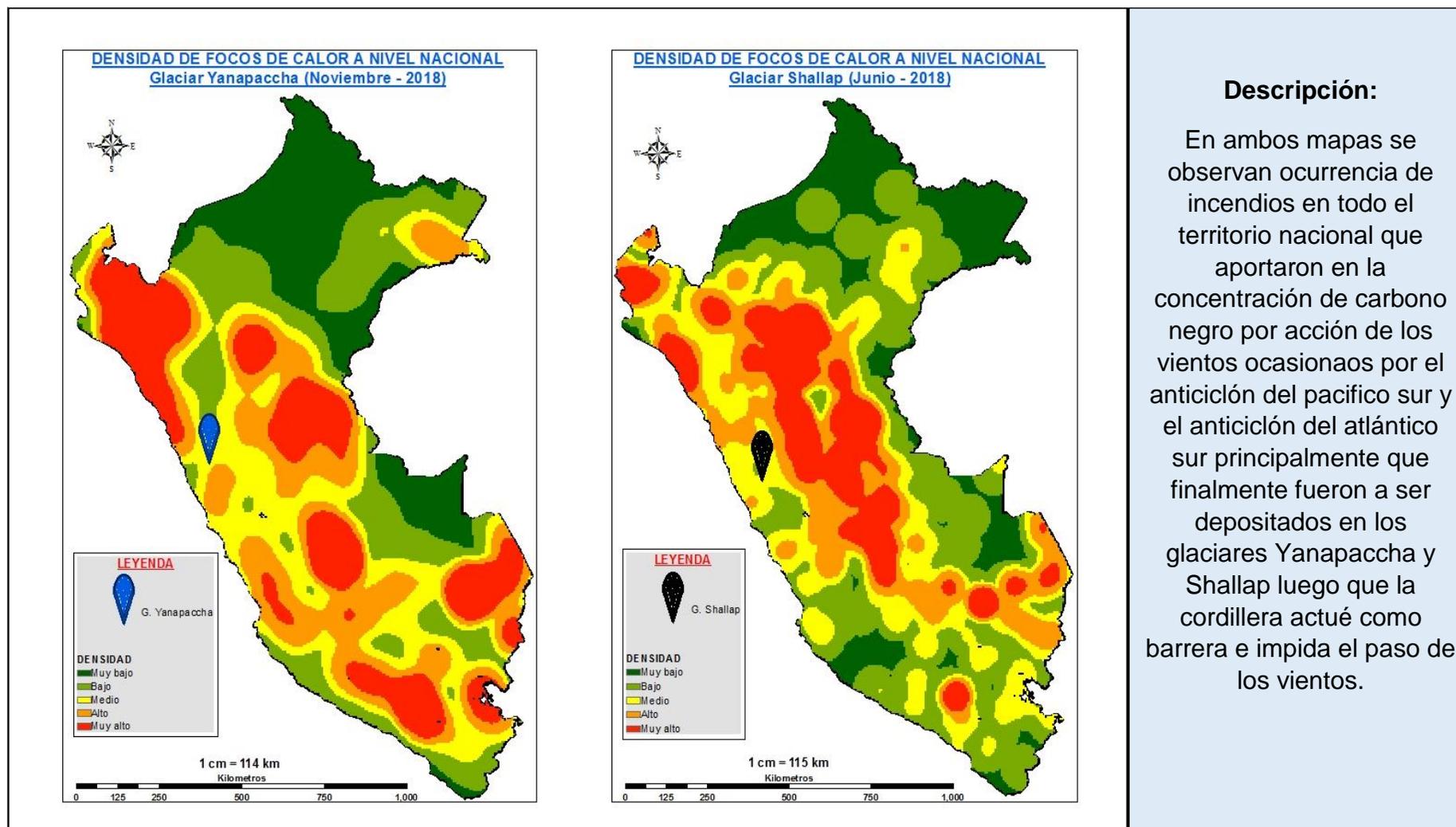
Mapa 7: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017



Descripción:

En ambos mapas se aprecia mayor incidencia de incendios forestales en el noreste, este y suroeste con respecto a los puntos de muestreo que por acción de los vientos alisios principalmente y otros productos del anticiclón del atlántico sur transportaron las partículas de carbono negro hacia los glaciares Yanapaccha y Shallap.

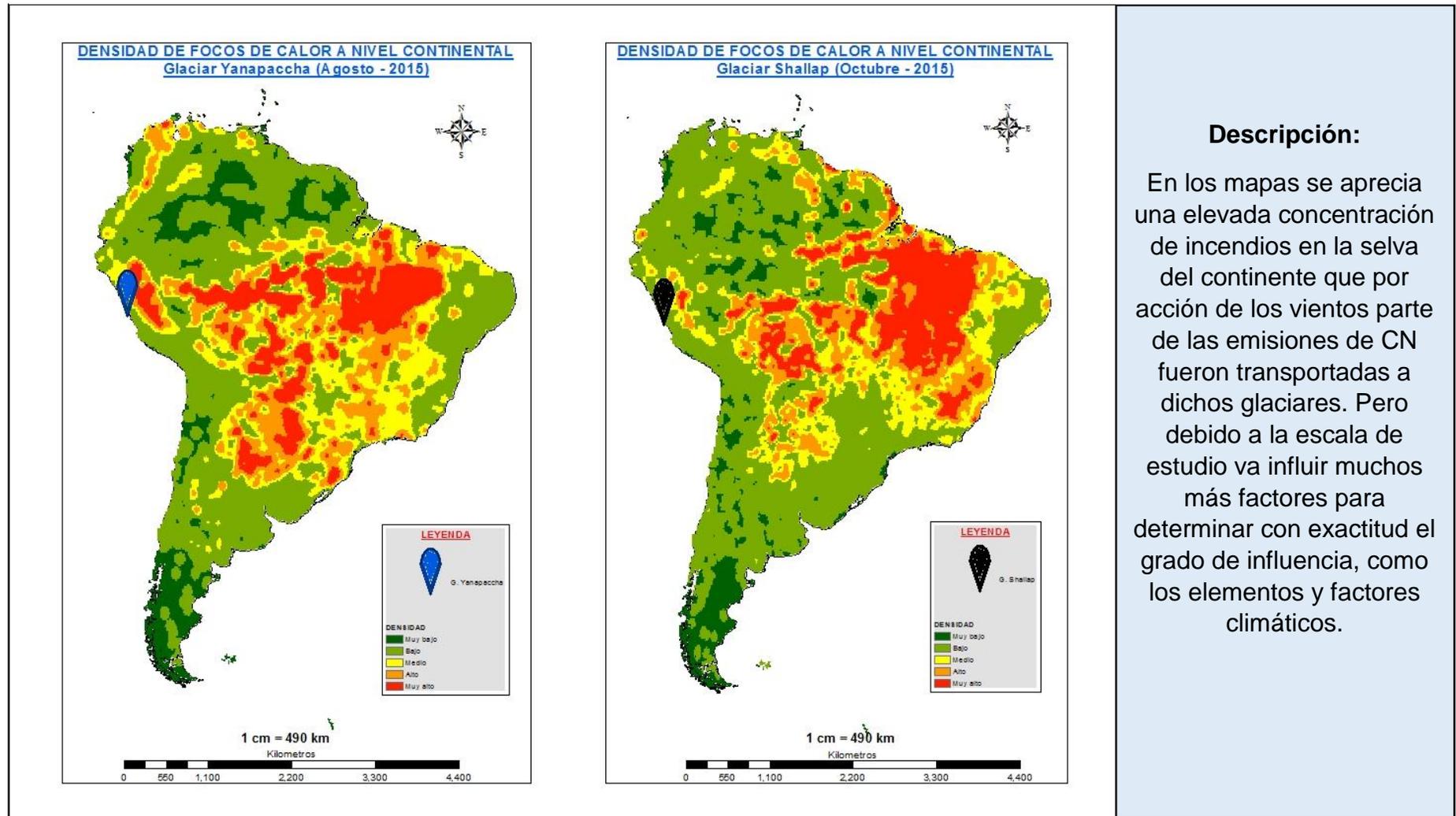
Mapa 8: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018



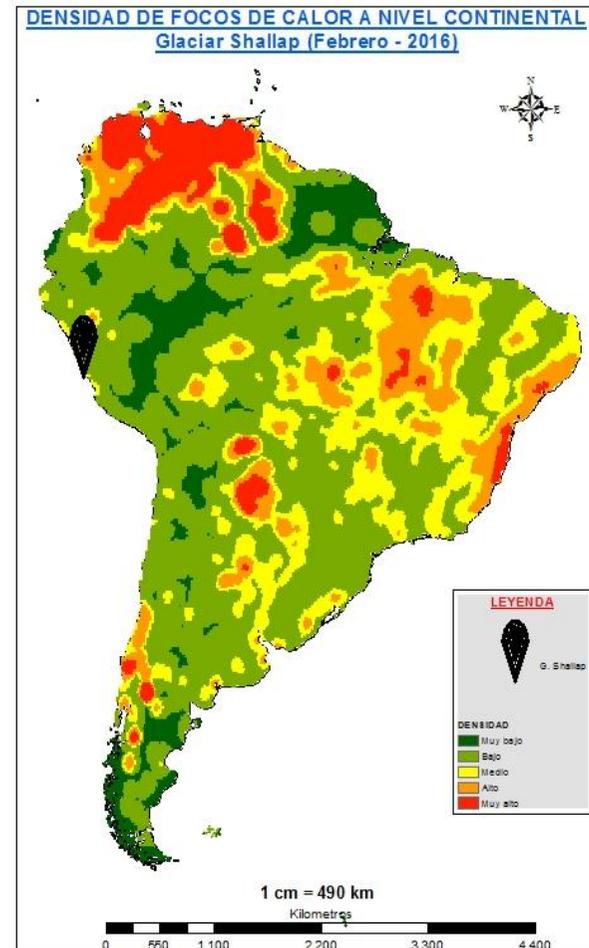
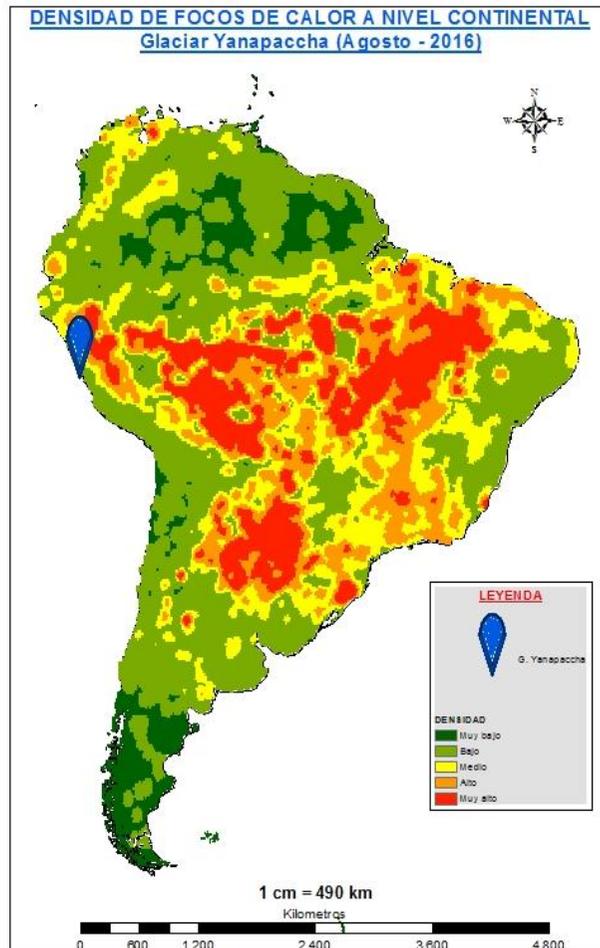
Descripción:

En ambos mapas se observan ocurrencia de incendios en todo el territorio nacional que aportaron en la concentración de carbono negro por acción de los vientos ocasionados por el anticiclón del pacífico sur y el anticiclón del atlántico sur principalmente que finalmente fueron a ser depositados en los glaciares Yanapaccha y Shallap luego que la cordillera actuó como barrera e impida el paso de los vientos.

Mapa 9: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015



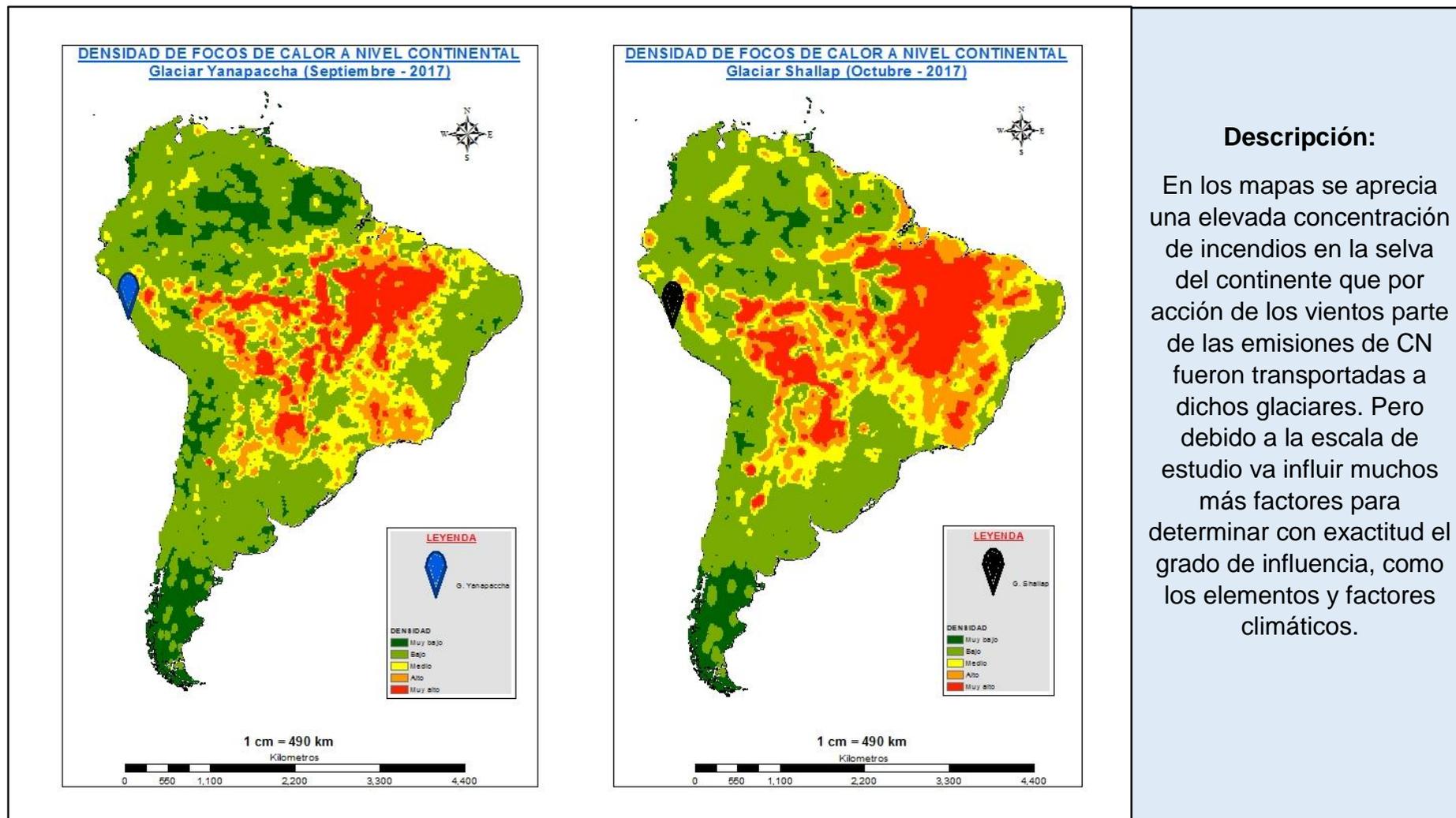
Mapa 10: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016



Descripción:

En el primer mapa se aprecia que los incendios se concentraron al este y sureste los cuales sugieren un aporte debido a los vientos alisios. Por otro lado se observa incendios forestales en su mayoría en los litorales del continente y por el mes de ocurrencia que corresponde a la estación húmeda se prevé que el mayor aporte es por los incendios ocurridos a nivel regional.

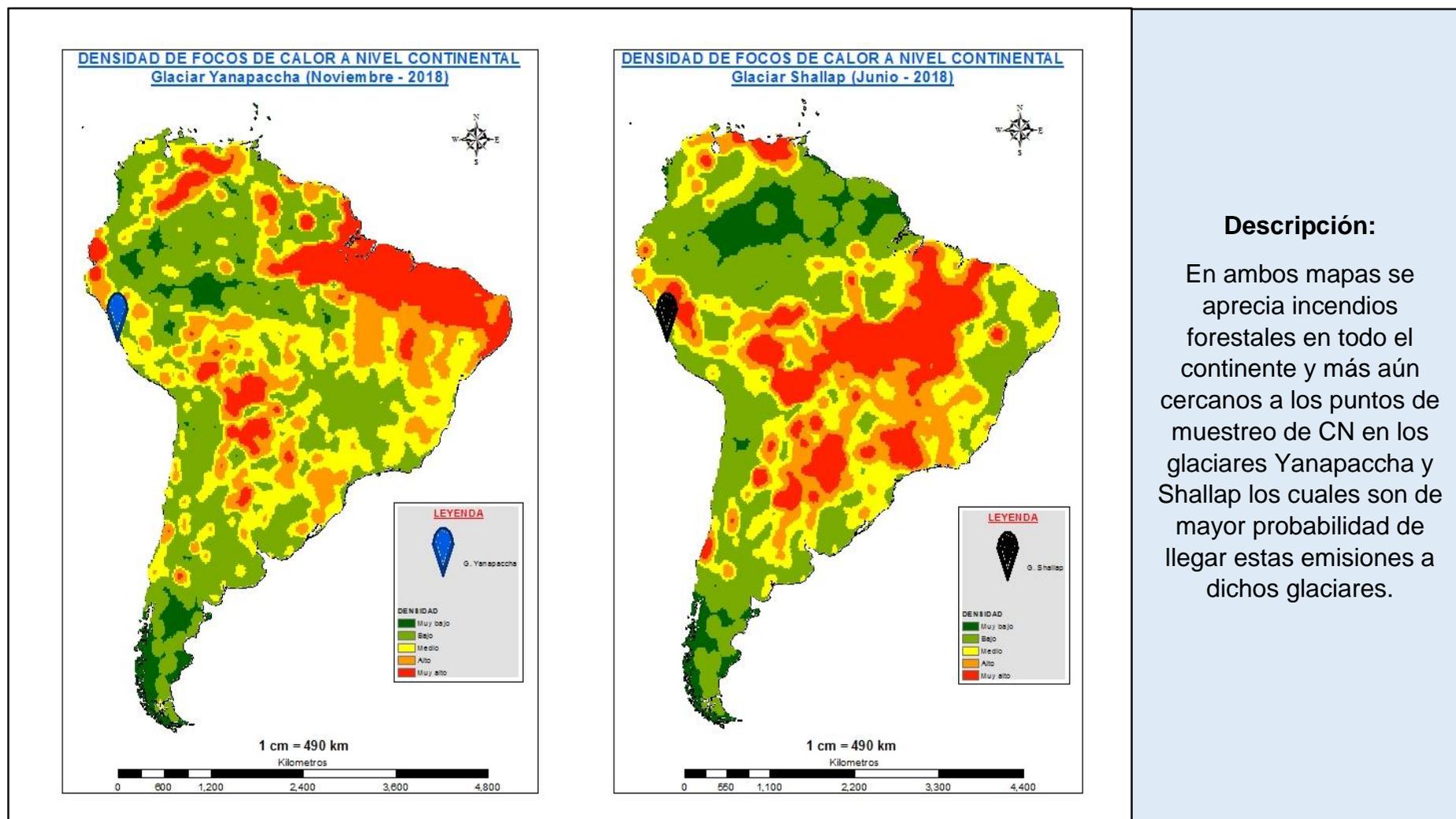
Mapa 11: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017



Descripción:

En los mapas se aprecia una elevada concentración de incendios en la selva del continente que por acción de los vientos parte de las emisiones de CN fueron transportadas a dichos glaciares. Pero debido a la escala de estudio va influir muchos más factores para determinar con exactitud el grado de influencia, como los elementos y factores climáticos.

Mapa 12: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de mayor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018



4.4.2. Mapas de los meses con el menor índice de CN.

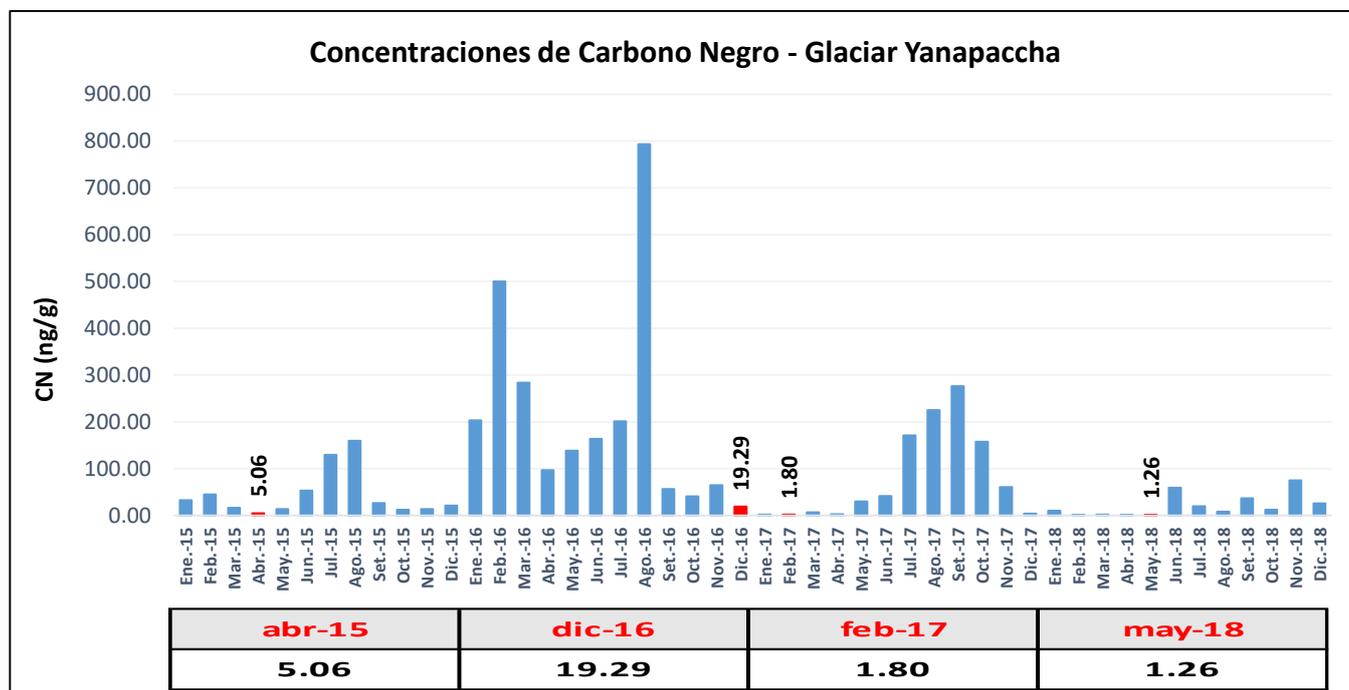


Gráfico 9: Meses con la menor concentración de carbono negro durante cada año en el glaciar Yanapaccha

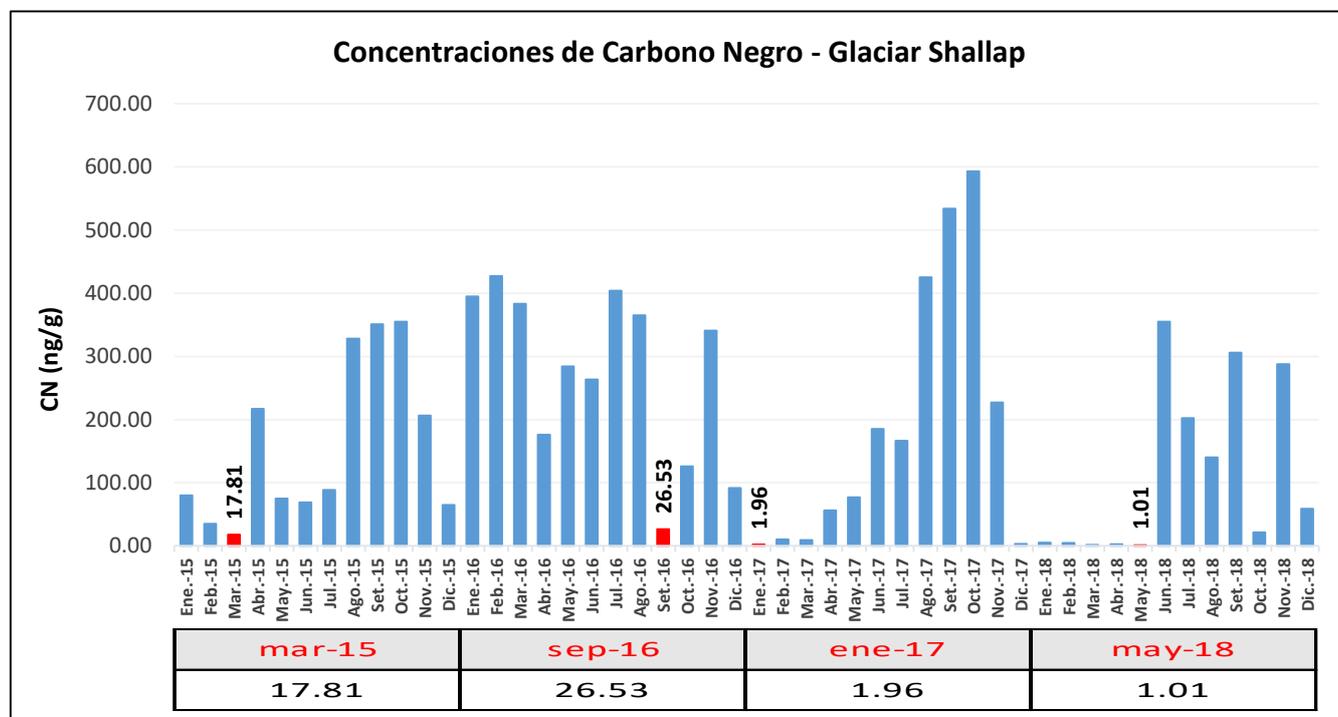
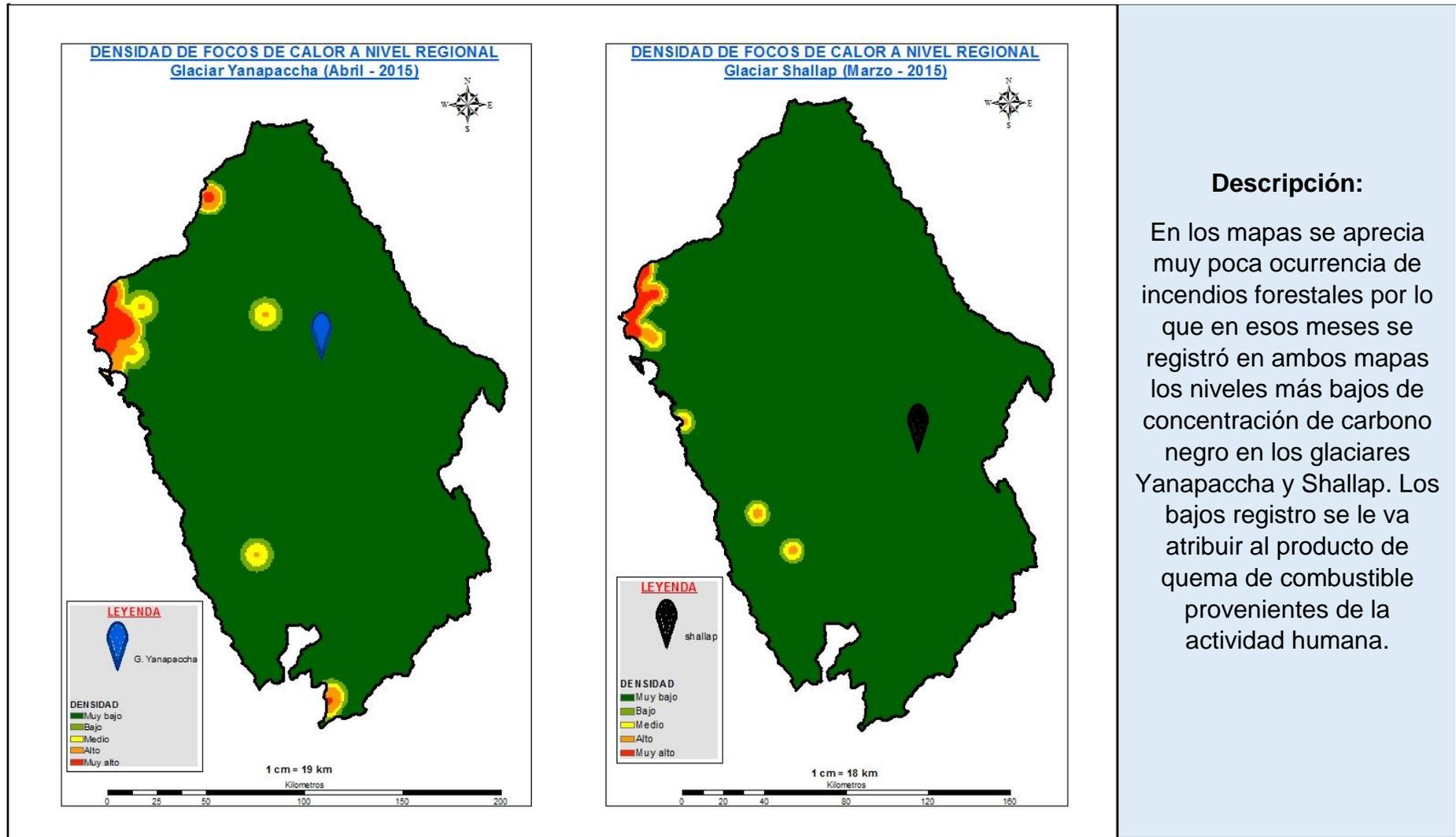
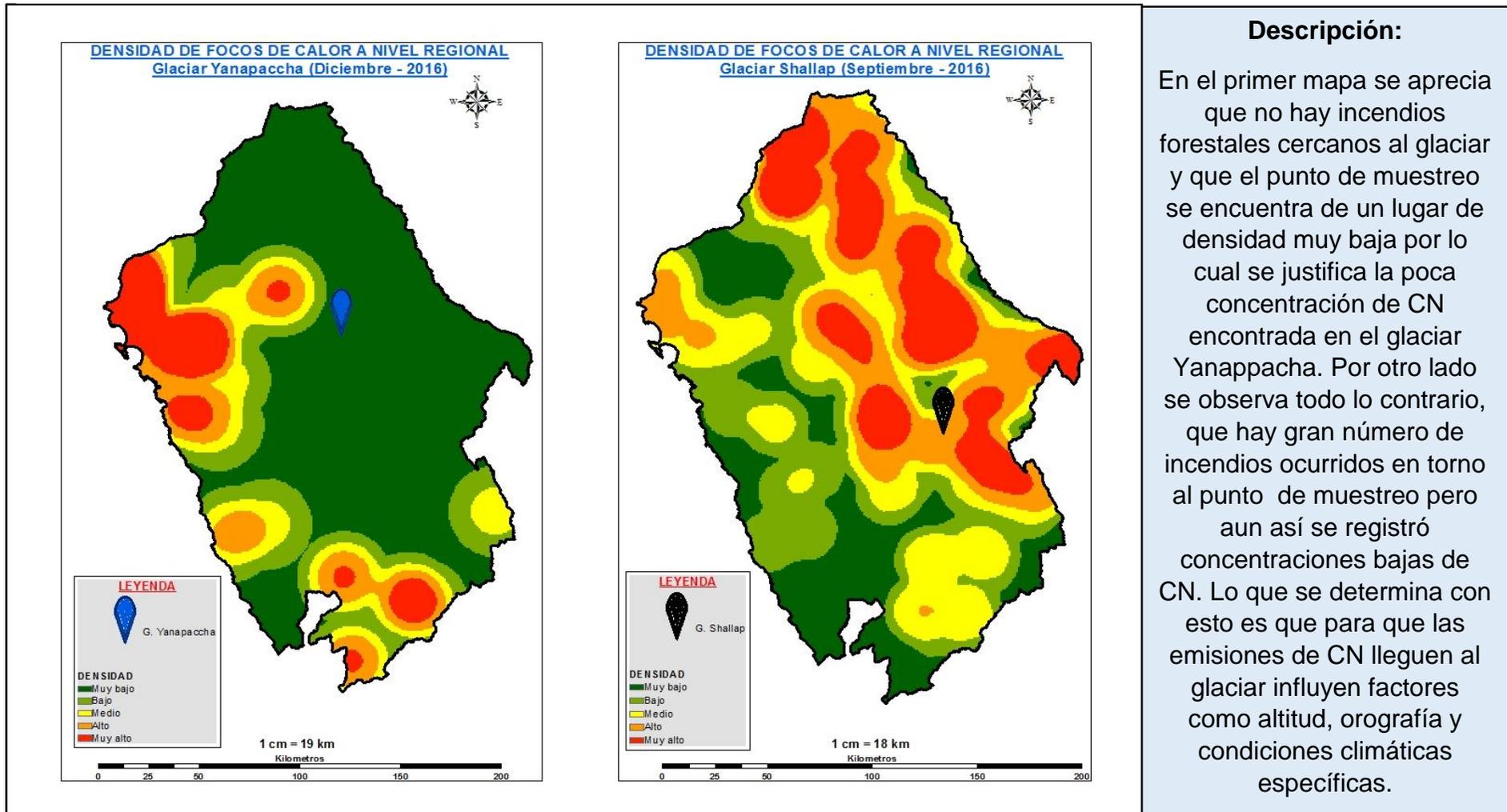


Gráfico 10: Meses con la menor concentración de carbono negro durante cada año en el glaciar Shallap

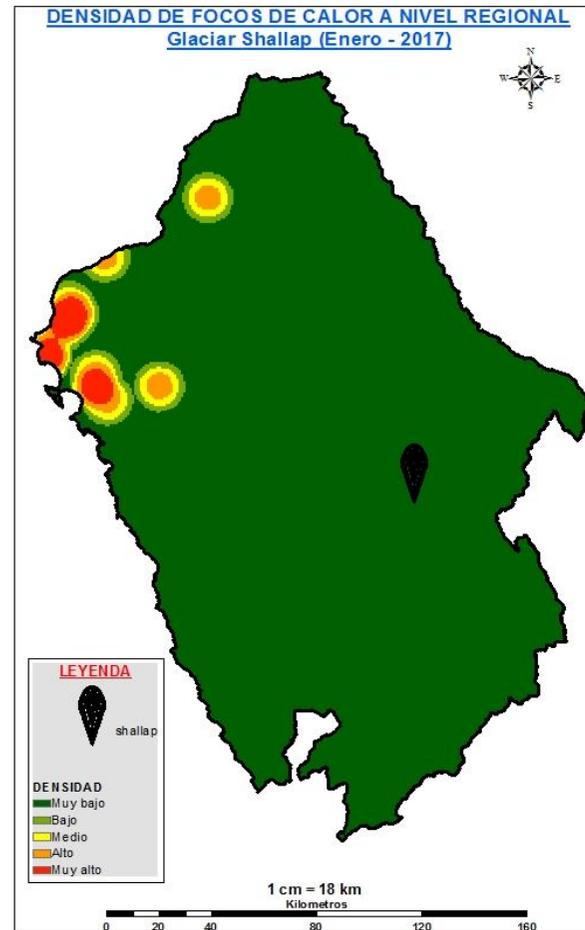
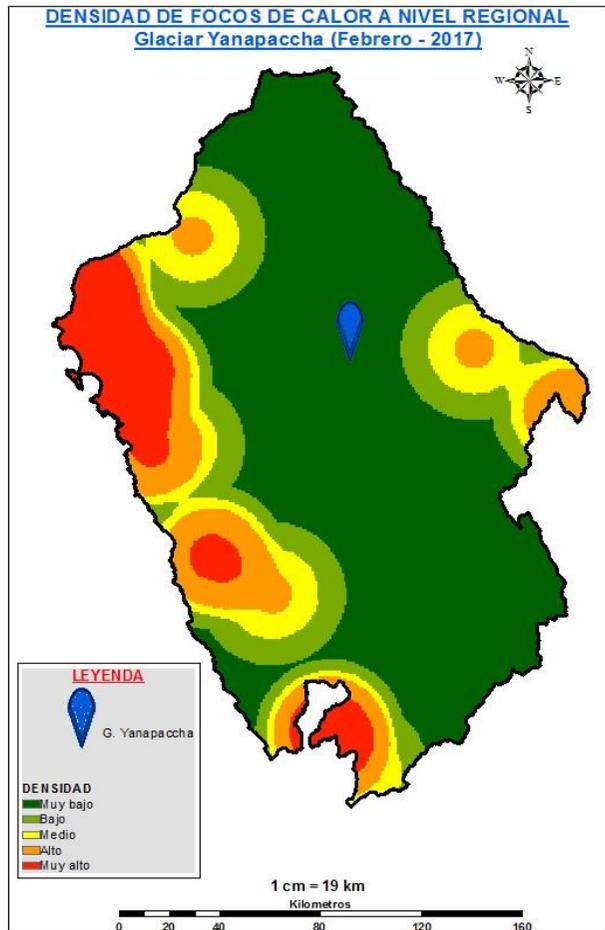
Mapa 13: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015



Mapa 14: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016



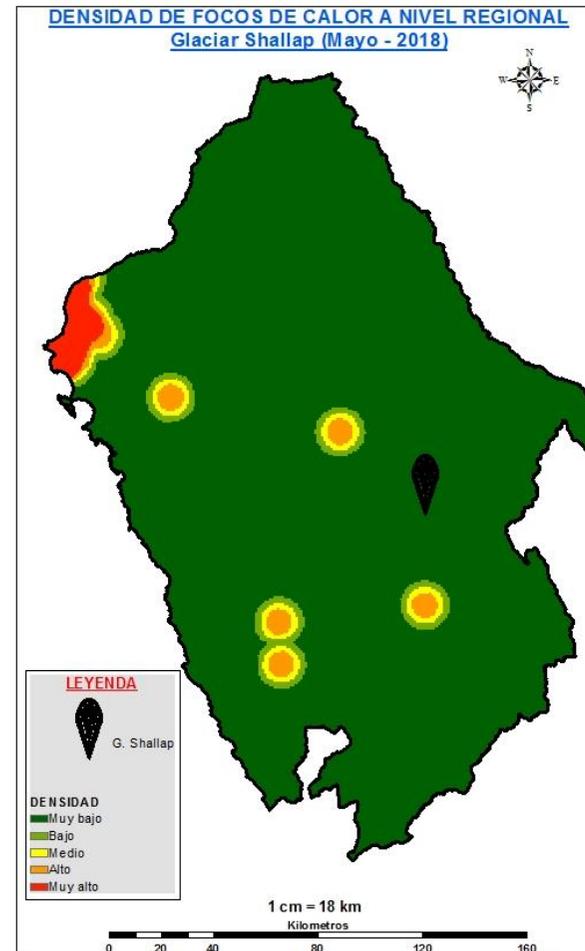
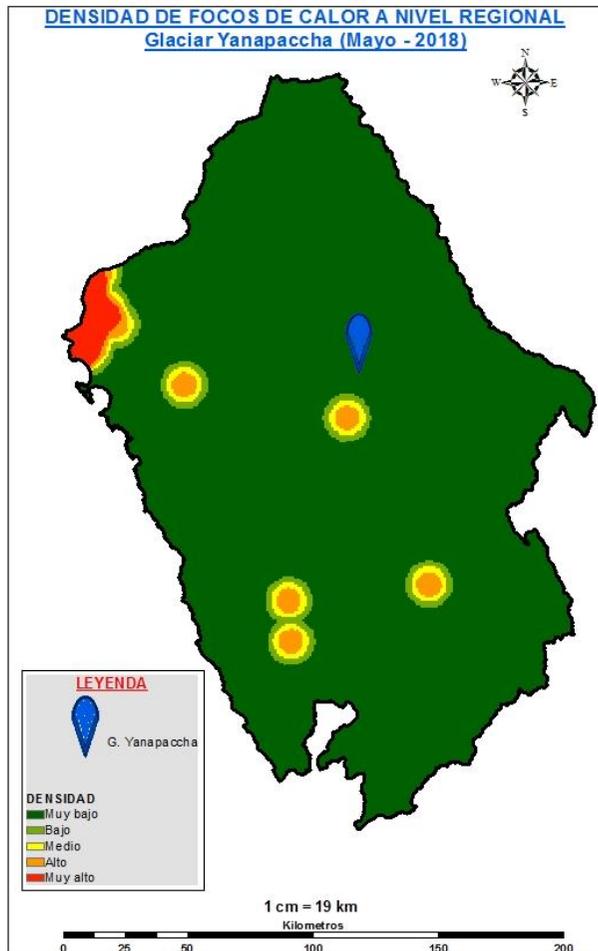
Mapa 15: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017



Descripción:

En ambos mapas se aprecia que los puntos de muestreo se encuentran donde la densidad de incendios forestales es muy baja. Los registros de concentración de carbono negro se le atribuyen a los productos de la actividad humana que es constante durante todo el año.

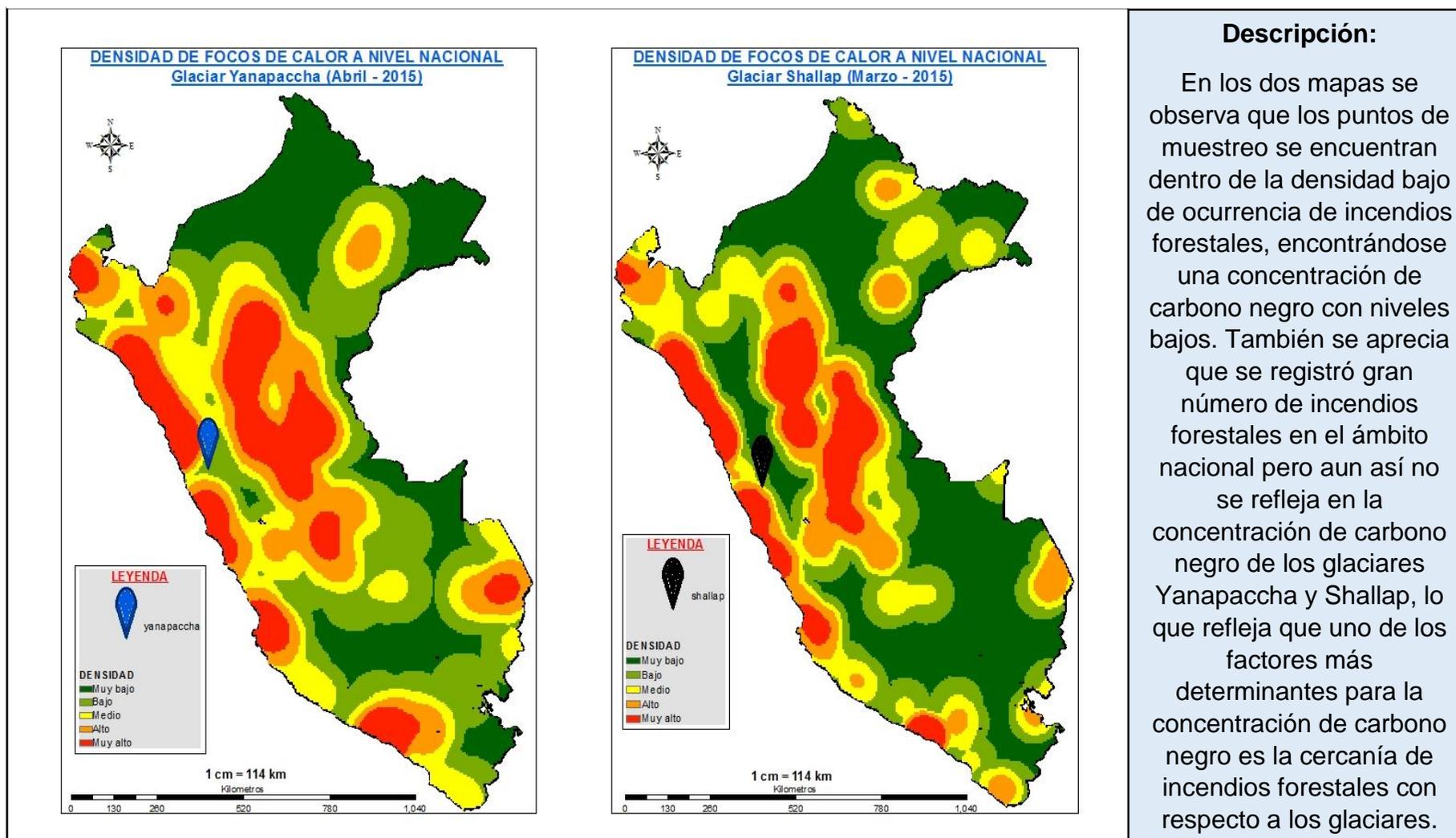
Mapa 16: Densidad de incendios forestales a nivel regional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018



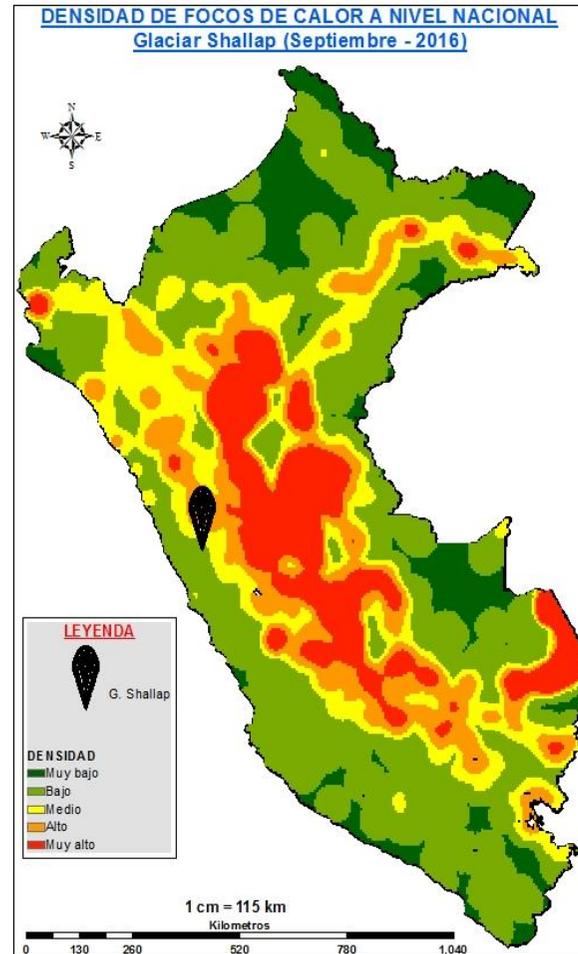
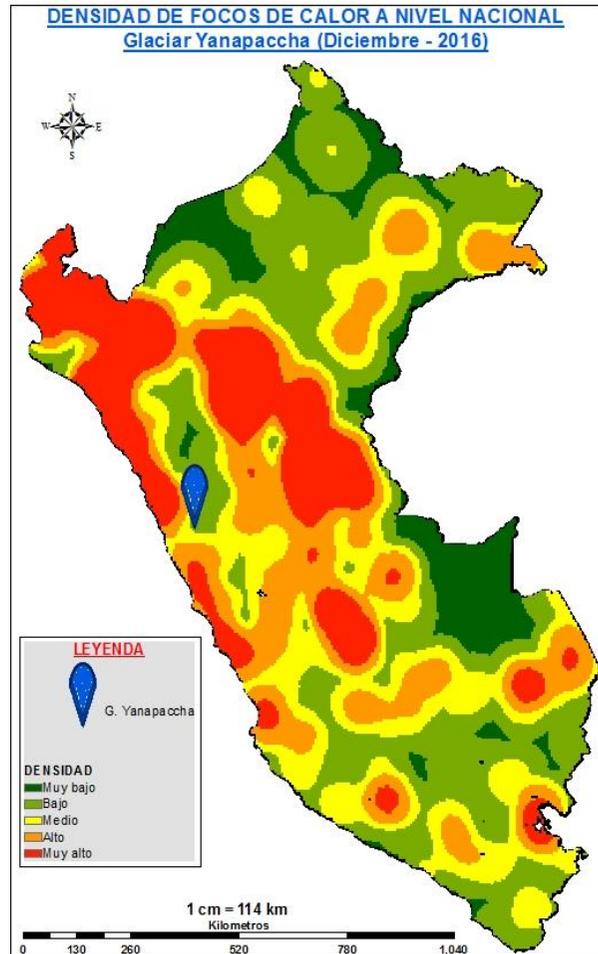
Descripción:

En los mapas se aprecia muy poca ocurrencia de incendios forestales por lo que en esos meses se registró en ambos mapas los niveles más bajos de concentración de carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap. Los bajos registro se le va atribuir al producto de quema de combustible provenientes de la actividad humana

Mapa 17: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015



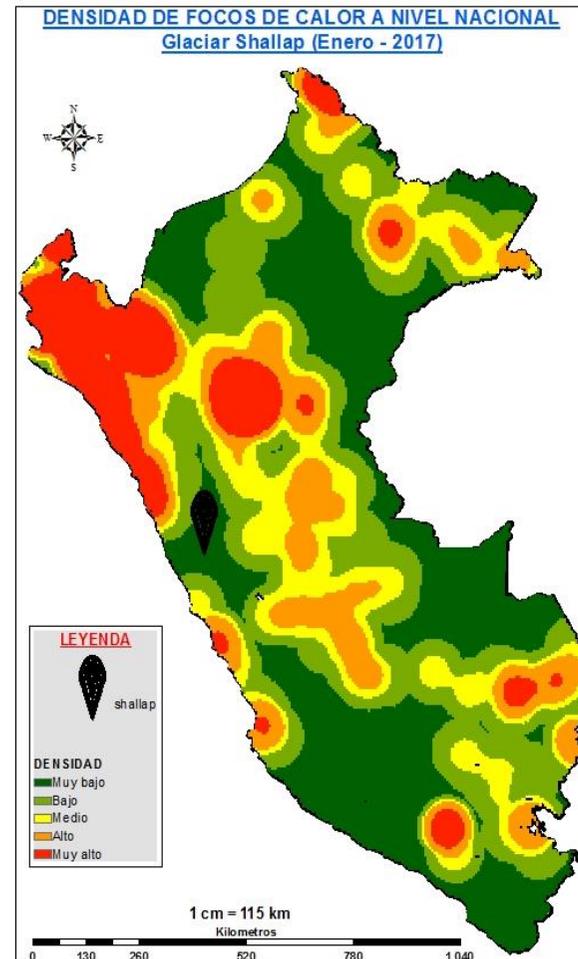
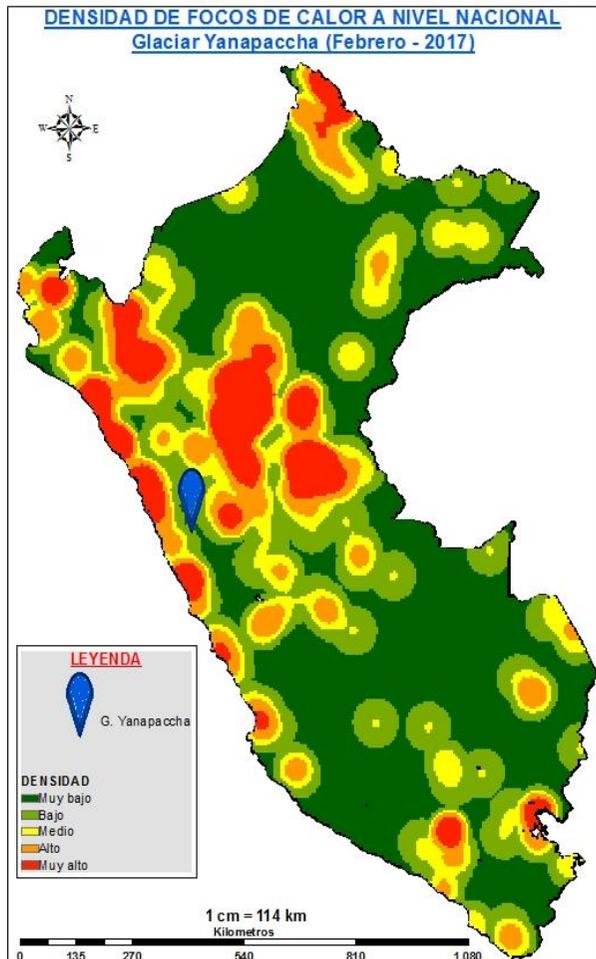
Mapa 18: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016



Descripción:

Al igual que los mapas mostrados anteriormente se observa que los puntos de muestreo se encuentran dentro de la densidad bajo de incendios forestales, encontrándose una concentración de carbono negro con niveles bajos. También se aprecia que se registró gran número de incendios forestales en el ámbito nacional pero aun así no se refleja en la concentración de carbono negro de los glaciares Yanapaccha y Shallap, lo que refleja que uno de los factores más determinantes para la concentración de carbono negro es la cercanía de incendios forestales con respecto a los glaciares.

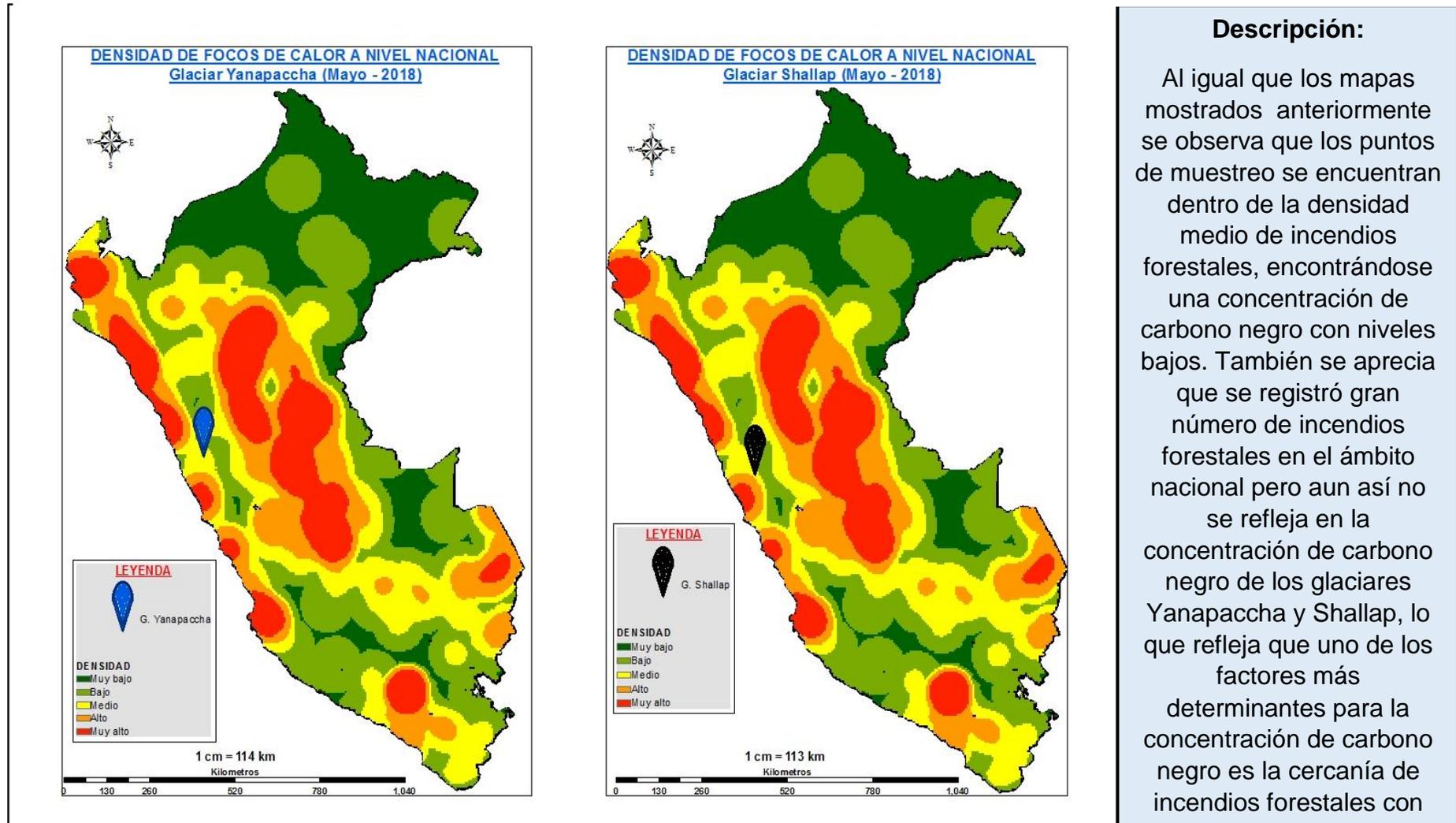
Mapa 19: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017



Descripción:

Al igual que los mapas mostrados anteriormente se observa que los puntos de muestreo se encuentran dentro de la densidad bajo de incendios forestales, encontrándose una concentración de carbono negro con niveles bajos. También se aprecia que se registró gran número de incendios forestales en el ámbito nacional pero aun así no se refleja en la concentración de carbono negro de los glaciares Yanapaccha y Shallap, lo que refleja que uno de los factores más determinantes para la concentración de carbono negro es la cercanía de incendios forestales con respecto a los glaciares.

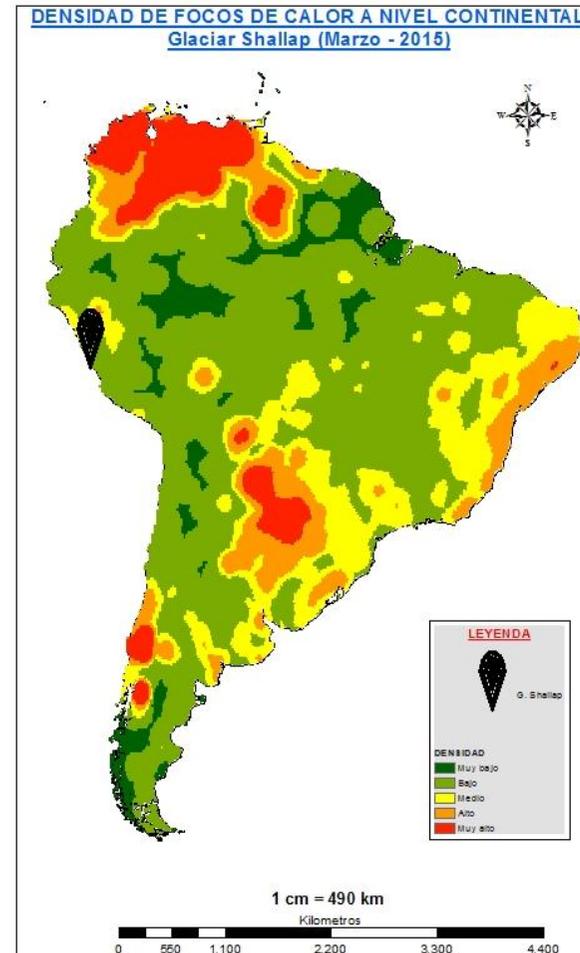
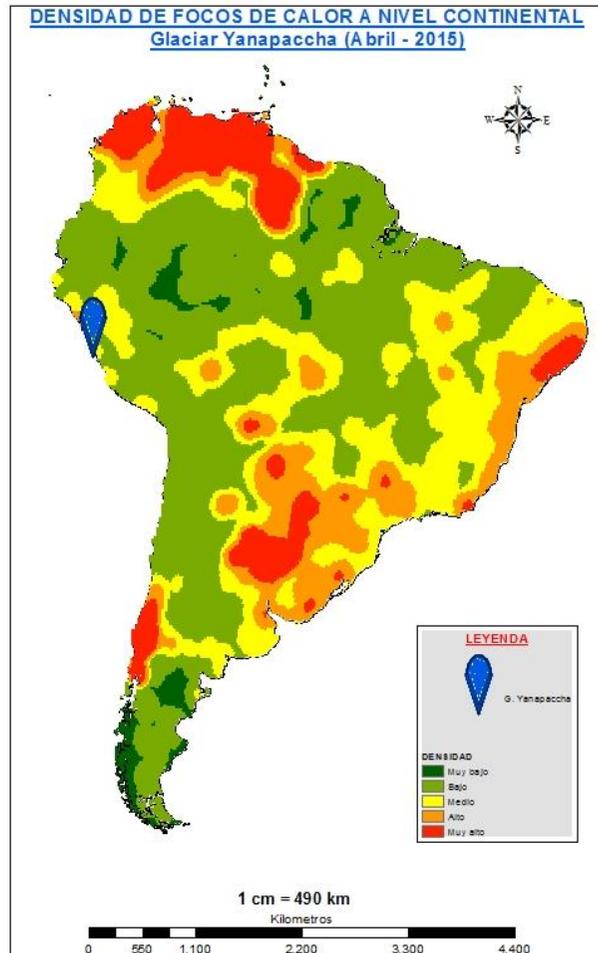
Mapa 20: Densidad de incendios forestales a nivel nacional con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018



Descripción:

Al igual que los mapas mostrados anteriormente se observa que los puntos de muestreo se encuentran dentro de la densidad medio de incendios forestales, encontrándose una concentración de carbono negro con niveles bajos. También se aprecia que se registró gran número de incendios forestales en el ámbito nacional pero aun así no se refleja en la concentración de carbono negro de los glaciares Yanapaccha y Shallap, lo que refleja que uno de los factores más determinantes para la concentración de carbono negro es la cercanía de incendios forestales con

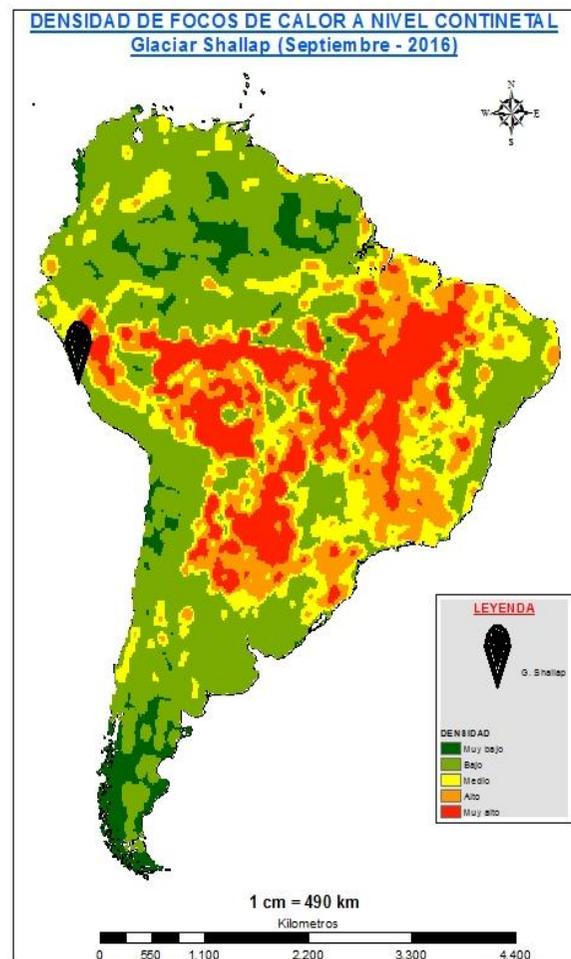
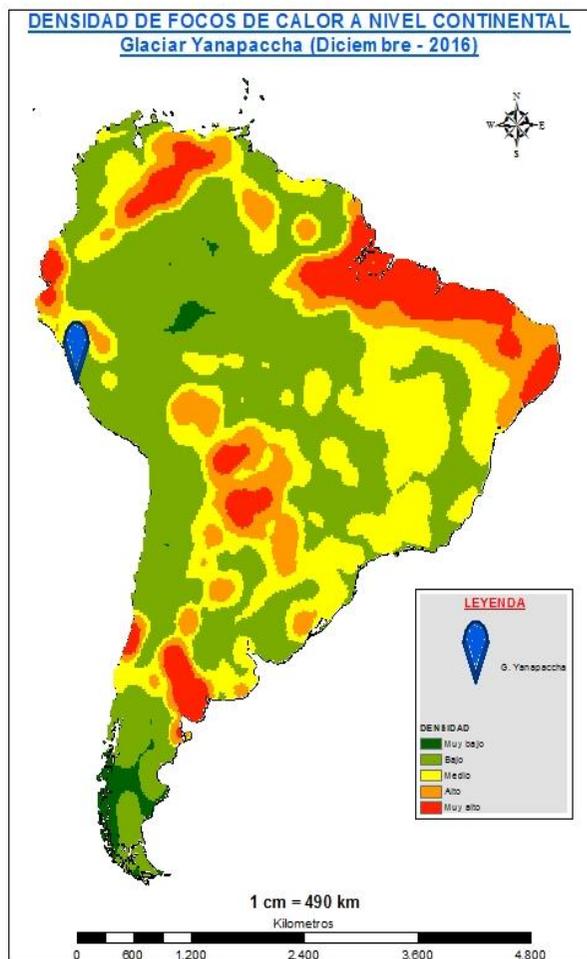
Mapa 21: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2015



Descripción:

En los mapas se observa que a esta escala los incendios ocurridos se concentran poco cercanos a los glaciares Yanapaccha y Shallap lo cual sugieren un aporte casi nulo.

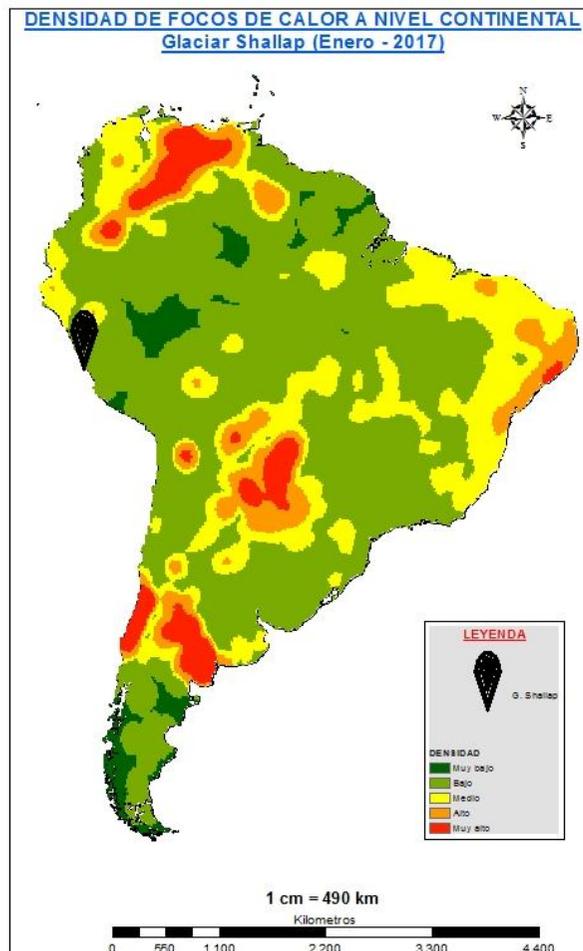
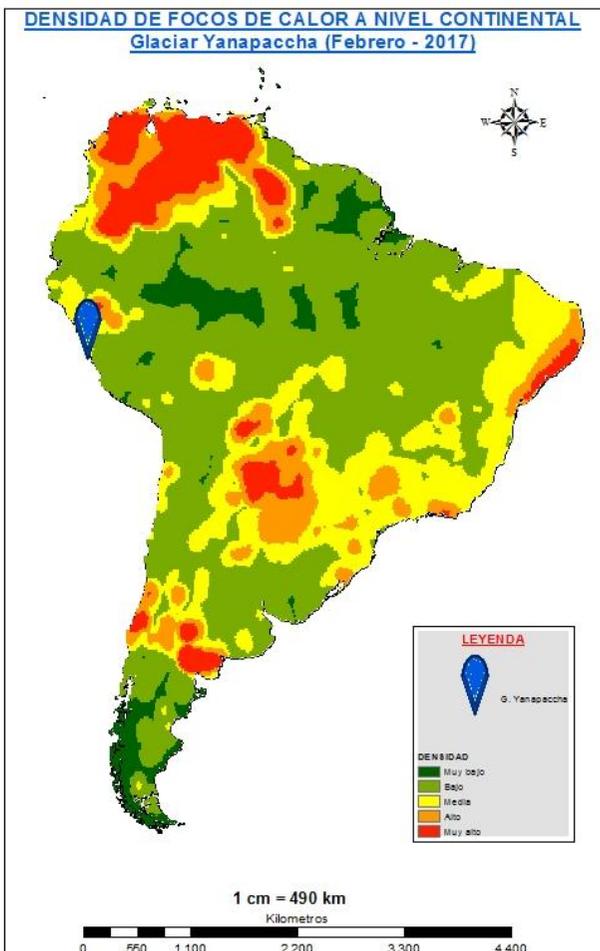
Mapa 22: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2016



Descripción:

En ambos mapas se aprecia incendios forestales cercanos a los glaciares. Pero como se mencionó anteriormente resaltamos que no es suficiente la cercanía para tener un aporte significativo de CN

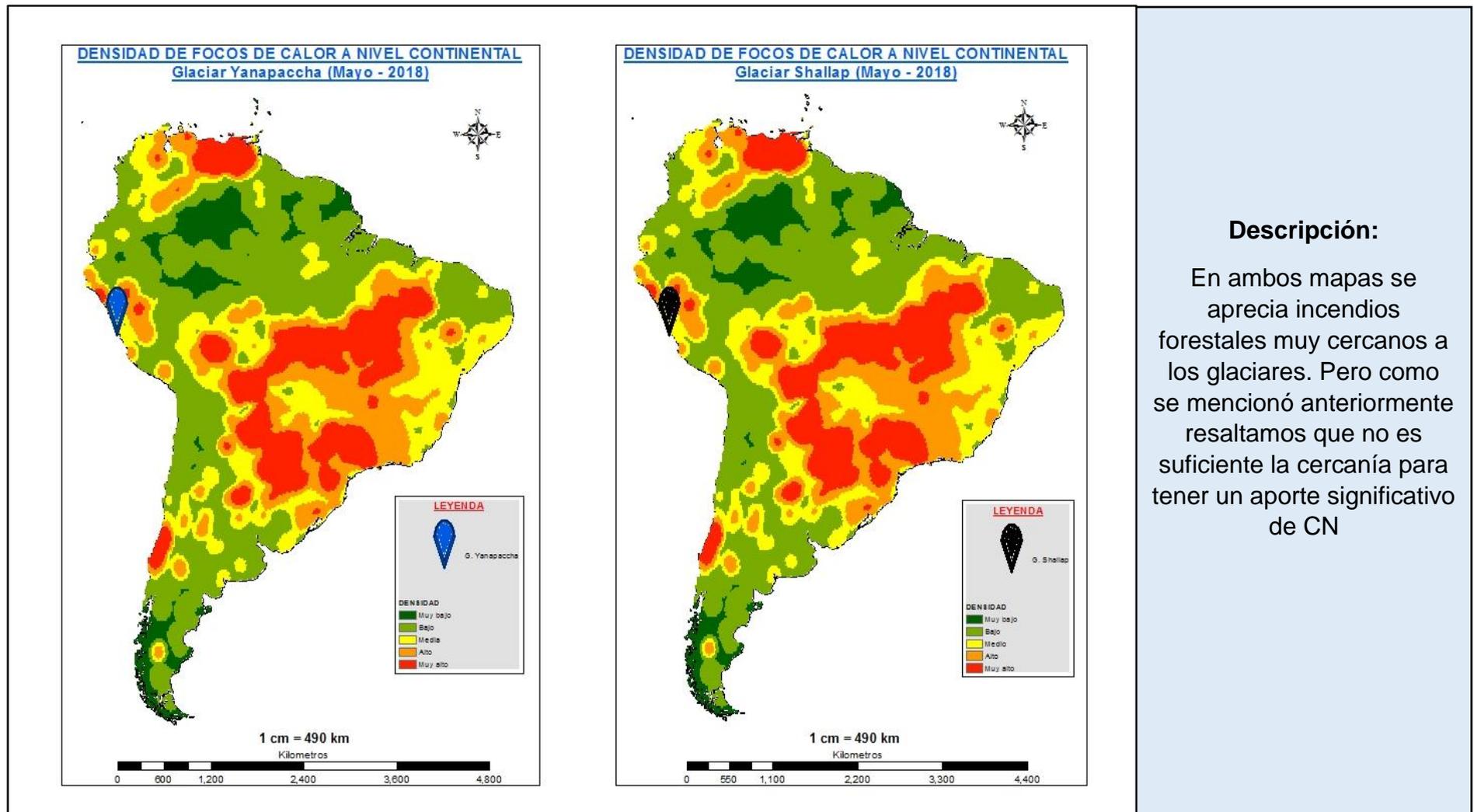
Mapa 23: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2017



Descripción:

En los mapas se observa que a esta escala los incendios ocurridos se concentran poco cercanos a los glaciares Yanapaccha y Shallap lo cual sugieren un aporte casi nulo.

Mapa 24: Densidad de incendios forestales a nivel continental con respecto a los meses de menor concentración de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap respectivamente durante el año 2018



CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los hallazgos encontrados se estable que existe un nivel de relación de la cantidad de incendios forestales y la concentración de carbono negro de los glaciares Shallap y Yanapaccha.

Se llegó a estos resultados debido a que diversos autores advirtieron una relación entre estas variables como, Bond (2017) que menciona que el mayor aporte de partículas de carbono proviene de los incendios forestales; así mismo Sanchez (2018) y Schmitt (2018) encuentran que el mayor aporte de carbono negro es durante la estación seca, justamente donde ocurren el mayor número de incendio forestales.

Dentro de ello los elementos meteorológicos tienen énfasis las precipitaciones mediante deposiciones húmedas y secas, mientras la dirección de viento para el transporte. Las deposiciones húmedas durante la estación seca del hemisferio sur, los incendios forestales localizados en la amazonia son responsables en su mayoría de la deposición de CN en los glaciares Yanapaccha y Shallap, que provenientes de lugares lejanos productos de la quema de biomasa ocurridos principalmente en el suroeste brasileño y la selva peruana, estos son transportados por los vientos alisios provenientes del Atlántico; mientras las deposiciones secas son responsables de la deposición de CN en los glaciares de lugares más cercanos esto principalmente producto de la quema de combustibles fósiles ocurridas en grandes ciudades que se encuentran dentro del Callejón de Huaylas, debido a la

cercanía con respecto a los puntos de muestreo de CN del glaciar Yanapaccha y Shallap. (Bonilla, *et. al*, 2023)

En cuanto a los factores meteorológicos la altitud y el relieve actúan como barrera impidiendo la circulación de los contaminantes atmosféricos dentro de ello el CN, que por acción de los vientos propician el estancamiento y su deposición en las partes altas de los glaciares.

Por obtenido de la influencia de incendios forestales a nivel regional en la concentración de carbono negro se encontró estos resultados de correlación por las condiciones orográficas sumado a los vientos locales a causa del desequilibrio de temperatura entre las partes altas y bajas que favorecen al transporte y que son propias del Callejón de Huaylas y los Conchucos que propician el estancamiento de carbono negro proveniente de la costa y sierra de nuestra región para su posterior deposición en los glaciares.

De acuerdo a la correlación de la cantidad de incendios forestales a nivel nacional con la concentración de carbono negro se acepta lo descrito por Magalhaes (2019) quien encontró que las partículas de carbono negro tienen un tiempo de residencia en la atmósfera de algunos días a semanas producto de los incendios forestales ocurridos en la cuenca del río Amazonas y océano Pacífico, superan la barrera orográfica y llegan a los glaciares andinos tropicales. Transportados por acción del viento, donde se precipitan en forma húmeda dentro de gotas de agua o copos de nieve y por precipitación seca (COER, 2019).

En base a los resultados obtenidos en la correlación de incendios forestales a nivel continental hay relación positiva moderada (0.425) en el glaciar Shallap esto por el transporte de partículas de carbono negro a grandes distancias por influencia de los vientos provenientes del atlántico, esto concuerda con lo hallado por Kaitlin (2015) que explica que el hielo de Groenlandia en el 2012 fue afectado por el carbono negro producto de los incendios forestales provenientes de la zona norte del continente Americano, Europeo y Asiático que fueron transportados por acción de los vientos del oeste, sumado a las temperaturas cálidas ocasionaron que la superficie sufra derretimiento de hasta un 97%, lo que hace pensar que hubo un gran aporte en la concentración de carbono negro.

Así también respecto a la correlación entre la cantidad de incendios forestales a nivel continental y concentración de carbono negro en el glaciar Yanapaccha no se determina por el valor de significancia del $p > 0.05$, en esta relación se obtuvo un $p = 0,0104$ lo cual según Hernandez, Fernandez y Batista (2010) se descarta la correlación por estar fuera de los límites de aceptación de los cálculos estadísticos.

La influencia de los incendios forestales tanto a nivel regional, nacional y continental se encontró un mayor porcentaje de correlación en cada uno de ellos en el glaciar Shallap que en el glaciar Yanapaccha. Esto se contrasta por Schmitt (2015) quien avaluó 15 picos nevados de la Cordillera Blanca y encontró que dentro de ellos los nevados más cercanos a poblaciones es mayor la concentración de carbono negro como el caso del glaciar Shallap que al estar más cercano a la población es propenso a la influencia de los incendios ya que es bien sabido que la mayoría de los incendios forestales ocurridos es por acción humana.

Hallados los mapas de densidad de Kernel de incendios forestales se encontró que el mayor aporte en la concentración de carbono negro es producto de incendios forestales que se concentran cercanos a los puntos muestreados dentro de los glaciares Shallap y Yanapaccha, esto se corrobora por lo encontrado por Delaney, (2015) quien en su investigación detalla un incremento elevado de concentraciones de carbono negro en la nieve en Tronsen Meadow en el centro de Washington producto de un incendio forestal de gran escala cercano a dicho glaciar.

Por último, cabe resaltar que se desconoce estudio alguno sobre la influencia de la cantidad de incendio forestal sobre la concentración de carbono negro, por lo cual no se puede hacer una comparación directa entre los resultados.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Se estimó que el coeficiente de correlación es de 0.374, lo cual indica que existe una influencia positiva baja de 37.4% de los incendios forestales ocurridos a nivel regional sobre la concentración de CN encontrado en el glaciar Yanapaccha. Por otro lado se estimó que el coeficiente de correlación es de 0.477, lo cual indica que existe una influencia positiva moderada de 47.7% de los incendios forestales ocurridos a nivel regional sobre la concentración de CN encontrado en el glaciar Shallap.

Se determinó que el coeficiente de correlación es de 0.340, lo cual indica que existe una influencia positiva baja de 34.0% de los incendios forestales ocurridos a nivel nacional sobre la concentración de CN encontrado en el glaciar Yanapaccha. También se determinó que el coeficiente de correlación es de 0.488, lo cual indica que existe una influencia positiva moderada de 48.8% de los incendios forestales ocurridos a nivel nacional sobre la concentración de CN encontrado en el glaciar Shallap.

Se estimó que el coeficiente de correlación es de 0.425, lo cual indica que existe una influencia positiva moderada de 42.5% de los incendios forestales ocurridos a nivel continental sobre la concentración de CN encontrado en el glaciar Shallap.

Se estimó que para el glaciar Yanapaccha no existe correlación entre la concentración de carbono negro del glaciar y la cantidad de incendios forestales debido a que el nivel de significancia fue de 0.104 el cual supera el valor de 0.05 el

máximo permitido en este tipo de estudio, entonces se rechaza todo tipo de correlación entre estas variables.

Se determinó mediante los mapas de densidad de Kernel que los factores con mayor determinación para el aporte de carbono negro tanto para el glaciar Shallap y Yanapaccha son a causa de la cercanía de ocurrencia de incendios forestales con respecto a los puntos muestreados, se evidencia por lo obtenido en la correlación con los incendios forestales ocurridos a nivel regional.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

Se recomienda trabajar con mayor número de datos debido a que las relaciones a encontrarse serán de mayor confiabilidad.

Se recomienda ampliar el estudio con estadística geoespacial, así como estudios de transporte de contaminantes para un mejor entendimiento de como las partículas de CN producto de los incendios forestales se concentran en los glaciares.

En el estudio se dio cuenta que uno de los principales factores que influye es la cercanía de ocurrencia de los incendios forestales con respecto a los glaciares, por tanto para hacer un mejor análisis de cómo contribuyen los incendios forestales en la concentración de carbono negro, será conveniente añadir al trabajo variables de elementos y factores meteorológicos, lo cual permitirán entender mejor la relación que guardan dichas variables. Siempre en cuando se trabajen con incendios forestales seleccionados de tal manera que sean de gran magnitud y cercanos a los glaciares.

En el estudio solo se trabajó la cantidad de incendios forestales ocurridos a nivel regional, nacional y continental. Por cual se recomienda para posteriores trabajos realizar estudios tomando otras características como áreas afectadas, vegetación afectada, lugar de ocurrencia, etc. De tal manera que se tenga una noción más amplia como influyen estos en la concentración de CN encontrado en los glaciares.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANA. (2020). *Retroceso glaciar en el Perú 1948-2019, impactos en el recurso hídrico*.
- Anselin, (1992), Cleveland et al. (1993), Venables & Ripley, (1997). CrimeStat III.
- Bond, T. (2007). Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change House Committee on Oversight and Government Reform. *United States House of Representatives*. http://dust.ess.uci.edu/ppr/ppr_Bon07_wrt.pdf
- Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., Deangelo, B. J., Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 118(11), 5380-5552. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50171>
- Bonilla, E., X. et al (2023). *Environ. Res. Lett.* 18 024031. <https://10.1088/1748-9326/acb371>
- Budyko, M. I. (1969), The effects of solar radiation on the climate of the earth, *Tellus*, **21**, 611–619.
- Cochrane, M., Laurence, L. (2008). *Synergisms among fire, land use, and climate change in the Amazon*. *Ambio*37.
- COER. (2019). *Incendios forestales y retroceso glaciar*.
- Collazo Aranda, A. E. (2011). Análisis de la contaminación transfronteriza y local de contaminantes gaseosos precursores de la depositación ácida húmeda y formación de ozono en Cuba. (*Tesis de maestría, universidad de Chile*). Obtenido de <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Collazo%20Arnaldo.pdf>
- CONABIO. (2015). *Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad: Sistema de Alerta de Incendios*. (México)
- Cuadros, J. (2019). Efecto de las partículas absorbentes de luz (PAL) en la nieve sobre el balance radiativo del nevado Coropuna, Arequipa.
- DGOTA. (2017). *Diseño metodológico para el desarrollo de un modelo predictivo de incendios: Monitoreo predictivo de incendios sobre la cobertura vegetal*

para el desarrollo de acciones de prevención del riesgo de desastres en la población y sus medios de vida.

- Doherty, S. J., Warren, S. G., Grenfell, T. C., Clarke, A. D., & Brandt, R. E. (2010). Light-absorbing impurities in Arctic snow. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(23), 11647-11680. <https://doi.org/10.5194/acp-10-11647-2010>
- DW, (2020). *Incendios forestales: el cambio climático y la deforestación aumentan el riesgo global*. Recuperado de <https://www.dw.com/es/incendios-forestales-el-cambio-clim%C3%A1tico-y-la-deforestaci%C3%B3n-aumentan-el-riesgo-global/a-51946276>
- EOSDIS, (2019). *EARTHDATA*. (National Aeronautics and Space Administration (NASA). Estados Unidos. <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/v1-vnp14imgt>
- EPA. (2012). *Report to congress on Black Carbon*. U. S. Environmental Protection Agency.
- Fujita, A., Sato, J., Almeida, M., y Soyagar, M. (2009). Comparing Pearson, Spearman, and Hoeffding's D measure for gene expression Association Analysis. *Journal of Bioinformatics and Computational Biology*.
- Flanner, M. G., Zender, C. S., Randerson, J. T., Rash, P. J. (2007). Present-day climate forcing and response from black carbon in snow. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112(11), 1-17. <https://doi.org/10.1029/2006JD008003>
- Garreaud, R., & Patricio, A. (2007). *Atmospheric Circulation and Climatic Variability*. En T. Veblen, K. Young, & A. Orme, *Atmospheric Circulation and Climate Variability of South America* (pág. 48). Oxford University.
- Giglio, L., Schroeder, W. & Justice, C. O. (2016). The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sens. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.054>
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M., (2010). Metodología de la investigación. Mexico

- INAIGEM. (2017). *Informe de la situación de glaciares y ecosistemas de montaña del Perú*
- Inche, J. (2004). *Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones*. Lima
- INDECI. (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo*
- INECC. (2015). *Instituto Nacional de ecología y cambio climático: Diseño y operación de la Red Nacional de Carbono Negro*. México.
- INGEMMET. (2013). *Evaluación ingeniero - geológico: Laguna Palcacocha y su influencia en la ciudad de Huaraz Cordillera Blanca*.
- Kaitlin M. Keegan, M. R. (2014). Climate change and forest fires synergistically drive widespread melt events of the Greenland Ice Sheet. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1405397111>
- Liu, Z., Ballantyne, A.P. & Cooper, L.A. (2019). Biophysical feedback of global forest fires on surface temperature. *Nat Commun* 10, 214. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08237-z>
- Magalhães, Nd, Evangelista, H., Condom, T. et al. (2019). Amazonian Biomass Burning Enhances Tropical Andean Glaciers Melting. *Sci Rep*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53284-1>
- Manta, N. M., León, H. (2014). Los incendios forestales en el Perú: grave problema por resolver. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v34i2.2392>
- NASA (National Aeronautics and Space Administration, US). *Suomi NPP VIIRS Land - Visible Infrared Imagin Radiometer Suite*. Estados Unidos. <https://viirsland.gsfc.nasa.gov/index.html>
- Oliveras I, Anderson LO, Malhi Y. (2014). Application of remote sensing to understanding fire regimes nd biomass burning emissions of the tropical Andes. *Global Biogeochem*. <https://doi.org/10.1002/2013GB0046648>
- Pareja Paz, J. (1936). El clima del Perú. *Revista de la Universidad Católica*, 654
- Pausas, J. G. (2012). *Incendios Forestales una visión desde la ecología*. Madrid: CSIC.

- Pereira, G., Shimabukuro, Y. E., Moraes, E. C., Freitas, S. R., Cardozo, F. S., & Longo, K. M. (2011). Monitoring the transport of biomass burning emission in South America. *Atmospheric Pollution Research*, 2(3), 247-254. <https://doi.org/10.5094/APR.2011.031>
- Pino, E. (2020). *Procesamiento del inventario de emisiones de la quema de biomasa de un conjunto de datos global para la calidad del aire modelado*. Santiago.
- RAMMB (Regional and Mesoscale Meteorology Branch, US). s.f. VIIRS bands and bandwidths. Colorado State University. Estados Unidos. http://rammb.cira.colostate.edu/projects/npp/VIIRS_bands_and_bandwidths.pdf
- Rowe, P.M., Cordero, R.R., Warren, S.G., Stewart, E., Doherty, S.J., Pankow, A., Schrempf, M., Casassa, G., Carrasco, J., Pizarro, J., MacDonell, S., Damiani, A., Lambert, F., Rondanelli, R., Huneenus, N., Fernandoy, F., Neshyba, S. (2019). Black carbon and other light-absorbing impurities in snow in the Chilean Andes. *Sci Rep*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39312-0>
- Sabuco, P. (2015). *La problemática de los incendios forestales y bases para su teledetección en el Perú*
- Sánchez, W. (2019). *Impacto del carbono negro en la fusión de los glaciares Yanapaccha Y Shallap de la Cordillera Blanca, Período 2014 – 2016*. Huaraz
- Sánchez, W., Schmitt, C. (2018). Partículas absorbentes de luz durante El Niño y el Niño Costero en los Glaciares de la Cordillera Blanca, Perú. *Revista de glaciares y Ecosistemas de Montaña INAIGEM*. 3 (4), 9-22.
- SENAMHI. (2018). Estudio de condiciones atmosféricas favorables a los incendios forestales. Lima. Perú
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2012). *Guía para el uso de modelos de calidad de aire en el SEIA*. (S. d. Ambiental, Ed.) Chile
- Schmitt, C. G., All, J. D., Schwarz, J. P., Arnott, W. P., Cole, R. J., Lapham, E., & Celestian, A. (2015). Measurements of light-absorbing particles on the

glaciers in the Cordillera Blanca, Peru. *Cryosphere*, 9(1), 331-340.
<https://doi.org/10.5194/tc-9-331-2015>

SERFOR. (2018). *Evitemos los incendios forestales*. Lima.

Vellozas, T et al. 2010. Incendios forestales y su afectación al medio ambiente, prevención y combate

Villers Ruiz, M. 2006. Incendios forestales (en línea)

Wiedinmyer, C., Quayle, B., Geron, C., Belote, A., McKenzie, D., Zhang, X., & Wynne, K. K. (2006). Estimating emissions from fires in North America for air quality modeling. *Atmospheric Environment* ,40(19), 3419-3432. doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.02.010.

Zamora, R., A. (2016). *Estudio metodológico para el monitoreo de alertas tempranas de deforestación basado en focos de calor en la Amazonía peruana*. Lima

ANEXOS

ANEXO 1
PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE DATOS DE FOCOS DE CALOR

1. Los datos que se trabajaron fueron obtenidos de la plataforma del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por sus siglas en portugués, y se puede acceder en el sitio web: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>

Figura 12: Pantalla de ingreso a la plataforma del INPE – Brasil.



2. Luego ingresamos al ítem 1: *BDQueimadas*, donde aparece una imagen con los focos de calor representados por iconos de cruces los cuales fueron registrados durante el día en toda América del Sur.

Figura 13: Plataforma para descarga de datos de focos de calor



3. Luego ingresamos al ítem 3 de la barra que aparece a la izquierda donde nos aparece cada uno de los filtros, una vez seleccionado cada filtro seleccionamos aplicar y exportar y se nos enviara la información al correo elegido.

Figura 14: Pantalla de descarga de datos

The screenshot displays the 'BDQUEIMADAS' web application interface. The top navigation bar is yellow and contains the logo and name 'BDQUEIMADAS'. On the right, there are logos for 'INPE Programa Queimadas' and 'MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES'. A left sidebar contains a vertical menu with icons, and the third icon from the top is highlighted with a red box. The main content area is divided into two sections: 'FILTROS' and 'EXPORTAR DADOS'. The 'FILTROS' section includes several dropdown menus: 'CONTINENTES' (América do Sul), 'MUNICÍPIOS BRASILEIROS' (Municípios Brasileiros), 'PAÍSES' (Peru), 'ESTADOS' (Todos os estados), 'UCS / TIS BRASILEIRAS' (UCs / TIs Brasileiras), 'SATÉLITES' (SATÉLITES), and 'BIOMAS (BRASIL)'. The 'DATA INÍCIO (UTC)' and 'DATA FIM (UTC)' fields are set to '2016/01/01' and '2016/01/31' respectively. The 'EXPORTAR DADOS' section has an 'E-MAIL' field set to 'E-mail' and a 'FORMATO DA EXPORTAÇÃO' field set to 'Shapefile'. A red box highlights the 'E-MAIL' and 'FORMATO DA EXPORTAÇÃO' fields. Below the export options, there is a warning message: 'Estamos verificando problemas com alguns provedores de serviços de e-mails que passaram a reconhecer o endereço "atus.queimadas@inpe.br" como inválido.' followed by additional information about email delivery issues.

ANEXO 2

PRESENCIA DE CARBONO NEGRO EN LOS GLACIARES



Fotografía 1: Ascenso al glaciar Yanapaccha



Fotografía 2: Evidencia de presencia de CN en el glaciar Yanapaccha



Fotografía 3: Derretimiento del glaciar



Fotografía 4: Acumulación de sedimentos producto del derretimiento del glaciar



Fotografía 5: Prueba granulométrica de nieve



Fotografía 6: Presencia de sedimentos oscuros en los glaciares

ANEXO 3
INCENDIOS FORESTALES LOCALES



Fotografía 7: Incendio forestal local en la ciudad de Huaraz 2018

Fuente: SERNANP - PNH



Fotografía 8: Incendio forestal cercano al glaciar Shallap 2016

Fuente: SERNANP - PNH



Fotografía 9: Partículas en suspensión post incendio forestal 2016

Fuente: SERFOR - HUARAZ



Fotografía 10: humareda en la quebrada LLanganuco, cercano al glaciar Yanapaccha 2016

Fuente: SERNANP - PNH



Fotografía 11: Emisión de partículas, incendio dentro PNH – sector Olleros agosto 2016, cercano al Glaciar Shallap

Fuente: SERFOR - HUARAZ



Fotografía 12: Emisión de partículas, incendio dentro PNH – Yanama septiembre 2017, cercano al glaciar Yanapaccha

Fuente: SERFOR - HUARAZ