



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**“COMPARACIÓN ENTRE FOCOS DE CALOR Y CICATRICES DE  
QUEMA DE LA RESERVA DE PRODUCCIÓN DE FAUNA  
CHIMBORAZO DURANTE EL PERIODO 2015-2019”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA FORESTAL**

**AUTORA: KATTY YADIRA SIMBAÑA YELA**

**DIRECTORA: Ing. JULIA DESIREE VELASTEGUI CÁCERES**

Riobamba – Ecuador

2021

**© 2021, Katty Yadira Simbaña Yela**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Katty Yadira Simbaña Yela, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular: el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba 22 de marzo del 2021

**Katty Yadira Simbaña Yela**

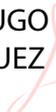
**171843440-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de Integración Curricular: Tipo: Investigación, “**COMPARACIÓN ENTRE FOCOS DE CALOR Y CICATRICES DE QUEMA DE LA RESERVA DE PRODUCCIÓN DE FAUNA CHIMBORAZO DURANTE EL PERÍODO 2015-2019**”, realizado por la señorita: KATTY YADIRA SIMBAÑA YELA. Ha sido minuciosamente revisado por los Miembros de tribunal de trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Juan Hugo Rodríguez Guerra <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	<b>JUAN HUGO RODRIGUEZ GUERRA</b>  Firmado digitalmente por JUAN HUGO RODRIGUEZ GUERRA Fecha: 2021.04.13 14:02:07 -05'00'	22 de marzo del 2021
Ing. Julia Desiree Velastegui Cáceres <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>JULIA DESIREE VELASTEGUI CACERES</b>	22 de marzo del 2021
Ing. Norma Lara Vásconez <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>NORMA XIMENA LARA VASCONEZ</b>	22 de marzo del 2021

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de integración curricular es dedicado primordialmente a Dios por darme sabiduría para completar cada paso de esta carrera universitaria.

A mis padres Jairo Simbaña y Alexandra Yela, por ser mi motor fundamental para lograr cada meta, quienes siempre han confiado en mí, ayudándome en cada proceso de mi vida, a mis hermanos, y abuelos por acompañarme y brindarme su apoyo durante este período.

A mis compañeros y docentes de aula que me han permitido crecer y formarme a su lado, para obtener mi profesión y ser una ayuda para la sociedad, a esta magnífica institución que se ha convertido en mi segundo hogar en estos 5 años, muchas gracias a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO (ESPOCH).

**Katty**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a mis padres y formadores, que con su sabiduría y sus valores me han sabido orientar de manera incondicional a pesar de la distancia para no desfallecer durante mi etapa universitaria en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Al Ing. Manuel Espinoza y a la Ing. Julia Velastegui por guiarme en la realización de este trabajo de integración curricular, brindándome su tiempo para resolver mis inquietudes y así culminar mi etapa como estudiante universitaria.

A los amigos que se han quedado a mi lado en estos 5 años de carrera universitaria, para apoyarnos en cada derrota y celebrar cada logro obtenido, viviendo momentos inolvidables, quienes se han convertido en mi segunda familia en esta ciudad ajena a mi lugar de origen.

**Katty**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>2</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>3</b>
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>4</b>
<b>HIPÓTESIS NULA</b> .....	<b>4</b>
<b>HIPÓTESIS ALTERNANTE</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1. Definición de fuego</b> .....	<b>5</b>
<b>1.2. Fuego y biodiversidad</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3. Definición de Incendios Forestales</b> .....	<b>7</b>
<b>1.4. Características De Los Incendios Forestales</b> .....	<b>7</b>
<b>1.5. Tipos de incendios forestales</b> .....	<b>10</b>
<b>1.6. Incendios Forestales en Ecuador</b> .....	<b>10</b>
<b>1.7. Definición de Áreas quemadas</b> .....	<b>11</b>
<b>1.8. Definición de focos de calor</b> .....	<b>11</b>
<b>1.9. Principios físicos para la Detección de Incendios</b> .....	<b>13</b>

1.10.	Errores De Omisión Y Comisión.....	14
1.11.	Distorsión de los Pixeles .....	15
1.12.	Tamaño Mínimo del Área de Quema Detectada .....	16
1.13.	Portales Web para Descarga de Focos de Calor .....	17
1.14.	Sensores Utilizados Para La Detección De Focos De Calor.....	17
1.15.	Sensor MODIS – Satélites Aqua y Terra.....	18
1.16.	Algoritmo de Detección De Fuegos del Sensor MODIS .....	20
1.17.	Sensor VIIRS – Satélite Suomi NPP .....	23
1.18.	Producto de fuegos activos VIIRS 375m.....	26
<b>CAPÍTULO II</b>		
2.	MARCO METODOLÓGICO .....	27
2.1.	Área de estudio de la investigación .....	27
2.1.1.	<i>Características generales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo.....</i>	<i>28</i>
2.1.2.	<i>Características climáticas de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo.....</i>	<i>28</i>
2.1.3.	<i>Características biológicas y ecológicas de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo.....</i>	<i>28</i>
2.2.	Materiales, insumos y software .....	29
2.2.1.	<i>Materiales.....</i>	<i>29</i>
2.2.2.	<i>Insumos.....</i>	<i>29</i>
2.2.3.	<i>Software.....</i>	<i>30</i>
2.3.	Metodología .....	30
2.3.1.	<i>Recopilación de información.....</i>	<i>30</i>
2.3.2.	<i>Para la ejecución del primer objetivo; descarga de focos de calor de los sensores MODIS y VIIRS.....</i>	<i>31</i>
2.3.3.	<i>Delimitación de focos de calor identificados por los sensores MODIS y VIIRS .....</i>	<i>31</i>
2.3.4.	<i>Ubicación geográfica y fecha de eventos identificados .....</i>	<i>31</i>
2.3.5.	<i>Revisión de información respecto a incendios forestales en base a datos del MAE.....</i>	<i>32</i>
2.3.6.	<i>Para la ejecución del segundo objetivo; determinación de magnitud de incendios forestales .....</i>	<i>32</i>
2.3.7.	<i>Análisis de resultados obtenidos.....</i>	<i>32</i>

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.</b>	<b>Análisis histórico y actual de los incendios forestales .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.</b>	<b>Situación de los incendios forestales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.</b>	<b>Focos de calor de los satélites Aqua y Terra.....</b>	<b>36</b>
<b>3.4.</b>	<b>Análisis de Focos de Calor por Mes de los Diferentes Satélites.....</b>	<b>37</b>
<b>3.5.</b>	<b>Focos de Calor del Satélite Terra .....</b>	<b>39</b>
<b>3.6.</b>	<b>Focos de Calor del Satélite Aqua.....</b>	<b>40</b>
<b>3.7.</b>	<b>Focos de Calor del Satélite Suomi/NPP-375m.....</b>	<b>42</b>
<b>3.8.</b>	<b>Análisis de Cicatrices de Quema por Mes de los Registros del MAE .....</b>	<b>43</b>
<b>3.9.</b>	<b>Validación Mediante la Comparación de Focos de Calor MODIS y VIIRS con las Cicatrices de Quema .....</b>	<b>45</b>
<b>3.10.</b>	<b>Visualización de los focos de calor MODIS y VIIRS para cada año.....</b>	<b>45</b>
<b>3.10.1.</b>	<b><i>Comparación entre cicatrices de quema con los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y el sensor VIIRS Suomi/NPP del año 2015.....</i></b>	<b><i>46</i></b>
<b>3.10.2.</b>	<b><i>Comparación entre cicatrices de quema con los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y el sensor VIIRS Suomi/NPP del año 2016.....</i></b>	<b><i>47</i></b>
<b>3.10.3.</b>	<b><i>Comparación entre cicatrices de quema con los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y el sensor VIIRS Suomi/NPP del año 2017.....</i></b>	<b><i>48</i></b>
<b>3.10.4.</b>	<b><i>Comparación entre cicatrices de quema con los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y el sensor VIIRS Suomi/NPP del año 2018.....</i></b>	<b><i>49</i></b>
<b>3.10.5.</b>	<b><i>Comparación entre cicatrices de quema con los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y el sensor VIIRS Suomi/NPP del año 2019.....</i></b>	<b><i>50</i></b>
<b>3.11.</b>	<b>Análisis de los resultados de las imágenes .....</b>	<b>59</b>
<b>3.11.1.</b>	<b><i>Nivel de aciertos de los focos de calor por cada instrumento de detección.....</i></b>	<b><i>59</i></b>
<b>3.11.2.</b>	<b><i>Análisis de las zonas de aciertos frecuentes de los focos de calor.....</i></b>	<b><i>61</i></b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>66</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Temperatura de inicio de fuego en la vegetación .....	9
<b>Tabla 2-1:</b> Variación del tamaño de pixel por tipo de satélite .....	16
<b>Tabla 3-1:</b> Especificaciones Generales del sensor MODIS .....	18
<b>Tabla 4-1:</b> Características de las bandas del sensor MODIS .....	19
<b>Tabla 5-1:</b> Bandas de MODIS usadas en la detección del algoritmo MOD14.....	22
<b>Tabla 6-1:</b> Características generales del sensor VIIRS .....	24
<b>Tabla 7-1:</b> Características de las bandas del sensor VIIRS.....	25
<b>Tabla 1-3:</b> Cantidad de registros de focos de calor anuales por satélite, desde enero del 2015 hasta el diciembre del 2019.....	35
<b>Tabla 2-3:</b> Cantidad de Focos de Calor anuales de los satélites Aqua/Terra en el período 2015-2019 .....	36
<b>Tabla 3-3:</b> Variación de Focos de Calor mensual por satélite en el período 2015-2019 .....	38
<b>Tabla 4-3:</b> Variación de Focos de Calor mensual del satélite Terra en el período (2015-2019) .....	39
<b>Tabla 5-3:</b> Variación de Focos de Calor mensual del satélite Aqua en el período (2015-2019) .....	41
<b>Tabla 6-3:</b> Variación de Focos de Calor mensual del satélite Suomi/NPP en el período (2015-2019).....	42
<b>Tabla 7-3:</b> Variación de Cicatrices de Quema mensual de los registros del MAE (2015-2019).....	44
<b>Tabla 8-3:</b> Resultados del total de aciertos y errores de los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) por años (2015-2019) .....	59
<b>Tabla 9-3:</b> Resultados del total de aciertos y errores de los focos de calor del sensor VIIRS (Suomi/NPP-375m) por años (2015-2019) .....	60
<b>Tabla 10-3:</b> Resumen del total de aciertos y errores de los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y VIIRS (Suomi/NPP-375m) .....	60
<b>Tabla 11-3:</b> Datos de las zonas que coincidieron durante la validación de puntos con el sensor MODIS (Aqua/Terra) .....	62
<b>Tabla 12-3:</b> Datos de las zonas que coincidieron durante la validación de puntos con el sensor VIIRS (Suomi/NPP-375m) .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Conceptos sobre el fuego en distintos rangos espacio-temporales.....	6
<b>Figura 2-1:</b> Modelo conceptual de los componentes de una cama de combustible forestal. ....	6
<b>Figura 3-1:</b> Distribución de temperaturas (°C) en un frente de incendio .....	9
<b>Figura 4-1:</b> Representación teórica de un foco de calor y la cicatriz de quema asociada a él. .	12
<b>Figura 5-1:</b> Ley de Wien, Distribución Espectral de la energía. ....	13
<b>Figura 6-1:</b> Ejemplificación de la distorsión de los píxeles en una imagen MODIS .....	15
<b>Figura 7-1:</b> Esquema de aplicación del algoritmo seguido para la detección de puntos de calor .....	21
<b>Figura 8-1:</b> Proceso para la detección de puntos de calor.....	22
<b>Figura 9-1:</b> Imagen global de MODIS .....	23
<b>Figura 10-1:</b> Primea imagen global de VIIRS .....	26
<b>Figura 1-2:</b> Ubicación de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Paraje natural, La imagen muestra la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo dentro del Ecuador .....	27
<b>Figura 1-3:</b> Comparación entre cicatrices de quema y focos de calor del sensor MODIS y VIIRS del año 2015.....	46
<b>Figura 2-3:</b> Comparación entre cicatrices de quema y focos de calor del sensor MODIS y VIIRS del año 2016.....	47
<b>Figura 3-3:</b> Comparación entre cicatrices de quema y focos de calor del sensor MODIS y VIIRS del año 2017.....	48
<b>Figura 4-3:</b> Comparación entre cicatrices de quema y focos de calor del sensor MODIS y VIIRS del año 2018.....	49
<b>Figura 5-3:</b> Comparación entre cicatrices de quema y focos de calor del sensor MODIS y VIIRS del año 2019.....	50

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Cantidad de registros de focos de calor anuales por satélite, desde el año 2015 al año 2019 .....	35
<b>Gráfico 2-3:</b> Gráfica de la evolución de los focos de calor de los satélites AQUA Y TERRA (2015-2019).....	37
<b>Gráfico 3-3:</b> Variación de focos de calor del satélite Aqua, Terra y Suomi/NPP por mes durante el período 2015-2019.....	38
<b>Gráfico 4-3:</b> Variación de focos de calor del satélite Terra por mes durante el período 2015-2019. ....	40
<b>Gráfico 5-3:</b> Variación de focos de calor del satélite Aqua por mes durante el período 2015-2019. ....	41
<b>Gráfico 6-3:</b> Variación de focos de calor del satélite Suomi/NPP por mes durante el período 2015-2019.....	43
<b>Gráfico 7-3:</b> Variación de Cicatrices de Quema por meses durante el período 2015-2019. ....	44
<b>Gráfico 8-3:</b> Total de Focos de calor analizados clasificados en: aciertos y errores. ....	61

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** OBTENCIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS SENSORES  
MODIS Y VIIRS

**ANEXO B:** CONVERTOR DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS A UTM

**ANEXO C:** INVENTARIO DE CICATRICES DE QUEMA DEL MAE

**ANEXO D:** ÁREA DE INFLUENCIA DE FOCOS DE CALOR DE LOS SENSORES MODIS  
Y VIIRS

**ANEXO E:** PROYECCIONES DE LAS CICATRICES DE QUEMA Y LOS FOCOS DE  
CALOR

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AsSnO1	Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BsSnO1	Bosque siempreverde del Páramo
C	Carbono
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CLD	Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación
CO2	dióxido de carbono
DESINVENTAR	Sistema de Inventario de Desastres en América Latina
DGOTA	Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental
EOS	Earth Observing System
FIRMS	Fire Information for Resource Management System
HsSnO2	Herbazal del Páramo
HsNnO2	Herbazal ultra húmedo subnivel del Páramo
HsNnO3	Herbazal y Arbustal siempreverde subnivel del Páramo
HsSnO4	Herbazal inundable del Páramo
HsSnO3	Herbazal húmedo montano alto superior del Páramo
HsNnO1	Herbazal húmedo subnivel del Páramo
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
MAE	Ministerio del Ambiente y Agua
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOD 14	Fire and Thermal Anomalies Algorithm
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPOESS	National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System
OLS	Operational Linescan System
RPFCH	Reserva de Producción de Fauna Chimborazo
SIG	sistema de información geográfica
SNGR	Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos
SUOMI/NPP	Suomi National Polar-orbiting Partnership
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo comparar 220 focos de calor extraídos de la plataforma FIRMS con 42 cicatrices de quema obtenidas de los registros del Ministerio del Ambiente (MAE), en el período (2015-2019) en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, (RPFCH) mediante un análisis espacio-temporal, recopilando coordenadas geográficas según la disponibilidad de los sensores MODIS y VIIRS, para la proyección de los puntos se utilizó el software ArcGis 10.5, con ayuda de la herramienta “*Conversion Tools*”, “*Excel To Table*”, transformando los focos de calor en *shapefile* utilizando un *buffer* (área de influencia) cuadrado dependiendo del pixel de cada sensor, de 1 km para el sensor MODIS, y de 375 m para el sensor VIIRS. Se analizó la magnitud de cada incendio para validar los focos de calor considerando como “*aciertos*” aquellos puntos que tenían concordancia espacio-temporal con las cicatrices de quema y como “*errores*” aquellos que no cumplían con dicha concordancia, considerando también su fecha de registro y la cobertura vegetal afectada. El estudio realizado demostró que del total de focos de calor analizados se registró mayor número de “*aciertos*” dentro de la RPFCH en áreas superiores a 1 ha; los “*errores*” reportados se encontraron principalmente en la zona de amortiguamiento, también se pudo demostrar que el sensor VIIRS presentó una mayor cantidad de focos de calor con respecto al sensor MODIS, lo que concluye que el hecho de que exista una mayor cantidad de focos de calor detectados no implica que contenga todos los eventos como se pudo comprobar en las validaciones individuales. Por lo tanto, la validación demostró ser una metodología poco eficiente por la falta de precisión de los datos al compararlas. Se recomienda para futuros estudios utilizar imágenes espaciales para estimar áreas quemadas desde una perspectiva multi-temporal en la RPFCH tomando en cuenta las condiciones climáticas del lugar.

**Palabras Clave:** <SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA>, <TELEDETECCIÓN> <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA>, <FOCOS DE CALOR>, <CICATRICES DE QUEMA>, <MODIS>, <VIIRS>

LUIS ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS  
ALBERTO CAMINOS VARGAS  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=EC, l=RIOBAMBA,  
serialNumber=0602766974,  
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.04.01 12:18:45 -05'00'



0912-DRAI-UTP-2021

## ABSTRACT

This research aimed to compare 220 heat sources extracted from the platform FIRMS with 42 burn scars obtained from the records of the Ministry of the Environment of Ecuador (MEE), in the period 2015-2019 in the Chimborazo Fauna Production Reserve, (CFPR) through a spatio-temporal analysis, collecting geographic coordinates according to the availability of the MODIS and VIIRS sensors. ArcGis 10.5 software was used for the projection of the points, with help of the tool "Conversion Tools", "Excel To Table", transforming the heat sources into shapefile using a square buffer (area of influence) depending on the pixel of each sensor, 1 km for the MODIS sensor, and 375 m for the VIIRS sensor. The magnitude of each fire to validate the heat sources considering as "right ones" those points that had spatio-temporal concordance with burn scars and as "wrong ones" those that do not complied with said agreement, also considering their registration date and plant cover affected. This study showed that of the total heat sources analyzed there was a greater number of "right ones" within the RPFCH in areas greater than 1 ha; reported "wrong ones" were found mainly in the buffer zone. It could also be shown that the sensor VIIRS presented a greater number of heat sources compared to the MODIS sensor. It was concluded that the fact that there was a greater number of detected heat sources did not imply that it contained all the events as it could be verified in the individual validations. Therefore, the validation proved to be an inefficient methodology due to the lack of precision of the data when comparing them. It is recommended for future studies to use spatial imagery to estimate burned areas from a multi-temporal perspective in the RPFCH taking into account the climatic conditions of the place.

**Keywords:** <GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS>, <REMOTE DETECTION>  
<COMPUTER AIDED DESIGN>, <HEAT SPOTS>, < BURN SCARS >, <MODIS>, <VIIRS>

Riobamba, April 12, 2021

Translated by:

 Firmado digitalmente  
por DENNYS  
VLADIMIR  
TENELANDA LOPEZ  
Fecha: 2021.04.12  
13:07:49 -05'00'

Mgs. Dennys Tenelanda López

**PROFESSOR OF EFL**

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son uno de los procesos que rigen los ecosistemas naturales en varias partes del mundo en el cual, durante la estación seca o durante los años secos en las zonas húmedas, la vegetación se convierte en un combustible que puede quemarse fácilmente. La Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (CLD) reconoce que las zonas de clima subhúmedo seco o semiárido son particularmente propensas a incendios forestales a gran escala. Por otro lado, las áreas más áridas no permiten la sucesión de la vegetación, lo que obstaculiza la propagación y extensión del fuego. Las actividades antropogénicas en zonas densamente pobladas suelen ser la causa de incendios y una de los principales promotores de los procesos de desertificación (Barcia et al., 2018: p.325).

En los últimos cinco años en el Ecuador, el fuego ha afectado cerca de 113 780 hectáreas de bosque. Luego de este tipo de sucesos la restauración de los ecosistemas puede llevar más de 20 años. A partir del 2015 hasta el 21 de enero del 2020, se han registrado más de 9063 eventos (Alarcón, 2020).

El rol del fuego en la vegetación es contradictorio en muchos casos. Debido a que en ciertos ecosistemas, los incendios son primordiales para mantener la dinámica de los ecosistemas, la biodiversidad y la productividad. Su uso con fines agrícolas que datan de decenas de miles de años, para eliminar especies que se consideran dañinas, regenerar pasturas, facilitar labores y evitar daños (Barcia et al., 2018: p.325).

No obstante, cada año, los incendios causan destrucción de millones de hectáreas de bosques y otros tipos de vegetación, ocasionando muertes y originando daños económicos, ya sean en términos de recursos destruidos como en costos de la extinción. Igualmente tiene impactos sociales y ambientales, como son, daños a la salud humana causadas por el humo, la pérdida de la diversidad biológica, la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases de efecto invernadero, los daños a los valores recreativos y otros (Barcia et al., 2018: p.325).

La Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (RPFCH), es parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas desde el año de 1987. Se encuentra ubicada en las provincias de Chimborazo, Bolívar y Tungurahua, dentro de sus límites políticos se encuentran los Gobiernos Autónomos

Descentralizados de los Cantones de Guaranda, Guano, Riobamba, Ambato, Tisaleo y Mocha con una extensión de 52 683 ha, y con variación altitudinal desde los 3.800 a 6.310 m.s.n.m; correspondiente a la cumbre del nevado Chimborazo, icono ecuatoriano (Ministerio del Ambiente y Agua, 2015).

Según el plan de Manejo de la RPFCH (MAE et al., 2014), contiene ocho de los 91 ecosistemas existentes en el Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013, p.11), además, fue establecida con la intención de producir beneficios a los residentes locales, para mejorar el nivel de vida del campesino, manteniendo las aptitudes del ecosistema de páramo y su productividad; precautelando y desarrollando, con parámetros ecológicos, el hábitat de los camélidos nativos de los Andes como la vicuña, especie emblemática de la reserva y de nuestro país, que es una especie emblemática, ligada con nuestra identidad cultural (Ministerio del Ambiente y Agua, 2015).

La Teledetección se ha vuelto una herramienta común para analizar los incendios forestales y, en concreto, la cartografía de áreas quemadas, por la facilidad de obtener imágenes de diferentes resoluciones (temporal, espacial y espectral) la hacen adecuada para este tipo de investigaciones. Las contribuciones aportadas hasta la fecha por diversos autores han demostrado la capacidad de los sensores comerciales actualmente operativos para localizar y delimitar las zonas afectadas por incendios forestales (Gómez y Martín, 2008: pp.15-16).

## **PROBLEMÁTICA**

El fuego es un elemento relevante en la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas terrestres, pero su propagación incontrolada en selvas, bosques, paramos o cualquier otro tipo de vegetación, contribuye directamente a consecuencias devastadoras para el medio ambiente como es la erosión de los suelos, la pérdida de la biodiversidad, el incremento de dióxido de carbono en la atmósfera, alteración del hábitat de las especies.

En el Ecuador, existe carencia de estudios relacionados sobre los incendios forestales y desconocimiento del grado de certeza de las proyecciones de áreas que se han visto afectadas. En vista que la información relacionada a este tipo de desastres carece de datos estadísticos validados en referencia a la geolocalización y superficies afectadas.

## **JUSTIFICACIÓN**

El actual estudio pretende identificar las áreas que se han visto afectadas por el fuego ya que la cobertura vegetal de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo alberga una gran biodiversidad que debe ser protegida, para este fin se ha planteado aplicar tecnología de percepción remota, especialmente por el uso de herramientas como son los sensores MODIS y VIIRS. Sin embargo, el uso de estas herramientas espaciales ha sido limitada en nuestro país, por la falta de estadísticas históricas detalladas de incendios forestales que especifiquen su registro y cuantifique las pérdidas, por la cual se lleva a cabo la presente investigación, para validar que tanto los focos de calor como los inventarios de incendios forestales se encuentren en el mismo lugar, esta información contribuirá a la prevención y combate de incendios forestales, por lo que se ha propuesto los siguientes objetivos para la presente investigación.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Comparar entre Focos de Calor y Cicatrices de Quema de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo durante el Período 2015-2019

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener focos de calor por medio de los sensores MODIS y VIIRS
- Validar las imágenes obtenidas de los sensores MODIS y VIIRS con los registros de incendios del MAE

## **HIPÓTESIS**

### **HIPÓTESIS NULA**

Los focos de calor y el inventario de incendios de acuerdo al MAE no se encuentran localizados en el mismo lugar.

### **HIPÓTESIS ALTERNANTE**

Los focos de calor y el inventario de incendios de acuerdo al MAE se encuentran localizados en el mismo lugar.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Definición de fuego

El fuego se considera como la liberación de energía en forma de luz y calor, que resulta de la combustión (quema). Para que el fuego se origine se debe mezclar calor, combustión y oxígeno en proporciones correctas. Si uno de ellos faltase, el fuego no se produciría (Manzo Delgado et al., 2019: p.7).

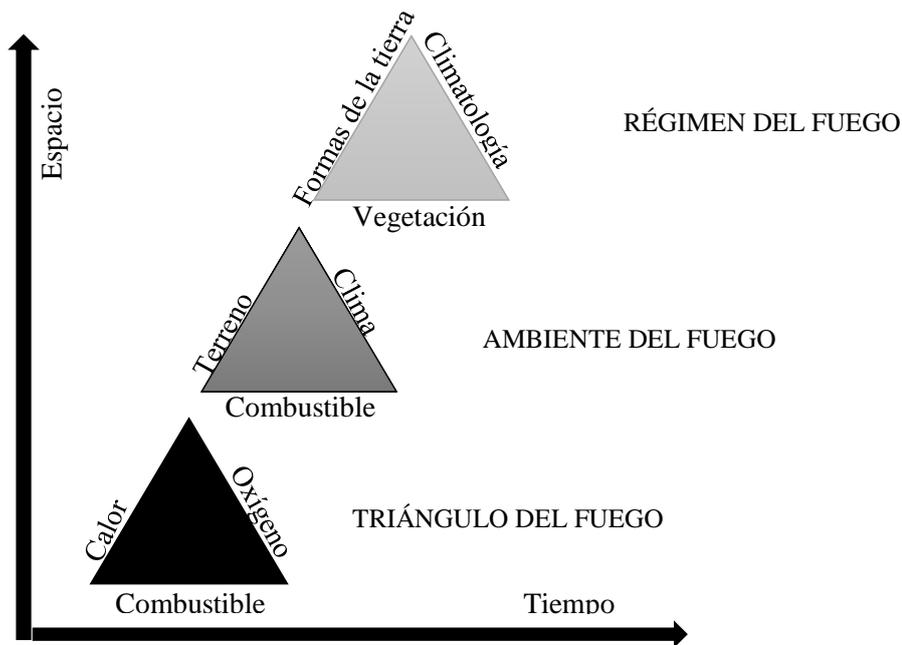
“El fuego se provoca en dos etapas, debiendo primero darse el precalentamiento de los materiales, originándose este por la transmisión de calor hasta llegar arder, seguido viene la combustión, en este punto ya no tienen una necesidad de otra fuente de calor” (DGOTA, 2017, p.8).

Los conceptos del fuego cambian a través de las escalas espaciales y temporales.

**Escala de combustión o triangulo del fuego:** Es la escala más fina en la cual las camas de combustibles individuales se encienden, se queman y transfieren energía a sus alrededores (Cochrane, 2010).

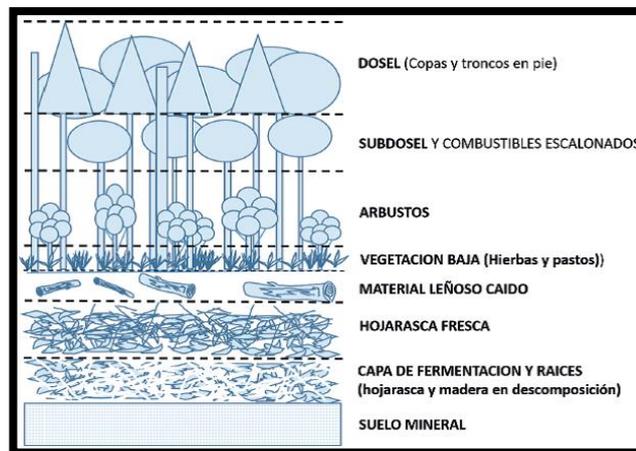
**Escala de microsítio o ambiente del fuego:** Es la suma de todos los ambientes de combustión dentro de un incendio individual. A esta escala el monitoreo y modelado del comportamiento del fuego se utilizan para evaluar el fuego ya que los combustibles, el calor y el oxígeno varían con el terreno y el clima dentro de los incendios individuales (Cochrane, 2010).

**Escala espacial y temporal alta o régimen del fuego:** Describen el tipo de fuego modal que se produce en el paisaje de la comunidad y los niveles de bioma a través de escalas de tiempo decenales a centenarias (Cochrane, 2010).



**Figura 1-1:** Conceptos sobre el fuego en distintos rangos espacio-temporales  
 Realizado por: Cochrane, M. 2010

Los combustibles forestales juegan un papel importante en el ámbito del calentamiento global, por lo que la adecuada estimación de las camas de combustible permitirá disminuir los niveles de incertidumbre de los contenidos de carbono (C) de los ecosistemas forestales (Flores et al., 2018: p.1).



**Figura 2-1:** Modelo conceptual de los componentes de una cama de combustible forestal.

Realizado por: Flores et al., 2018

## **1.2. Fuego y biodiversidad**

“Varios ecosistemas han desarrollado adaptaciones para depender de sus efectos, como la reducción de competencia por malezas, el asentamiento y control de enfermedades entre las plantas, la liberación e incorporación de nutrientes y en algunos casos, la germinación de algunas semillas” (Comisión Nacional Forestal, 2010, p.11).

“Las relaciones del fuego con un ecosistema se definen en los que llama régimen del fuego; que tiene que ver con la severidad, la intensidad, la escala espacial, la estacionalidad y la fuente predominante de ignición, es decir, la presencia del fuego en un ecosistema posee un “patrón” específico y atributos” (Comisión Nacional Forestal, 2010, p.11).

“Según el régimen del fuego que poseen, los ecosistemas se clasifican en 3 categorías: ecosistemas sensibles, dependientes o independientes del fuego” (Comisión Nacional Forestal, 2010, p.11).

## **1.3. Definición de Incendios Forestales**

Los incendios suelen iniciarse en un punto o foco y el fuego se propaga y se expande debido a la convección, radiación y conducción del calor que las llamas provocan. Los incendios forestales son aquellos en los que se produce la destrucción total o parcial de la vegetación, porque el fuego se extiende de manera descontrolada.

Teniendo en cuenta que aproximadamente el 99% de las causas de los incendios forestales es ocasionada por actividades humanas y mientras que el resto tiene como causa fenómenos naturales (Comisión Nacional Forestal, 2010, p.6).

## **1.4. Características De Los Incendios Forestales**

Para entender la característica de los incendios forestales revisemos cómo el propio Juli lo definía:

*Los incendios son fuegos que se propagan sin control humano; cuando ocurren en la naturaleza se llaman incendios forestales. El término “incendios forestales” se refiere a los fuegos no controlados (sean de origen natural o antrópico) que en los ecosistemas terrestres, y que se propagan por la vegetación, del tipo que sea (bosque, sabana, matorral, pastizal, humedal, etc.). Para que se dé un incendio forestal, con la concentración de oxígeno en la atmósfera, es necesario que la vegetación tenga una humedad baja. Pero, por sí sola, la baja humedad tampoco es suficiente para que haya muchos incendios. Por lo tanto, podríamos decir que los factores que modulan el régimen de incendios forestales son: la biomasa (productividad primaria), la variabilidad en la disponibilidad hídrica como por ejemplo la estacionalidad de las lluvias, y las igniciones; en ausencia de uno de estos parámetros difícilmente se generarán incendios (Pausas, 2020).*

De acuerdo a Juli, la biomasa no solo se refiere a la cantidad de combustible vegetal, sino también a la estructura de esa biomasa tanto a escala de planta como a escala del ecosistema también existen rasgos de las plantas que también incrementan la inflamabilidad, como una elevada relación superficie-volumen, la retención de ramas secas o la presencia de aceites aromáticos y resinas, entre otros factores más como sotobosque-dosel, tamaño de las plantas, la cobertura, la distribución espacial de las especies con diferente inflamabilidad, etc. Por lo tanto, la estructura de la biomasa es un factor importante que contribuye a determinar el régimen de incendios de un determinado lugar (Pausas, 2020).

Las igniciones pueden ser de origen natural o antrópico. La mayoría de las fuentes de ignición natural son los rayos, pero existen otros factores, tales como volcanes o las caídas de piedras que también pueden generar incendios. Actualmente la mayoría de los incendios forestales son causados por las actividades humanas; aunque esto varía dependiendo del lugar y el año. Entonces podemos decir que las condiciones ambientales tanto el clima como el suelo controlan los factores que determinan los incendios forestales, por la variabilidad de disponibilidad de agua, productividad y biomasa, dependiendo la cantidad de biomasa, así como la estructura de la vegetación y las igniciones naturales. La estacionalidad es un ejemplo de variabilidad en la disponibilidad de agua, pero la variabilidad entre años también puede ser relevante en determinar incendios (Pausas, 2020).

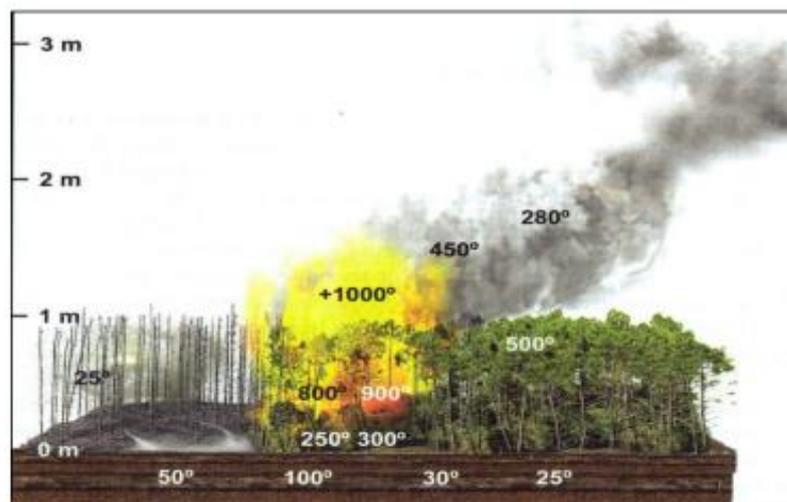
**Tabla 1-1:** Temperatura de inicio de fuego en la vegetación

Mecanismo de Transferencia de Calor	Temperatura de la Superficie de la Madera	
	Temperatura de Inflamación (°C)	Temperatura de Autoignición (°C)
<b>Radiación</b>	300-410	600
<b>Convección</b>	450	490

Fuente: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2601>

Realizado por: Zamora, Alejandra, 2016, p.7; citado en Arnaldos et al., 2004

Según el pensamiento de Arnaldos, la temperatura varía cuando existe un incendio. En el suelo la temperatura va desde 250°C a 300°C, en la zona combustible (lo que está pronto a quemarse) oscila desde 500°C, la temperatura de la zona en llamas sufre muchas fluctuaciones pero las que más se consideran son aquellas que van desde 700°C a más de 1000°C, y finalmente en la columna de convección la temperatura va decreciendo (Zamora, 2016, p.8).



**Figura 3-1:** Distribución de temperaturas (°C) en un frente de incendio

Realizado por: Zamora, A. 2016, p.8; citaado en Arnaldos et al., 2004

De acuerdo a Zamora (2016, p.8), con el pensamiento de Arnaldos, cuando aplicamos la ley de Wien para la longitud de la banda termal (3.7 a 4.1  $\mu\text{m}$ ) observamos que estos sensores captan temperaturas 510 °C a 433 °C, aproximadamente entre 706 K a 783 K. Teniendo en cuenta que los algoritmos para obtención de los focos de calor utilizan diferentes bandas para eliminar posibles errores, el más usual es el brillo solar que suele confundirse con fuego.

## 1.5. Tipos de incendios forestales

**Incendio Superficial:** Es aquel en el fuego se propaga en forma horizontal sobre la superficie del terreno y alcanza hasta metro y medio de altura. Afectando combustibles vivos y muertos como pastizales, hojas, ramillas, arbustos o pequeños arboles de regeneración natural o plantación, troncos, humus, entre otros (Comisión Nacional Forestal, 2010, p.7).

**Incendios subterráneos:** Cuando un incendio se propaga bajo el suelo. El cual llega a quemarse la materia orgánica acumulada y las raíces, e incluso puede alcanzar los afloramientos rocosos. Por lo general estos no producen llamas y emiten poco humo (Comisión Nacional Forestal, 2010, p.7).

**Incendios de copa o aéreos:** Son los más destructivos, peligrosos y difíciles de controlar, ya que el fuego consume toda la vegetación. Además, comienzan en forma superficial, pero en este caso, las llamas avanzan primero sobre el nivel del suelo y se propaga por continuidad vertical, es decir, escalan vegetación dispuesta hacia arriba que sirve de combustible en escalera hacia las copas de los árboles (Comisión Nacional Forestal, 2010, p.7).

## 1.6. Incendios Forestales en Ecuador

En el Ecuador la mayoría de incendios forestales, son provocados por la actividad antropogénica, porque consideran el uso del fuego como una herramienta de trabajo para la preparación de tierras, de cultivos, además de la renovación de pastizales y el cambio de uso del suelo, prácticas desarrolladas de modo inadecuado, antitécnico, convirtiéndose en la principal razón, seguido de las quemadas a través de acciones piro maniáticas así los actos inescrupulosos de personas que visitan las áreas naturales y bosques asociando a esto la falta de conocimiento e información sobre el uso controlado del fuego (Ministerio del Ambiente y Agua, 2015).

Según los registros pronunciados por el Ministerio del Ambiente, comprendidos entre el 2012 y el 2018, el impacto de los incendios forestales en la vegetación natural es de 61.372 ha, concentrados principalmente en zonas de amortiguamiento de las áreas protegidas y con menor proporción dentro de ellas. Durante el mismo período el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos

anuncia un impacto nacional de 140.123 ha (áreas bajo cierta categoría de conservación y sin categorías de conservación) (Bustos et al., 2019).

Las provincias que tienen tasas más elevadas de incendios forestales están ubicadas en las tierras altas (región sierra) y zonas costaneras del país, entre las áreas más afectadas incluyen: Carchi, Imbabura, Pichincha, Loja, Azuay, Chimborazo, Cañar, Cotopaxi y El Oro (Bustos et al., 2019).

La provincia de Chimborazo se encuentra dentro de las 5 provincias del país con mayor afectación de incendios forestales según las estadísticas que maneja el SNGR (Donoso, 2019), consumiendo cerca de 2.526 ha, registrando en el año 2015 un total de 1.662,14 has. flageladas; de las cuales dentro de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo se flagelaron 210,6 ha por los incendios forestales (Ministerio del Ambiente y Dirección Provincial de Chimborazo, 2015, p.18). Además, se considera al año 2018, como la cifra más elevada de incendios forestales de los últimos siete años. Para el año 2017 y 2019, el director del Ambiente en Chimborazo Javier Tingo menciona que existieron afectaciones en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo y el Parque Nacional Sangay (Donoso, 2019).

### **1.7. Definición de Áreas quemadas**

“Abarca la identificación de las áreas, puntos donde se han ocasionado los incendios, esta identificación se puede ejecutar a través de un análisis multi-temporal, por medio de imágenes satelitales” (DGOTA, 2017, p.18).

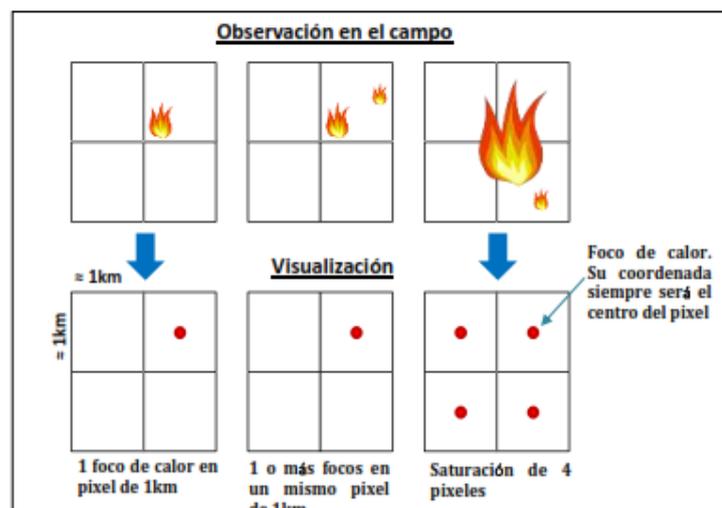
### **1.8. Definición de focos de calor**

El foco o punto de calor (*hot spot*) es determinado como la expresión que comúnmente se utiliza para indicar una anomalía térmica o un incendio potencial detectados por medio de imágenes satelitales. En otras palabras, la presencia de un incendio afirma que en el mapa de focos aparecerá un punto indicador (siempre que no haya nubes sobre la zona). Sin embargo, el hecho de que el punto indicador aparezca en el mapa de focos no significa que en ese sector haya un incendio. En este último caso, las altas temperaturas del terreno detectadas (extrañas con relación de las temperaturas de la superficie del entorno de dicho punto) sólo indica que puede producirse un

incendio en poco tiempo (Barcia et al., 2019: p.266). Además, la práctica en la que se utiliza el fuego, denominada como sistema de rotación de los campos de cultivos puede ser detectada por los satélites y ser reportada como un foco de calor.

Además, un foco de calor o punto de calor es considerado como cualquier punto de la superficie de la tierra que emita suficiente temperatura para que el pixel de una imagen de satélite lo reporte con una temperatura elevada en comparación con los pixeles vecinos, cumpliendo con los umbrales establecidos en el algoritmo de origen. Para la detección de los mismos se usa 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  $\mu\text{m}$  - 11 $\mu\text{m}$  (DGOTA, 2017, p.15; citado en Giglio et al., 2003).

El foco de calor se reporta como un punto, ubicado al centro de pixel activado. El evento que ocasionó que se active el pixel puede ser un incendio, una quema agrícola, fuegos industriales, volcanes activos u otros. El área quemada visualizada a través de una imagen se conoce también como cicatriz de quema (DGOTA, 2017, p.15). Sin embargo, “bajo este concepto no es posible saber el número de incendios y su tamaño, por la saturación del pixel completo que depende de la intensidad de la temperatura que emita la superficie y el diseño del sensor” (François, 2011, p.150).



**Figura 4-1:** Representación teórica de un foco de calor y la cicatriz de quema asociada a él.

Realizado por: DGOTA, 2017, p.16.

## 1.9. Principios físicos para la Detección de Incendios

Los focos de calor se establecen por medio de la información que nos brindan los sensores de los satélites, principalmente la banda termal. Esta banda detecta energía electromagnética en las longitudes de onda de 3.7  $\mu\text{m}$  a los 4  $\mu\text{m}$ . Esta energía es relacionada con la temperatura del cuerpo que la emite, de acuerdo a la ley de Wien (DGOTA, 2017, p.16).

La ley de desplazamiento de Wien establece que la longitud de onda para la cual es máxima la emisión del cuerpo negro es inversamente proporcional a su temperatura absoluta (DGOTA, 2017, p.16; citado en Pinilla Ruiz, s.f). Cuando aumenta la temperatura de un cuerpo negro, aumenta la energía radiada por el en general y el pico de la curva de radiación se mueve a longitudes de onda más corta (DGOTA, 2017, p.16; citado en Olmo y Nave, 2012).

$$\lambda_{max} = \frac{C}{T}$$

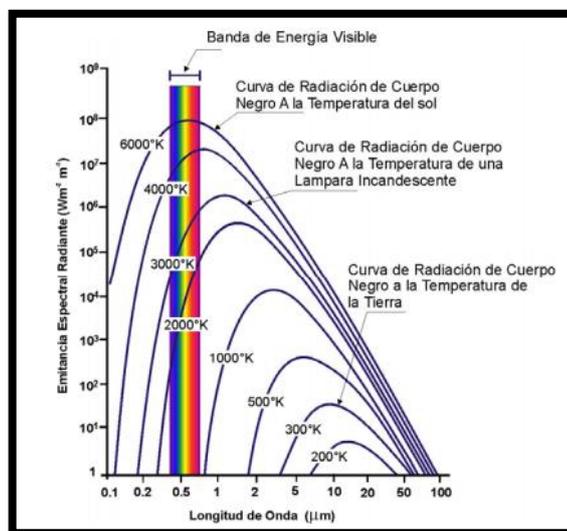
Ó

$$\lambda_{max} \cdot T = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Donde:

C: constante de Wien ( $2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ ) en Kelvin por metro.

T: Temperatura en Kelvin



**Figura 5-1:** Ley de Wien, Distribución Espectral de la energía.

Realizado por: Pérez, D. 2007, p.6

## 1.10. Errores De Omisión Y Comisión

“En lo que se refiere a la capacidad de los puntos para detectar perímetros quemados, se debe dividir la exposición entre los errores de omisión (falsos negativos) y los de comisión (falsos positivos)” (Chuvieco et al., 2012, p.16).

Los **errores de comisión** o falsos positivos son aquellos en los que no existe una cicatriz de quema asociada al foco de calor. Estas falsas alarmas pueden ser provocadas por un suelo muy caliente, grandes chimeneas, brillo solar, volcanes activos u otras fuentes de calor potentes, cubiertas con presencia mixta de vegetación y suelo, a zonas urbanas o a suelos calientes. Sin embargo, cada cierto tiempo, los algoritmos con los que se obtienen los focos de calor se ajustan para reducir este tipo de error (Zamora, 2016, pp.8-9).

“Se considera como error de comisión al punto de calor situado a más de 1500m de cualquier perímetro quemado. Eso supone conceder un margen de desplazamiento de 1 pixel sobre la resolución original del producto MOD14” (Chuvieco et al., 2012, p.18).

“La omisión o falsos negativos puede venir dada o bien porque el incendio es muy pequeño para ser detectado por el sensor, o muy corto en el tiempo para estar activo en el momento de pasar el satélite” (Chuvieco et al., 2012, p.16).

El **error de omisión** se refiere a aquellos eventos no detectados. Este error puede ascender al 30% del total de casos (Zamora, 2016, p.9; citado en CPTEC(a), 2014). El error de omisión podría deberse a:

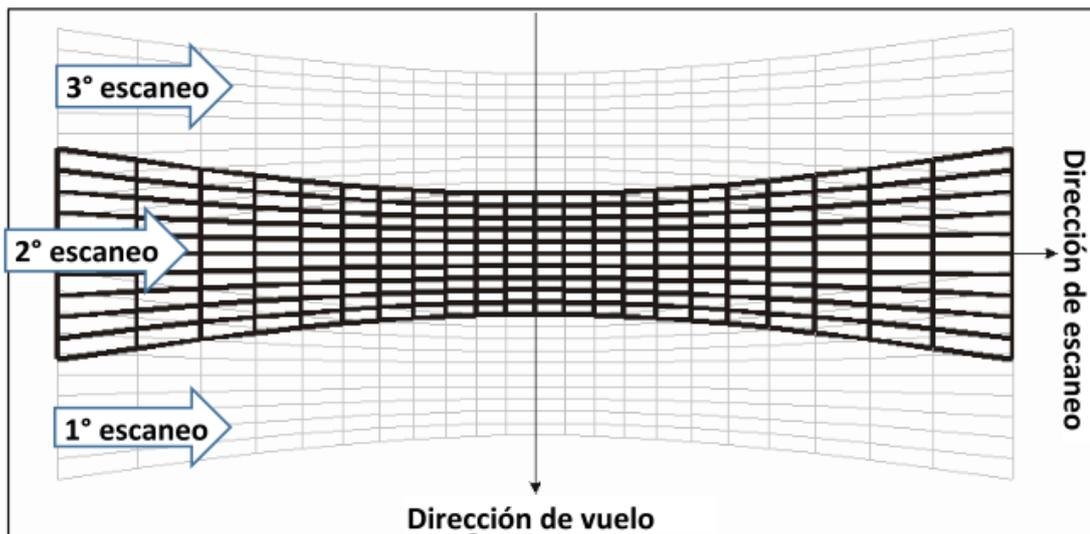
- El frente de fuego es menor a 30m.
- El incendio forestal no alcanza las copas de los árboles.
- Existen nubes cubriendo la zona.
- Quemados de pequeñas duración ocurrida entre las tomas de imagen.
- La imagen de satélite no cubrió esa zona (por el paso de satélite).

- El fuego está en una ladera de la montaña cuando el satélite miraba hacia otro lado.
- El evento está en el área de distorsión de la imagen por lo que es posible que no se ubique el evento en el radio de búsqueda en campo.

### 1.11. Distorsión de los Píxeles

Considerando que el píxel activado tiene 1km de longitud teórica y el foco de calor se representa como un punto al centro del mismo, es ideal pensar que el evento se producirá dentro del píxel, dentro de un radio de 0.5 km alrededor del punto; sin embargo, la experiencia en campo dice que es 1km. Esto puede tener lógica si se toma en cuenta la distorsión que sufren los píxeles de la imagen al alejarse del nadir (Zamora, 2016, p.9).

Al momento de capturar una imagen con el satélite, ésta siempre tiene una distorsión y esta distorsión se acrecienta a mayor distancia del centro de la toma. Esto es más evidente en satélites atmosféricos debido al gran tamaño de territorio que abarca cada escena y donde la curvatura de la tierra se hace más evidente (Zamora, 2016, p.9).



**Figura 6-1:** Ejemplificación de la distorsión de los píxeles en una imagen MODIS

Realizado por: Zamora, A. 2016, p.10; citado en EOWEB, s.f.

En la Figura 6-1 se observan tres escaneos consecutivos: el primero y el tercero se observan en líneas gris claras y el segundo en negro. Se observa el “bow tie effect” (efecto de corbata de moño) donde los pixeles más alejados de la dirección de vuelo (nadir) sufren mayor distorsión. Esta distorsión del pixel es mayor en su longitud de scaneo (*scan*) que en la longitud de la dirección de vuelo (*track*). De hecho, los pixeles más alejados del nadir de los diferentes escaneos se solapan debido a este efecto (Zamora, 2016, pp.9-10).

**Tabla 2-1:** Variación del tamaño de pixel por tipo de satélite

Satélite	Tamaño de pixel	Distorsión máxima del tamaño de pixel	Máximo tamaño de pixel al corte
<b>MODIS</b>	1 km	4 km	3 km
<b>NPP</b>	0.75 km	1.6 km	

Fuente: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2601>

Realizado por: Zamora, Alejandra, 2016, p.11; citado en CPTEC, 2014

Muestra las variaciones de tamaño a las que pueden llegar las imágenes del satélite de las cuales derivan los focos de calor (Zamora, 2016).

### 1.12. Tamaño Mínimo del Área de Quema Detectada

Si se trabaja con imágenes MODIS, el pixel activo tendrá 1 km<sup>2</sup> de área.

Para tener una mayor comprensión del contexto revisemos como lo describe la NASA:

*La NASA indica que el tamaño mínimo de fuego detectable está en función muchas variables (ángulo de escaneo, bioma, posición del sol, temperatura de la superficie de la tierra, cobertura de nubes, humo, dirección del viento, etc.). Normalmente, MODIS detecta fuegos de 1000m<sup>2</sup> (0.1ha, un poco más grande que un pixel de Landsat), aunque en buenas condiciones de observación, se puede detectar fuegos de hasta 100m<sup>2</sup> (DGOTA, 2017, p.25; citado en EODIS, s.f.).*

Mientras que si se trabaja con VIIRS la resolución para el producto de fuego activo Land-SIPS VIIRS de la NASA sería de 750 m (en lo sucesivo denominado VNP14) y para el producto de fuego activo Land-SIPS VIIRS de la NASA sería de 375 m (en lo sucesivo denominado VNP14IMG) (Schroeder, 2018, p.2).

### **1.13. Portales Web para Descarga de Focos de Calor**

Encontramos varias páginas que proveen de un portal SIG para focos de calor para Ecuador y otros países.

**Nombre del portal:** Fire Information for Resources Managements System - FIRMS / Earth Observation Data - EARTHDATA

**Institución:** National Aeronautics and Space Administration –NASA (USA)

**Link:** <https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms>

**Nombre del portal:** Global Fire Maps / Earth Observation Data-EARTHDATA

**Institución:** National Aeronautics and Space Administration –NASA (USA)

**Link:** <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/imagery/firemaps.cgi>

### **1.14. Sensores Utilizados Para La Detección De Focos De Calor**

Se utilizan todos los satélites que tienen sensores ópticos que operan en la banda termal media de 4µm. Los sensores actuales utilizados para focos de calor en Ecuador y otros países son para MODIS de los satélites polares de TERRA y AQUA, y para el sensor VIIRS del nuevo satélite Suomi NPP (Zamora, 2016).

### 1.15. Sensor MODIS – Satélites Aqua y Terra

MODIS se utiliza operativamente para transmitir información sobre incendios activos en tiempo real, siendo particularmente útil en países donde no existe información de detecciones terrestres, a bordo de dos satélites que nos permiten detectar los focos activos y el área que se ha quemado.

La órbita del satélite Terra (originalmente conocido como EOS-AM, lanzado en diciembre de 1999) que va a través del Ecuador de norte a sur, en la mañana; y Aqua (originalmente conocido como EOS-PM, lanzado en mayo de 2002) que pasa sobre el Ecuador de sur a norte, en la tarde; resultando en una cobertura global cada 1 a 2 días y una frecuencia de imágenes de al menos 2 por día, con un ancho de barrido de 2330 km. En el día detecta los datos de todas las bandas y en la noche solo detecta las que corresponden al térmico.

Posee un ángulo de 110° de visión, con productos como reflectancia de la superficie, índices de vegetación, anomalías térmicas, entre otras. Sus detectores miden 36 bandas espectrales entre 0.405 y 14.385  $\mu\text{m}$ , (las principales incluyen las rojas, azul, IR, casi IR y MIR) y adquiere datos en tres resoluciones espaciales: 250 m, 500 m y 1000 m. Las dos primeras bandas (Bandas 1-2), poseen una resolución espacial de 250m, cubriendo el rojo e infrarrojo cercano. Las siguientes 5 bandas (Bandas 3-7) proporcionan 500m de resolución espacial, que abarcan el espectro visible y diversas bandas de la onda corta infrarroja y las siguientes bandas (Bandas 8-36) poseen una resolución de 1km, cubriendo principalmente el espectro del infrarrojo cercano, el infrarrojo medio y térmico (Frazier, s.f.).

**Tabla 3-1:** Especificaciones Generales del sensor MODIS

<b>Fecha de lanzamiento</b>	diciembre de 1999 (a bordo de Terra) mayo del 2002 (a bordo de Aqua)
<b>Órbita</b>	Altitud:708km (Terra)-705 km (Aqua), pasando en el Ecuador a 10:30 am nodo descendente (Terra) y a la 1:30 pm nodo ascendente (Aqua), heliosíncrona, casi polar, circular
<b>Ancho de franja</b>	2330 km (ortogonal) por 10 km (a lo largo de la órbita, al nadir)
<b>Resolución radiométrica</b>	12 bits
<b>Tiempo estimado de vida</b>	6 años

Fuente: [https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook\\_file/aplicacionesMODIS.pdf](https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/aplicacionesMODIS.pdf)

Realizado por: François, Jean, 2011, p.15

**Tabla 4-1:** Características de las bandas del sensor MODIS

Banda	Ancho de banda	Radiancia espectral (W/m <sup>2</sup> -μm-sr)	Resolución espacial (m)	Uso
1	620-670	21,8	250m	Límites de la tierra, nubes y aerosoles
2	841-876	24,7		
3	459-479	35,3	500m	Propiedades de la tierra, nubes y aerosol
4	545-565	29		
5	1230-1250	5,4		
6	1628-1652	7,3		
7	2105-2155	1		
8	405-420	44,9	1000m	Color de océano/Fitoplancton/Biogeoquímica
9	438-448	41,9		
10	483-493	32,1		
11	526-536	27,9		
12	546-556	21		
13	662-672	9,5		
14	673-683	8,7		
15	743-753	10,2		
16	862-877	6,2		
17	890-920	10		
18	931-941	3,6		
19	915-965	15		
20	3660-3840	0.45(300K)	1000m	Temperatura de la superficie y nubes
21	3929-3989	2.38(335K)		
22	3929-3989	0.67(300K)		
23	4020-4080	0.79(300K)		
24	4433-4498	0.17(250K)	1000m	Temperatura atmosférica
25	4482-4549	0.59(275K)		
26	1360-1390	6.00		
27	6535-6895	1.16(240K)	1000m	Vapor de agua en las nubes cirrus
28	7175-7475	2.18(250K)		propiedades de nubes
29	8400-8700	9.58(300K)		Ozono
30	9580-9880	3.69(250K)		Temperatura de la superficie y nubes
31	10780-11280	9.55(300K)		Altitud máxima de nubes
32	11770-12270	8.94(300K)		
33	13185-13485	4.52(260K)		
34	13485-13785	3.76(250K)		
35	13785-14085	3.11(240K)		
36	14085-14385	2.08(220K)		

Bandas del 1 al 19 están en nm; Bandas del 20 al 36 están en μm

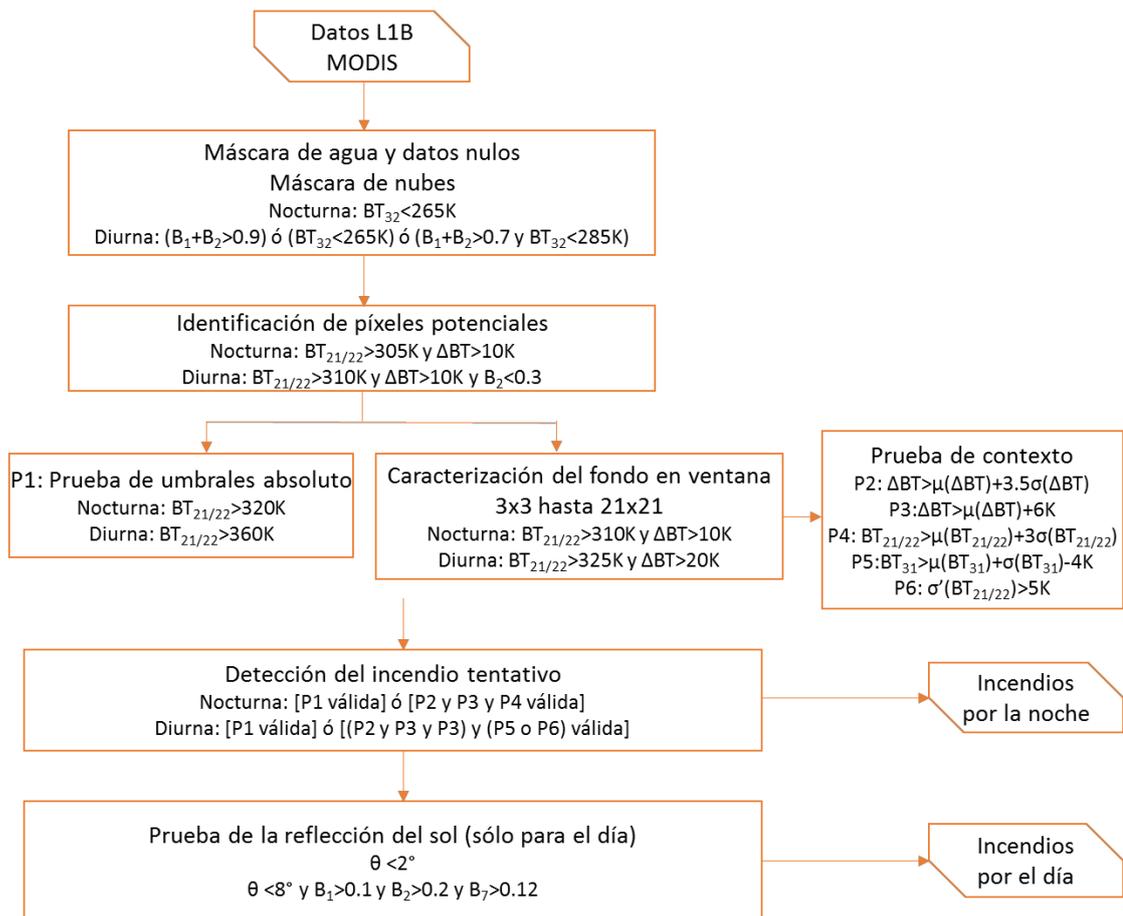
Fuente: [https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook\\_file/aplicacionesMODIS.pdf](https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/aplicacionesMODIS.pdf)

### **1.16. Algoritmo de Detección De Fuegos del Sensor MODIS**

El producto MOD14 identifica anomalías térmicas, o puntos de calor, los cuales corresponden generalmente a quemas agrícolas e incendios activos (François, 2011, p.56). MOD14 MODIS Fire Products, se utiliza para generar todos los productos de fuego de nivel superior, informando las ubicaciones de quema activa a diario a una resolución espacial de 1km (productos de 8 días y mensuales disponibles) y se resume en los siguientes pasos básicos:

- a. Detección de píxeles de nubes y agua, para usarlos como máscara en los pasos subsiguientes.
- b. Separación de una imagen compuesta por las bandas infrarrojas en píxeles de diferentes tipos (Datos perdidos, nubes, agua, sin fuego, con fuego y desconocidos)
- c. Identificación de potenciales focos de calor, de aquellos píxeles que fueron clasificados como fuego.
- d. Prueba de umbral absoluto, selección de todos los píxeles más calientes (360K).
- e. Examen contextual de los píxeles. Verifica cuan caliente es un píxel en relación a sus vecinos.
- f. Detección preliminar de fuego
- g. Rechazo de píxeles de fuego que pueden estar distorsionados por destellos de sol

El producto final del algoritmo es una imagen ráster con las siguientes categorías: datos nulos, datos no procesados, cuerpos de agua, nubes, puntos de no calor, puntos de calor, entre otros. Una vez categorizado el fondo, el algoritmo aplica pruebas de contexto para diferenciar en forma relativa el punto de calor, si el píxel cumple con las pruebas de contexto, es considerado como punto de calor tentativo, caso contrario es clasificado como punto de no calor. Con base a este ráster se obtienen las coordenadas geográficas de cada uno de los píxeles detectados como puntos de calor (François, 2011, pp.152-154).



Datos

Procesos

$\Delta BT = BT_{21/22} - BT_{31}$   
 $\theta$  = ángulo formado por la superficie y el satélite y la dirección de la reflexión especular

**Estadísticas para el entorno válido**

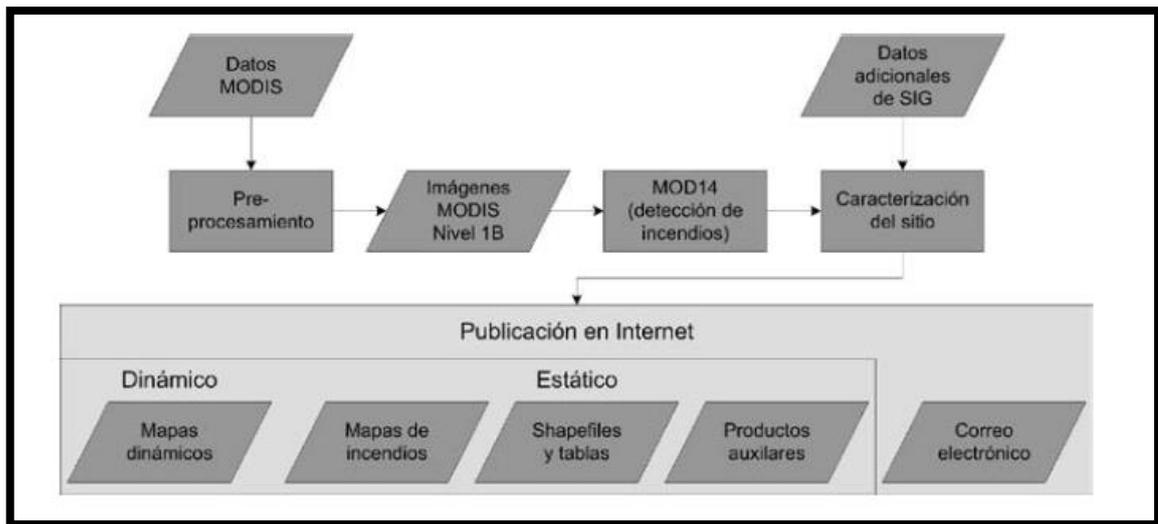
$\mu(BT_{21/22})$  = Media de Banda 21 o 22  
 $\mu(BT_{31})$  = Media de Banda 31  
 $\mu(\Delta BT)$  = Media de  $\Delta BT$   
 $\sigma(BT_{21/22})$  = Desviación absoluta de Banda 21 o 22  
 $\sigma(BT_{31})$  = Desviación absoluta de Banda 31  
 $\sigma(\Delta BT)$  = Desviación absoluta de  $\Delta BT$

**Estadísticas para el entorno no válido**

$\sigma'(BT_{21/22})$  = Desviación absoluta de Banda 21 o 22

**Figura 7-1:** Esquema de aplicación del algoritmo seguido para la detección de puntos de calor

Realizado por: François, J. 2011, p.153



**Figura 8-1:** Proceso para la detección de puntos de calor

Realizado por: François, J. 2011, p.157

**Tabla 5-1:** Bandas de MODIS usadas en la detección del algoritmo MOD14

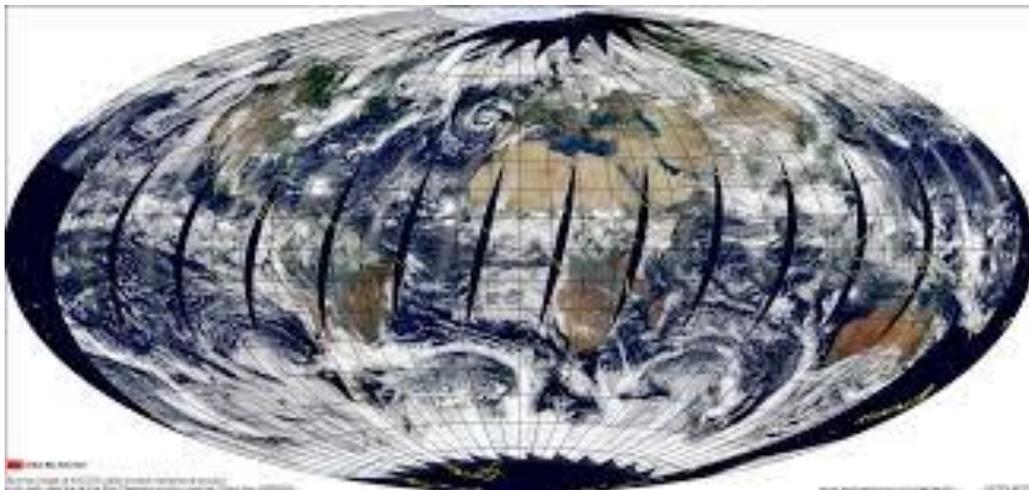
Número de banda	Longitud de onda central ( $\mu\text{m}$ )	Propósito de uso
1	0.620-0.670	Brillo solar y rechazo de falsa alarma costera; enmascaramiento de nubes
2	0.841-0.8766	Superficie brillante, brillo solar, y rechazo de falsa alarma costera; enmascaramiento de nubes
7	2.105-2.155	Brillo solar y rechazo de falsa alarma costera.
21	3.929-3.989	Canal de alto rango para detección de fuego activo
22	3.929-3.989	Canal de bajo rango para detección de fuego activo
31	10.780-11.280	Detección de fuego activo, enmascaramiento de nubes
32	11.770-12.270	Enmascaramiento de nubes

Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425703001846>

Realizado por: Giglio et al., 2003, p.274

Actualmente, los archivos de incendios y anomalías térmicas pertenecen a la Colección 6 de MODIS. El lanzamiento de los productos de datos de MODIS Collection 6 es parte de un reprocesamiento importante de todo el archivo de datos de MODIS para generar productos de datos estándar con mejoras de calibración, refinamientos de algoritmos y mejoras de productos iniciales (Giglio et al., 2018, p.10).

MODIS Collection 6 reemplazará por completo a la actual Collection 5 durante el próximo año (Blumenfeld, 2015). A mediados del 2006 los focos de calor empezaron a reportarse con la colección 5. La producción de los productos de la colección 6 que incluye los productos de los incendios activos comenzó a reportar datos a en febrero del 2015 y traerá, como mejoras, la reducción de falsas alarmas en la Amazonía causada por pequeñas aberturas de bosques y una máscara de nubes mejorada (Giglio et al., 2018, pp.8-10).



**Figura 9-1:** Imagen global de MODIS

Realizado por: Schmidt, C. 2014, p.40

### **1.17. Sensor VIIRS – Satélite Suomi NPP**

VIIRS, siglas en inglés de (Visible Infrared Imager Radiometer Suite, 2012), es uno de los cinco instrumentos que está a bordo del satélite Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP). Lanzado por primera vez el 28 de Octubre de 2011. Este satélite también está a cargo de la NASA y fue diseñada para monitorear la tierra, incorporando mejoras de sus predecesores AVHRR (NOAA), MODIS (Aqua/Terra) y (OLS) (Wolfe, 2020).

Para entender mejor las características del sensor VIIRS, revisemos como lo define François:

*Su cobertura espectral va de los 412 nm a los 12 micrones. Proporciona mediciones similares a las de MODIS, instrumento que está a bordo de dos satélites diferentes el uno es (National Polar-orbiting Operational Satellite System (NPOESS) proyecto preparatorio (NPP) y NOAA-20 que también adquiere datos continuamente, cuenta con una cobertura global completa, productos de nubes, propiedades de aerosoles, tierra y océanos, temperatura de la superficie del océano tierra y hielo y detección de incendios (François, 2011, p.21).*

La órbita del Suomi NPP gira a 830 km de la Tierra y carga 5 sensores en su interior. El más importante es el VIIRS. “Los productos de datos derivados de VIIRS se utilizan para medir las propiedades de las nubes y los aerosoles, el color del océano, la temperatura de la superficie del océano y de la tierra, el movimiento y la temperatura del hielo, los incendios, y el albedo de la Tierra” (Wolfe, 2020).

El satélite Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP) permite la detección activa de incendios se basa en los datos de resolución nominal de 375 m de ese instrumento. En comparación con otros productos de detección de incendios por satélite de resolución más gruesa ( $\geq 1$  km), proporcionando una mayor respuesta sobre incendios de áreas relativamente pequeñas, así como un mapeo mejorado de grandes perímetros de incendios, siendo adecuados para su uso en apoyo de la gestión de incendios. Debido a los problemas frecuentes de saturación de datos, el producto de incendios actual de 375 m proporciona información de detección solo sin caracterización de incendios de subpíxeles (Schroeder y Giglio, 2018, p.2).

**Tabla 6-1:** Características generales del sensor VIIRS

<b>Fecha de lanzamiento</b>	2011
<b>Órbita</b>	Cobertura global completa en un día (de ~705 Km. a ~830 Km.)
<b>Ancho de franja</b>	~3000 km, cobertura casi global todos los días
<b>Resolución radiométrica y espectral</b>	12 bits
<b>Tiempo estimado de vida</b>	7 años

Fuente: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/viirs/>

Realizado por: Wolfe, Robert, 2020

**Tabla 7-1:** Características de las bandas del sensor VIIRS

Bandas de VIIRS	Rango de Longitud de onda (um)	Explicación de la Banda	Nombre del rango	Resolución espacial
M1	0.402-0.422	Color del océano /aerosol	Visible	750m
M2	0.436-0.454			
M3	0.478-0.488			
M4	0.545-0.565			
M5	0.662-0.682			
M6	0.739-0.754	Atmosférico	IR cercano	
M7	0.846-0.885	Color del océano /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	1.58-1.64	Fracciones de nieve		
M11	2.23-2.28	Nubes		
M12	3.61-3.79	SST / Fuegos	IR onda media	
M13	3.97-4.13	SST / Fuegos		
M14	8.4-8.7	Propiedades de cobertura de nubes	IR onda larga	
M15	10.26-11.26	SST / Fuegos		
M16	11.54-12.49	SST		
DNB	0.5-0.9	Imágenes	Visible	750m
I1 (B)	0.6-0.68	Imágenes EDR	Visible	375m
12 (G)	0.85-0.88	NDVI	IR cercano	
13 (R)	1.58-1.64 I4	Mapeo binario de nieve	IR onda corta	
14	3.55-3.93 I5	Visualización de nubes	IR onda media	
15	10.5-12.4	Visualización de nubes	IR onda larga	

Fuente: <https://ncc.nesdis.noaa.gov/documents/documentation/viirs-users-guide-tech-report-142a-v1.3.pdf>

Realizado por: Cao et al., 2017, p.13

Revisemos como Wolfe define las ventajas del sensor VIIRS:

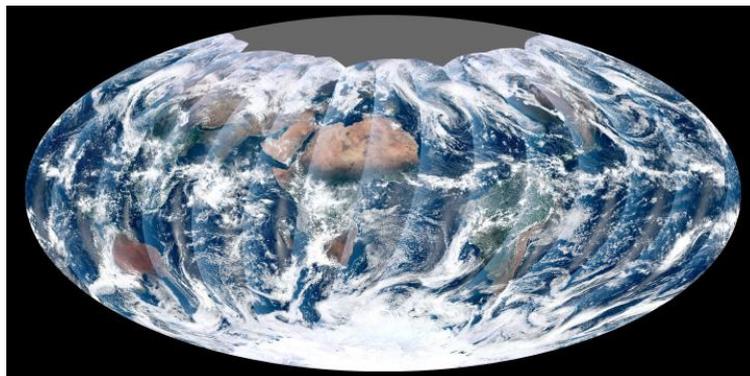
*El sensor VIIRS fue diseñado para ampliar y mejorar la serie de mediciones iniciadas por sus predecesores, el Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (AVHRR), el Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS) y el Sensor de Amplio*

*Campo de Visión de Vista del Mar (SeaWIFS). Los productos de datos derivados de VIIRS se utilizan para medir las propiedades de las nubes y los aerosoles, el color del océano, la temperatura de la superficie terrestre y del océano, el movimiento y la temperatura del hielo, los incendios y el albedo de la Tierra. Los climatólogos utilizan los datos de VIIRS para mejorar nuestra comprensión del cambio climático global (Wolfe, 2020).*

### **1.18. Producto de fuegos activos VIIRS 375m**

Para comprender los productos de fuegos activos, revisemos cómo el propio Berrick lo define:

*El conjunto de radiómetros de imágenes infrarrojas visibles (VIIRS) de 375 m de anomalías térmicas / producto de fuego activo proporciona datos del sensor VIIRS a bordo de los satélites conjuntos de NASA / NOAA Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP) y NOAA-20. Los datos de 375 m complementan la detección de incendios del espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS); Ambos muestran una buena concordancia en la detección de puntos críticos, pero la resolución espacial mejorada de los datos de 375 m proporciona una mayor respuesta sobre incendios de áreas relativamente pequeñas y proporciona un mapa mejorado de grandes perímetros de incendios. Los datos de 375 m también han mejorado el rendimiento nocturno. En consecuencia, estos datos son adecuados para su uso en apoyo de la gestión de incendios (por ejemplo, sistemas de alerta casi en tiempo real), así como otras aplicaciones científicas que requieren una mayor fidelidad de los mapas de incendios (Berrick, 2020).*



**Figura 10-1:** Primea imagen global de VIIRS

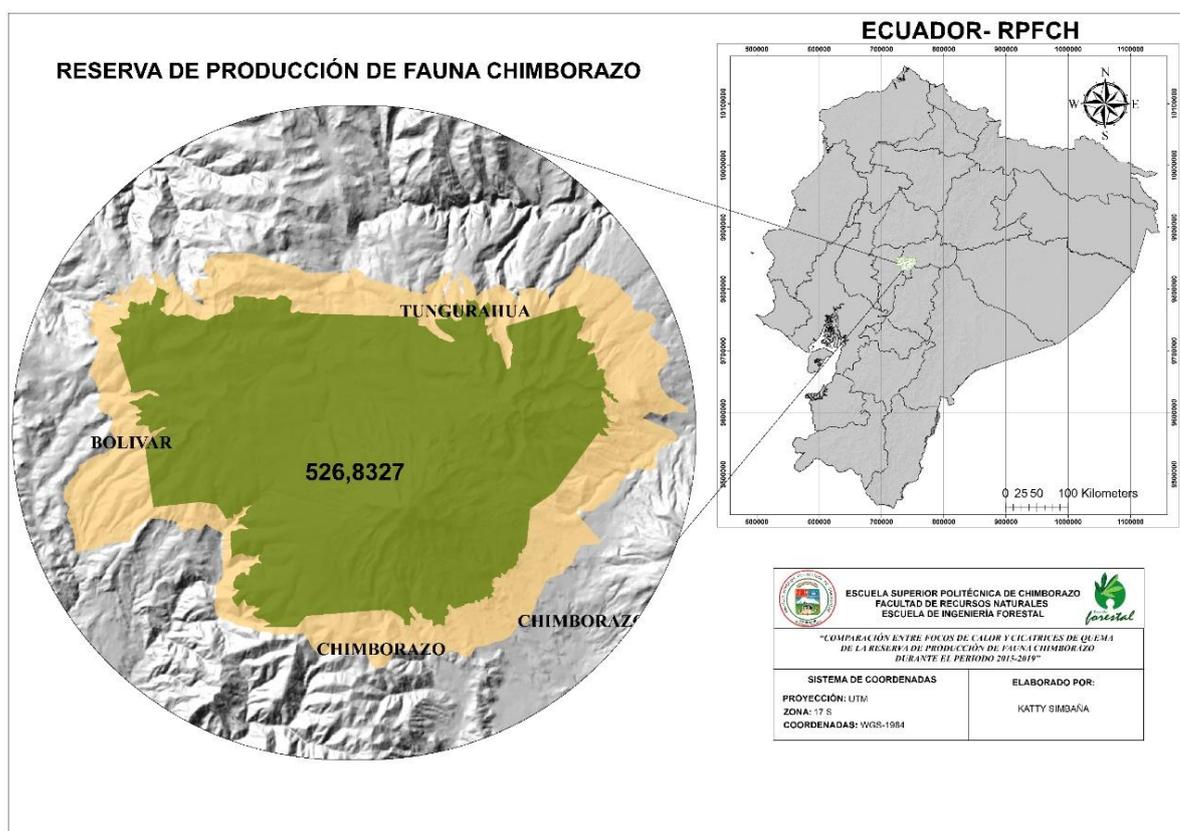
**Realizado por:** Levy, R. 2011

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Área de estudio de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (RPFCH), localizada en las provincias de Chimborazo, Bolívar y Tungurahua.



**Figura 1-2:** Ubicación de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Paraje natural, La imagen muestra la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo dentro del Ecuador

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

### ***2.1.1. Características generales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo***

La RPFCH es parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, posee nevados contiguos como el Chimborazo y el Carihuayrazo, que son grandes atractivos turísticos, además, la reserva se encuentra cercana a las poblaciones de importancia nacional como son las ciudades de Ambato, Riobamba y Guaranda.

- **Rango altitudinal:** 3.800 a 6.310 msnm.
- **Latitud:** -15112
- **Longitud:** -788609

### ***2.1.2. Características climáticas de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo***

- **Temperatura:** En el interior de la RPFCH varía dependiendo la altitud. En temperaturas promedio extremas, varía desde  $-0,11^{\circ}$  a  $8,81^{\circ}$  C y en temperatura mínima, varían desde -4.80 en diciembre a 11,40 en noviembre.
- **Precipitación:** Varía desde 998mm a 809mm en zonas menos lluviosas y de 1.300 mm en zonas más húmedas.
- **Clima:** Frío andino

### ***2.1.3. Características biológicas y ecológicas de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo***

La composición de plantas varía de acuerdo a la altitud, a los factores climáticos y en la actualidad el páramo cambia en función de la intervención externa, florísticamente la mayor parte de la vegetación corresponde a ecosistema de páramo y relictos de formaciones de vegetación andina achaparrada tanto arbórea como arbustiva. La clasificación de los ecosistemas según el MAE se divide en:

- Herbazal del Páramo ( HsSnO2)
- Herbazal ultra húmedo subnivel del Páramo (HsNn02)
- Herbazal y Arbustal siempreverde subnivel del Páramo ( HsNnO3)
- Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo (AsSn01)
- Herbazal inundable del Páramo ( HsSnO4)
- Bosque siempreverde del Páramo ( BsSnO1)
- Herbazal húmedo montano alto superior del Páramo (H sSnO3)
- Herbazal húmedo subnivel del Páramo ( HsNnO1)

## **2.2. Materiales, insumos y software**

### **2.2.1. *Materiales***

- Laptop Core i7, capacidad de 8 GB de RAM
- Impresora EPSON L3150
- Materiales de Oficina

### **2.2.2. *Insumos***

- Manuales de identificación de cicatrices de quema (Flora)
- Coordenadas geográficas de los focos de calor de los instrumentos MODIS y VIIRS descargados de diferentes años

### **2.2.3. Software**

- Arc GIS v10.5 para el modelamiento geográfico
- Microsoft Excel 2013
- Microsoft Word 2013
- Microsoft PowerPoint 2013

## **2.3. Metodología**

### **2.3.1. Recopilación de información**

Para el mapeo de los focos de calor en la RPFCH se utilizó información de los sensores MODIS (Aqua/Terra) y VIIRS (Suomi/NPP) de incendios y anomalías térmicas, se llevó a cabo la revisión bibliográfica sobre dicho tema entre el período comprendido desde el año 2015 al 2019, a través del portal de la NASA.

Los incendios y anomalías térmicas analizados para su correcta interpretación en el presente estudio corresponden a 220 focos de calor, para su validación se realizó la comparación con los datos de registros de identificación de 42 incendios forestales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo emitidos por el MAE del período 2015 al 2019.

La información recopilada y utilizada para la presente investigación se obtuvo de sitios oficiales y de entidades como el MAE (Ministerio del Ambiente y Agua) como se muestra en el (ANEXO C) y de la plataforma FIRMS de la NASA (Fire Information para el sistema de gestión de recursos) presentado en el (ANEXO A).

### **2.3.2. *Para la ejecución del primer objetivo; descarga de focos de calor de los sensores MODIS y VIIRS***

Se seleccionaron los focos de calor mensualmente desde el año 2015 al 2019, posteriormente fue identificada el área de estudio y señalado el tipo de sensor, en este caso utilizamos el sensor MODIS (Aqua/Terra) y VIIRS (Suomi/NPP) para incendios y anomalías térmicas.

Una vez realizado este procedimiento se ubica cada punto a ser analizado del cual se despliegan las coordenadas, estas coordenadas deben ser descargadas en una hoja de Excel y transformadas para su posterior interpretación en el mapa mediante el software de ArcGis 10.5. El procedimiento fue el mismo para todos los focos de calor obtenidos.

### **2.3.3. *Delimitación de focos de calor identificados por los sensores MODIS y VIIRS***

Se proyectó en el software ArcGis 10.5 tanto la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como la zona de amortiguamiento para ubicar los focos de calor, considerando solo aquellos que se encuentran dentro de la Reserva o cercanos a ella, los focos de calor fueron transformados en *shapefile* y para cada uno de ellos se utilizó un *buffer* (área de influencia) cuadrado dependiendo del pixel de cada sensor, de 1 km para el sensor MODIS, satélite (Aqua/Terra) y de 375 m para el sensor VIIRS, satélite (Suomi/NPP-375m) como se indica en el (ANEXO D).

### **2.3.4. *Ubicación geográfica y fecha de eventos identificados***

Para los registros de cicatrices de quema se contó con los datos otorgados por el MAE (Ministerio del Ambiente y Agua), para ubicar geográfica y temporalmente los incendios ocurridos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. Los focos de calor se obtienen de los sensores MODIS y VIIRS que son extraídos a través del Mapa de incendios de la NASA de la plataforma FIRMS, según la disponibilidad de focos de calor, para localizar los incendios y anomalías térmicas durante el período 2015-2019.

Las coordenadas geográficas obtenidas de los incendios y anomalías térmicas a partir del Mapa de incendios de la NASA, son convertidas a coordenadas UTM, mediante el conversor de coordenadas (<https://entomologia.net/Conversor.htm>) como se puede visualizar en el (ANEXO B), posteriormente se utilizó el software ArcGis 10.5, para la proyección de los puntos en coordenadas WGS-1984 y zona 17 S, con ayuda de la herramienta “*Conversion Tools*”, “*Excel To Table*”.

### ***2.3.5. Revisión de información respecto a incendios forestales en base a datos del MAE***

Se analizó la información desde los primeros incendios forestales registrados considerando que en Ecuador aún existe carencia de estudios relacionados con los mismos, posterior a ello se examinó la cantidad de cicatrices de quema, el tipo de vegetación y la extensión del área afectada reportada por mes en base a los datos del MAE.

### ***2.3.6. Para la ejecución del segundo objetivo; determinación de magnitud de incendios forestales***

Se comparó las cicatrices de quema adquiridos por los registros del MAE con los focos de calor obtenidos de los sensores MODIS y VIIRS, para analizar la magnitud de cada incendio y considerar como “*aciertos*” aquellos puntos que se encontraron dentro del *buffer* (área de influencia) o cercanos a los mismos y como “*errores*” aquellos puntos que se encontraban muy lejanas a las cicatrices de quema, considerando también su fecha de registro y la cobertura vegetal afectada en el incendio.

### ***2.3.7. Análisis de resultados obtenidos***

Los resultados generados por medio de la plataforma ArcGis 10.5, a través de mapas temáticos sirvieron para que estos se puedan mostrar de forma visual, y para validar la información del presente estudio (ANEXO E).

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis histórico y actual de los incendios forestales

En el Ecuador se ha comenzado a registrar información referente a emergencias y desastres a partir del año de 1972 por el proyecto DESINVENTAR, pero los registros oficiales de los primeros eventos de Incendios Forestales no fueron sino hasta el año de 1980 (Espinoza, 2017, p.43).

Posteriormente en los siguientes años El Sistema Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) mediante el uso de boletines de prensa dio a conocer que algunas zonas del Ecuador con grandes afectaciones e incidencia de incendios forestales por tal razón tuvo la iniciativa de impulsar campañas preventivas para evitar estos eventos en colaboración con entidades como el MAE, Sistema Integrado de Seguridad ECU 911, Cuerpo de Bomberos de cada provincia, Tenencias Políticas y Gobiernos Autónomos Descentralizados parroquiales combinando esfuerzos para difundir campañas de prevención (Ospina, 2017, p.4).

Es por ello que para el 2017 el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) con el aporte técnico y financiero del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) y de los Gobiernos de Italia y Brasil presentaron oficialmente el Proyecto de Reducción de Incendios Forestales y Alternativas al Uso del Fuego “Amazonía sin fuego”. Aplicada anteriormente en Bolivia y Brasil con resultados importantes en cuanto a la reducción de incendios forestales (Ministerio del Ambiente y Agua, 2017).

Esta iniciativa nace porque se han venido registrando grandes daños durante los años comprendidos entre el 2012 y el 2016 en Ecuador ya que más de 50 mil hectáreas fueron afectadas por incendios forestales (Ministerio del Ambiente y Agua, 2017).

“La primera fase del programa se aplicó en la Sierra y Costa del Ecuador, entre el 2017 y el 2019. Las áreas operativas de acción se localizan en las provincias de Loja, El Oro, Pichincha, Imbabura, Azuay, Chimborazo, Guayas y Manabí” (Ministerio del Ambiente y Agua, 2017).

Este programa concentró su ejecución en seis ejes principales: Planificación de orden nacional y subnacional con respecto a incendios forestales; fortalecimiento de capacidades nacionales y locales en manejo del fuego y prevención de incendios forestales; creación y fortalecimiento de brigadas comunitarias para la prevención, control, y remediación; implementación de estrategias de educación y divulgación de información referente a la prevención de incendios forestales; alertas tempranas y focos de calor; y fortalecimiento de políticas públicas e institucionalidad referente al manejo del fuego y la prevención de incendios forestales (Ministerio del Ambiente y Agua, 2017).

Actualmente el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) está encargado de monitorear y enviar información de los focos de calor existentes al cuerpo de bomberos, así como también proporciona datos sobre las variables meteorológicas con base en información como viento, temperatura, humedad y dicta charlas técnicas de interpretación sobre este material emitido (El Comercio, 2020).

### **3.2. Situación de los incendios forestales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo**

Realizando un análisis sobre la situación histórica de los incendios forestales registrados oficialmente en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, se tiene que la información se encuentra a partir del año 2012. A partir de este año el Ministerio del Ambiente (MAE), empieza a ingresar los datos al Sistema de Inventarios de Desastres y Eventos Adversos (DESINVENTAR).

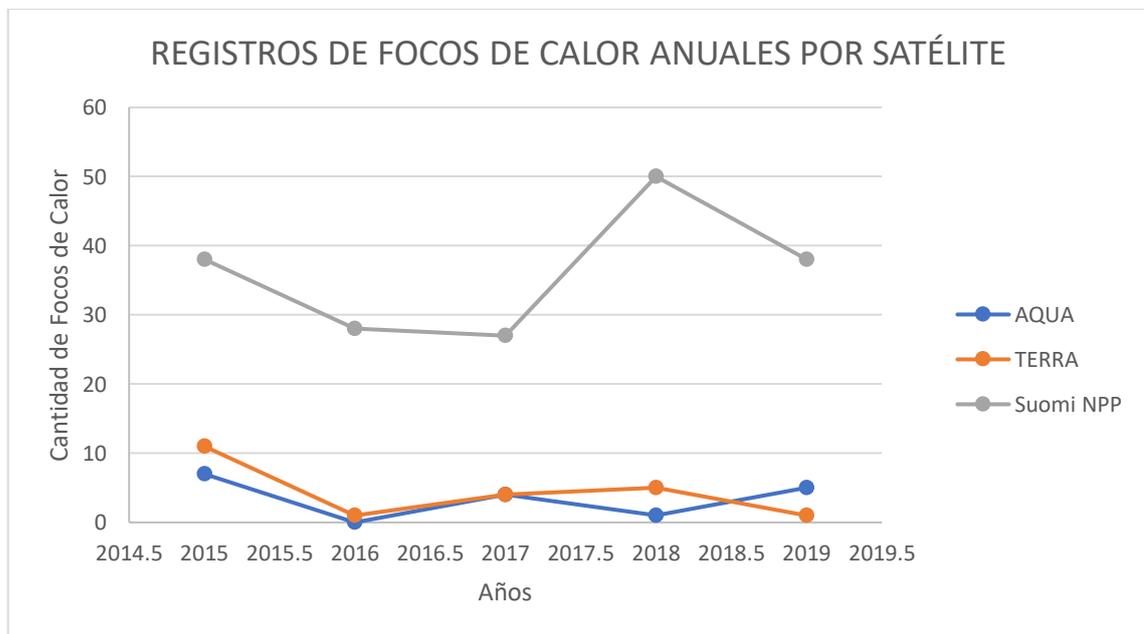
La tabla 1-3. Nos indica la cantidad de focos de calor registrados en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo por año, desde el año del 2015 hasta el año 2019. Los focos de calor fueron obtenidos de los datos de la NASA, de los satélites Aqua, Terra y Suomi NPP, los mismos que reportan las siguientes anomalías térmicas para Aqua reporta 17, Terra reporta 22 eventos y Suomi NPP 181. Además, se puede observar que para los satélites Aqua y Terra reporta el mayor número

de eventos para el año 2015 y Suomi NPP reporta el mayor número de eventos para el año 2018, asimismo se puede observar que Aqua es el que menos focos de calor reporta con respecto a los demás satélites.

**Tabla 1-3:** Cantidad de registros de focos de calor anuales por satélite, desde enero del 2015 hasta el diciembre del 2019

Año	INCENDIOS Y ANOMALÍAS TÉRMICAS			
	AQUA	TERRA	Suomi NPP	TOTAL
2015	7	11	38	56
2016	0	1	28	29
2017	4	4	27	35
2018	1	5	50	56
2019	5	1	38	44
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>22</b>	<b>181</b>	<b>220</b>

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.



**Gráfico 1-3.** Cantidad de registros de focos de calor anuales por satélite, desde el año 2015 al año 2019

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

En el gráfico 1-3. Podemos observar que la cantidad de focos de calor de los satélites Aqua y Terra son relativamente constantes y registran menor cantidad de focos de calor con respecto al satélite Suomi NPP, asimismo se puede observar que para el año (2018) el satélite Suomi NPP,

posee un aumento significativo de cantidad de focos de calor con respecto a los otros años, además, en los tres satélites notamos que el año con menor número de focos de calor registrados es el 2016.

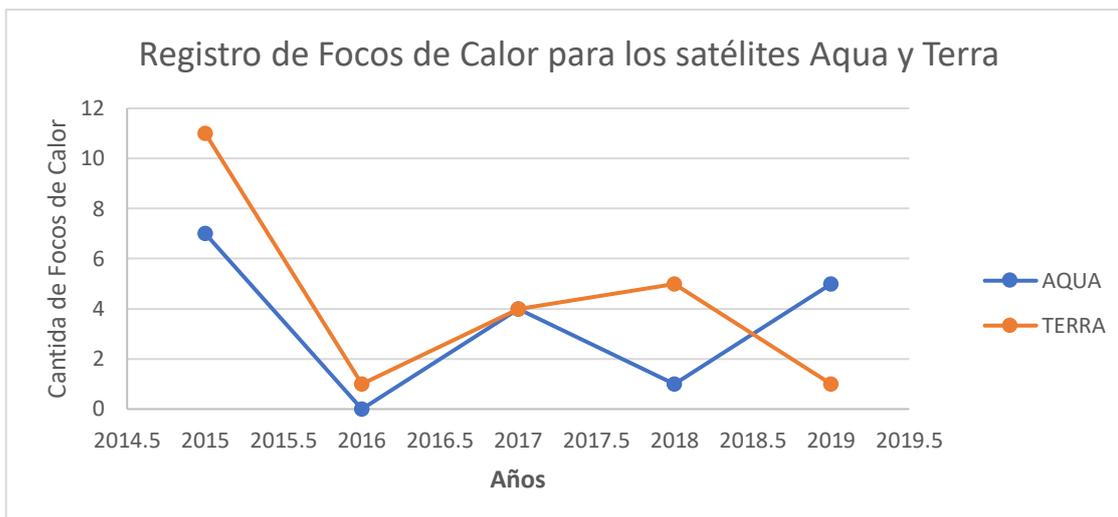
### 3.3. Focos de calor de los satélites Aqua y Terra

Se identificaron un total de 39 focos de calor para el sensor MODIS. Para contabilizar los puntos obtenidos de cada satélite los cuales se dividieron en 17 focos para el satélite Aqua y 22 focos para el satélite Terra registrados en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, en donde encontramos que el mayor reporte de eventos se suscitó en el año 2015 con 18 eventos y el menor registro de incendios y anomalías térmicas se lo registró en el año 2016 con un evento por parte del satélite Terra, durante el período 2015-2019. Como se puede observar en el sensor MODIS en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Cantidad de Focos de Calor anuales de los satélites Aqua/Terra en el período 2015-2019

AÑOS	MODIS		
	AQUA	TERRA	TOTAL
2015	7	11	18
2016	0	1	1
2017	4	4	8
2018	1	5	6
2019	5	1	6
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>22</b>	<b>39</b>

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.



**Gráfico 2-3.** Gráfica de la evolución de los focos de calor de los satélites AQUA Y TERRA (2015-2019)

**Realizado por:** Simbaña, K. 2020.

El gráfico 2-3 nos muestra que en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo en el año 2015 se registra una mayor cantidad de focos de calor tanto en el satélite Aqua como en el satélite Terra, además, se puede observar que el satélite Terra presenta picos más altos así como, mayores registros de incendios y anomalías térmicas en comparación con el satélite Aqua. Asimismo podemos observar que el 2016 tiene un descenso significativo; por lo tanto, se lo considera como el año con menores reportes de focos de calor.

### 3.4. Análisis de Focos de Calor por Mes de los Diferentes Satélites

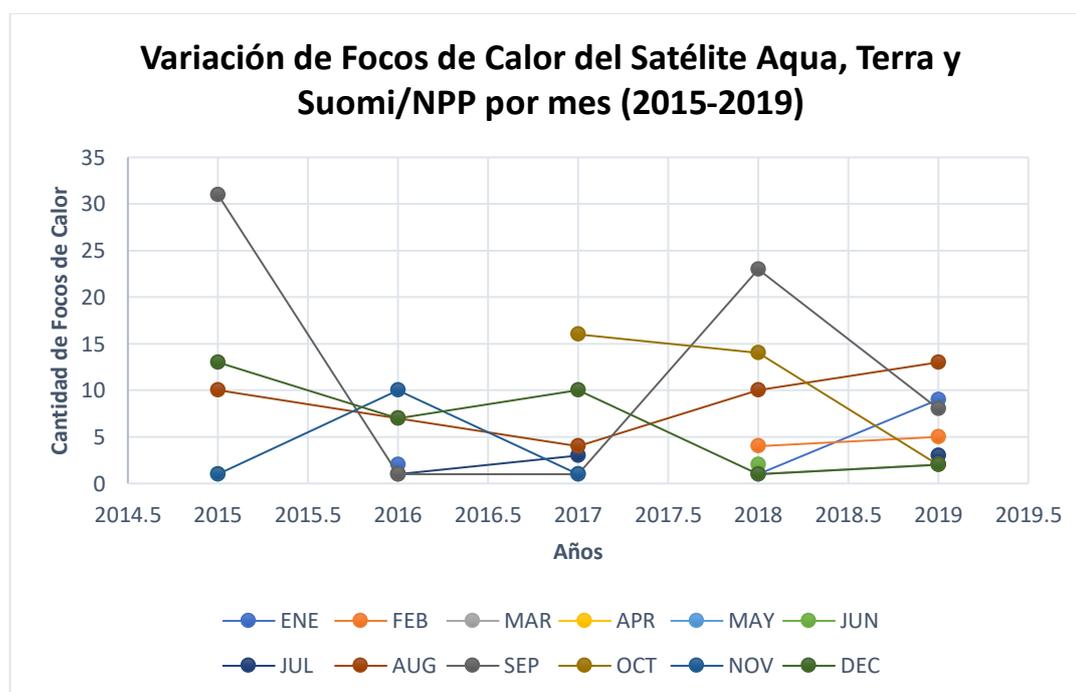
En la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo encontramos un total de 220 focos de calor registrados mensualmente tanto para el sensor MODIS (Aqua/Terra) como VIIRS (Suomi/NPP), desde el año del 2015 hasta el año 2019. De los cuales se reporta mayor cantidad de focos de calor para el mes de agosto con 44 eventos, septiembre con 64, octubre 32 y diciembre 33 focos registrados. Aparte también podemos observar que en el mes de agosto los años con mayor presencia de focos de calor se encuentran en el 2015 (10 focos), 2018 (10 focos) y 2019 (13 focos); en el mes de septiembre corresponde a los años 2015 (31 focos) y 2018(23 focos); para el mes de octubre se registra en el año 2017 (16 focos) y 2018 (14 focos) y en el mes de diciembre corresponde al año 2015 (13 focos) y 2017 (10 focos), por el contrario el mes de abril y mayo no presentan datos de anomalías térmicas dando un total de 0 focos de calor registrados en el periodo

2015-2019, también existen casillas que no han reportado registros de focos de calor como se observa en la tabla 3-3.

**Tabla 3-3:** Variación de Focos de Calor mensual por satélite en el período 2015-2019

AÑOS	Focos de Calor de los satélites Aqua/Terra y Suomi/NPP pos mes (2015-2019)					
	2015	2016	2017	2018	2019	TOTAL
ENE	0	2	0	1	9	12
FEB	0	1	0	4	5	10
MAR	0	0	0	1	2	3
APR	0	0	0	0	0	0
MAY	0	0	0	0	0	0
JUN	1	0	0	2	0	3
JUL	0	1	3	0	3	7
AUG	10	7	4	10	13	44
SEP	31	1	1	23	8	64
OCT	0	0	16	14	2	32
NOV	1	10	1	0	0	12
DEC	13	7	10	1	2	33
<b>TOTAL</b>	<b>56</b>	<b>29</b>	<b>35</b>	<b>56</b>	<b>44</b>	<b>220</b>

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.



**Gráfico 3-3.** Variación de focos de calor del satélite Aqua, Terra y Suomi/NPP por mes durante el período 2015-2019

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

El gráfico 3-3 muestra la ocurrencia de focos de calor mensualmente, durante los años 2015 al 2019. Donde encontramos que existen más focos de calor en los meses de agosto, septiembre, octubre y diciembre como se lo había mencionado en la tabla 10-3, también podemos observar en el gráfico 3-3 que el pico más alto sobresale en el mes de septiembre en el año 2015 y 2018 con 31 y 23 focos de calor respectivamente. De igual manera se observa que el mes de abril y mayo no están representados en el gráfico porque no existen datos de incendios y anomalías térmicas para esos meses.

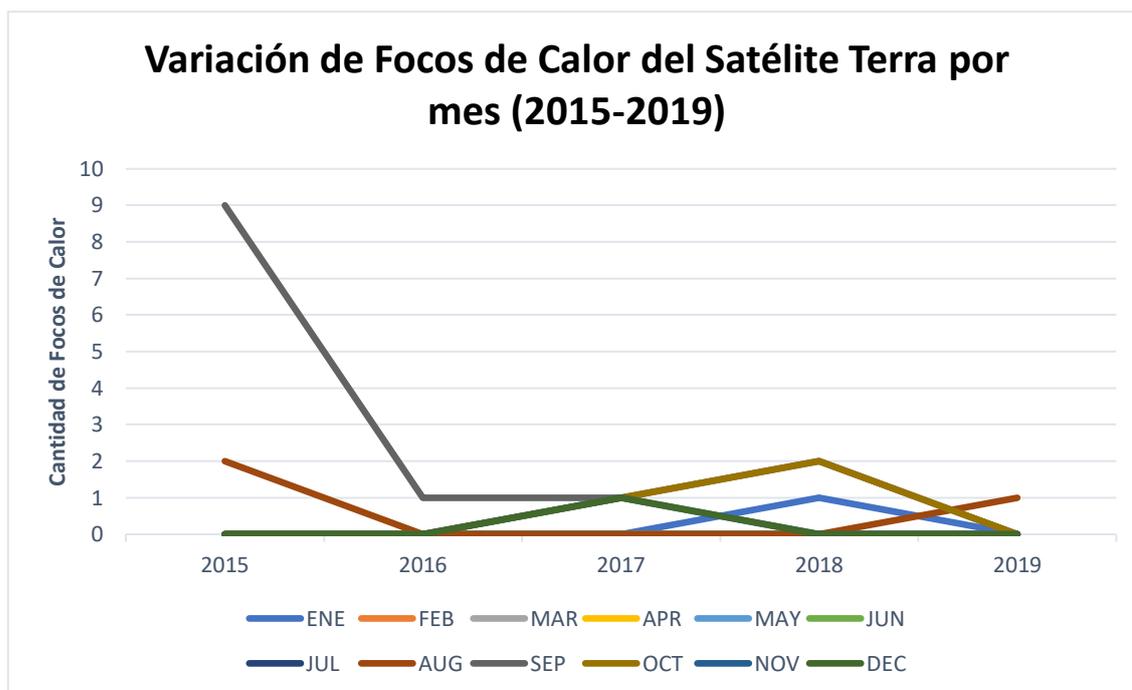
### 3.5. Focos de Calor del Satélite Terra

Para clasificar los focos de calor del satélite Terra en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo se los dividió mensualmente, desde el año del 2015 hasta el año 2019, dando un total de 22 focos de calor distribuidos en los meses de enero, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Se puede observar que el mes de septiembre registra mayor cantidad de focos de calor en el año 2015 con respecto a los demás, se debe mencionar que en algunas casillas no han presentado reportes de incendios y anomalías térmicas, como es el caso para los meses de febrero, marzo abril, mayo, junio y julio. En el año 2016 y 2019 se ha reportado 1 evento para cada año, considerándose como los años con menor número de incendios y anomalías térmicas. Como se muestran en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Variación de Focos de Calor mensual del satélite Terra en el período (2015-2019)

AÑOS	Focos de Calor del satélite Terra por mes (2015-2019)					TOTAL
	2015	2016	2017	2018	2019	
ENE	0	0	0	1	0	1
FEB	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0
APR	0	0	0	0	0	0
MAY	0	0	0	0	0	0
JUN	0	0	0	0	0	0
JUL	0	0	0	0	0	0
AUG	2	0	0	0	1	3
SEP	9	1	1	2	0	13
OCT	0	0	1	2	0	3
NOV	0	0	1	0	0	1
DEC	0	0	1	0	0	1
TOTAL	11	1	4	5	1	22

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.



**Gráfico 4-3.** Variación de focos de calor del satélite Terra por mes durante el período 2015-2019

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

En el gráfico 4-3 observamos la ocurrencia de focos de calor por mes del satélite Terra, de los años 2015 al 2019. Siendo los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero los únicos que presentan focos de calor, el gráfico también nos muestra que los picos más altos se encuentran en el año 2015 (en el mes de agosto-septiembre) y 2018 (en el mes octubre y enero). Sobresaliendo septiembre en el año 2015 por ser el mes con mayor cantidad de eventos presentados, en relación a los demás.

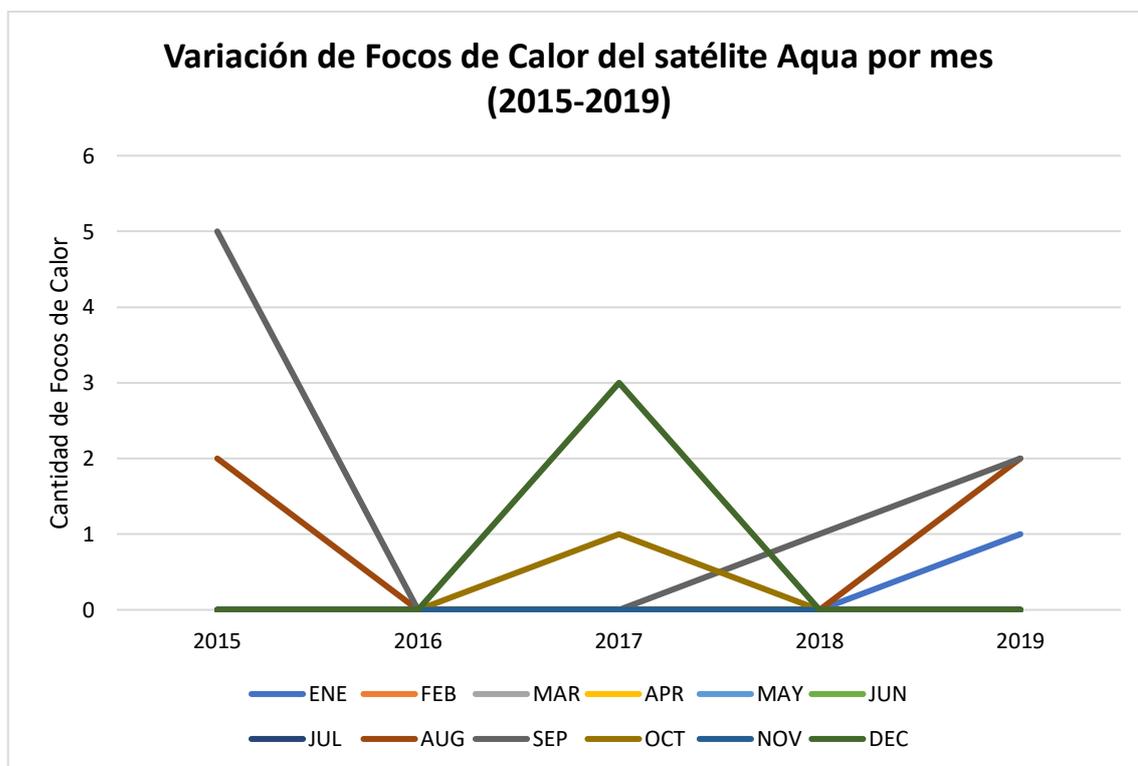
### 3.6. Focos de Calor del Satélite Aqua

En el satélite Aqua se identificaron 17 focos de calor en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, clasificadas mensualmente durante el año 2015 al 2019, con presencia de los mismos en el mes de enero, agosto, septiembre, octubre y diciembre, siendo septiembre el mes con mayores reportes presentados en el año 2015, 2018 y 2019, además, los meses de febrero a julio y noviembre no han reportado ningún foco de calor en ningún año, como se indica a continuación en la tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Variación de Focos de Calor mensual del satélite Aqua en el período (2015-2019)

AÑOS	Focos de Calor del satélite Aqua por mes (2015-2019)					
	2015	2016	2017	2018	2019	TOTAL
ENE	0	0	0	0	1	1
FEB	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0
APR	0	0	0	0	0	0
MAY	0	0	0	0	0	0
JUN	0	0	0	0	0	0
JUL	0	0	0	0	0	0
AUG	2	0	0	0	2	4
SEP	5	0	0	1	2	8
OCT	0	0	1	0	0	1
NOV	0	0	0	0	0	0
DEC	0	0	3	0	0	3
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>17</b>

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.



**Gráfico 5-3.** Variación de focos de calor del satélite Aqua por mes durante el período 2015-2019

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

En el gráfico 5-3 podemos observar la presencia de focos de calor mensual del satélite Aqua durante el período 2015 al 2019. En donde visualizamos un aumento significativo en los años 2015, 2017 y 2019, siendo los picos más altos para el año 2015 en los meses de agosto y septiembre, para el año 2017 corresponde a los meses de octubre y diciembre, y para el 2019 los meses de enero, agosto y septiembre. También podemos observar que el mes que más sobresale es septiembre en el año 2015 y los años con menor registro de focos de calor se encuentran en el 2016 y 2018.

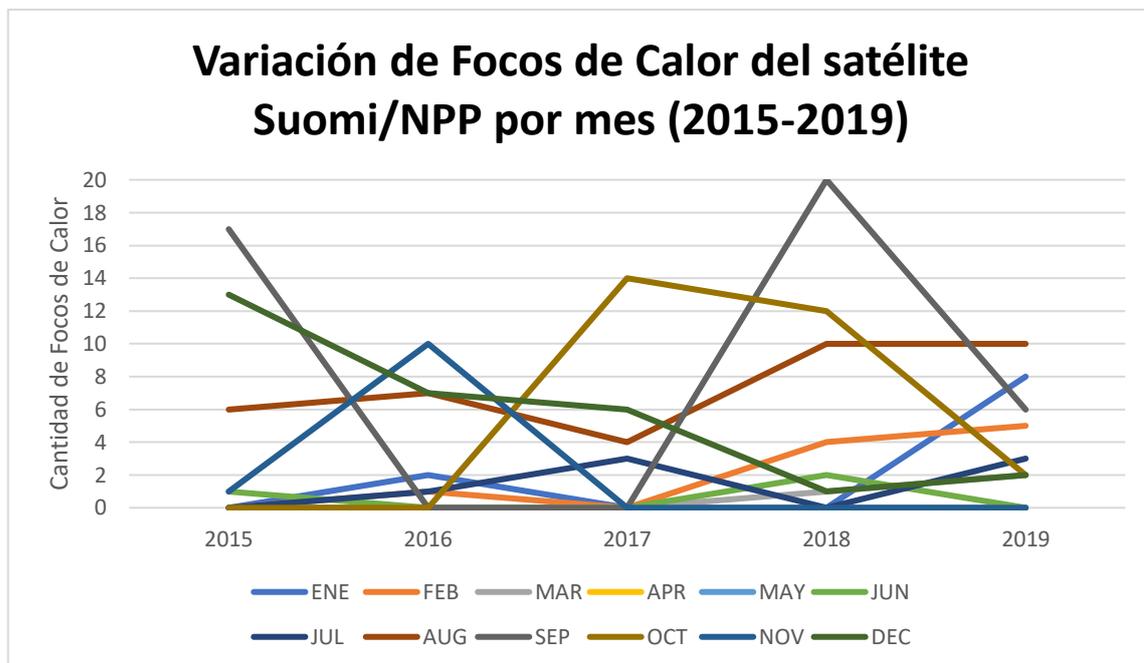
### 3.7. Focos de Calor del Satélite Suomi/NPP-375m

En la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo la mayor parte de los meses reportaron la presencia de focos de calor con el satélite Suomi/NPP-375m siendo septiembre el mes con mayor reportes dando un total de 43 eventos; sin embargo, abril y mayo fueron los únicos meses que no registraron focos de calor desde el año 2015 al 2019. Se puede observar también que el mes de septiembre en el año 2018 ha presentado mayor ocurrencia de incendios y anomalías térmicas. Los mismos que se muestran en la tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Variación de Focos de Calor mensual del satélite Suomi/NPP en el período (2015-2019)

AÑOS	Focos de Calor del satélite Suomi/NPP por mes (2015-2019)					TOTAL
	2015	2016	2017	2018	2019	
ENE	0	2	0	0	8	10
FEB	0	1	0	4	5	10
MAR	0	0	0	1	2	3
APR	0	0	0	0	0	0
MAY	0	0	0	0	0	0
JUN	1	0	0	2	0	3
JUL	0	1	3	0	3	7
AUG	6	7	4	10	10	37
SEP	17	0	0	20	6	43
OCT	0	0	14	12	2	28
NOV	1	10	0	0	0	11
DEC	13	7	6	1	2	29
<b>TOTAL</b>	<b>38</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>50</b>	<b>38</b>	181

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.



**Gráfico 6-3.** Variación de focos de calor del satélite Suomi/NPP por mes durante el período 2015-2019

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

El gráfico 6-3 se observa la ocurrencia de focos de calor por mes, desde los años 2015 al 2019. En el cual los meses de agosto, septiembre, octubre y diciembre presentan mayor incidencia de focos de calor, sobresaliendo el mes de septiembre con los picos más altos en el año 2015 y 2018 ya que registra una mayor cantidad de focos de calor con respecto a los otros meses, asimismo se puede observar que el mes de abril y mayo no están representados en el gráfico 6-3 porque no se han reportado registros de focos de calor para esos meses en ningún año.

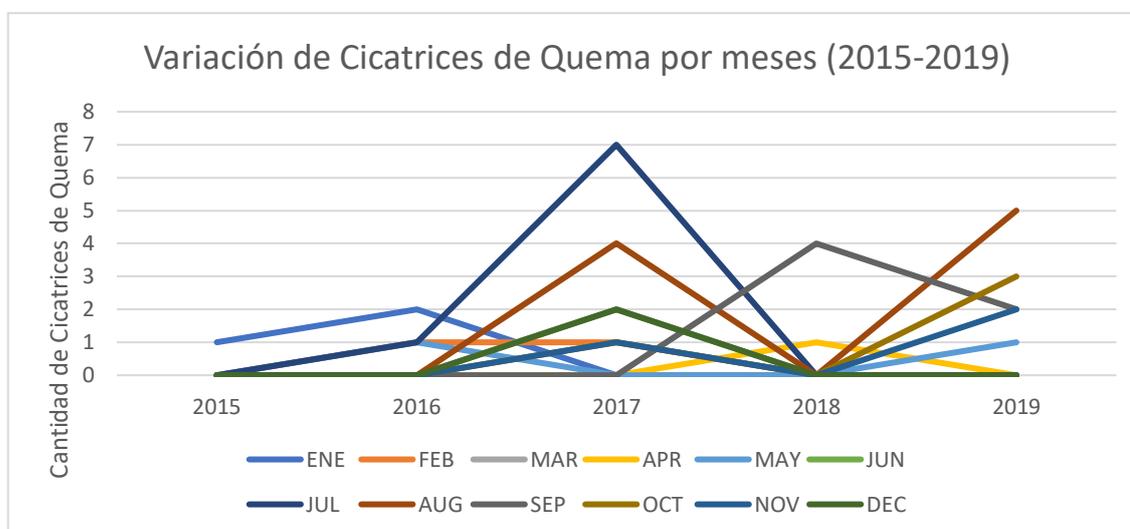
### 3.8. Análisis de Cicatrices de Quema por Mes de los Registros del MAE

Según el inventario de incendios del MAE muestra un total de 42 cicatrices de quema desde el año 2015 al 2019, clasificando las cicatrices de quema por años de la siguiente manera, para el año 2015 se registra 1 evento, en el año 2016 y 2018 se registran 5 eventos, el año 2017 consta de 18 eventos, siendo el año con mayor cicatrices de quema registradas y el año 2019 reporta 13 eventos, además, también se puede observar que el mes de agosto tiene mayor presencia de cicatrices de quema en el año 2017 (4 eventos) y en el año 2019 (5 eventos), dando un total de 9 cicatrices de quema registradas para dicho mes, por el contrario el mes de marzo no registra datos de cicatrices de quema durante el período 2015-2019, como se muestra en la tabla 7-3.

**Tabla 7-3:** Variación de Cicatrices de Quema mensual de los registros del MAE (2015-2019)

AÑOS	Cicatrices de Quema por mes (2015-2019)					
	2015	2016	2017	2018	2019	TOTAL
ENE	1	2	0	0	0	3
FEB	0	1	1	0	0	2
MAR	0	0	0	0	0	0
APR	0	0	0	1	0	1
MAY	0	1	0	0	1	2
JUN	0	0	2	0	0	2
JUL	0	1	7	0	0	8
AUG	0	0	4	0	5	9
SEP	0	0	0	4	2	6
OCT	0	0	1	0	3	4
NOV	0	0	1	0	2	3
DEC	0	0	2	0	0	2
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>42</b>

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.



**Gráfico 7-3.** Variación de Cicatrices de Quema por meses durante el período 2015-2019.

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

El gráfico 7-3 nos permite observar que en año 2017 ha existido una mayor cantidad de incendios forestales, donde el mes de julio presenta un aumento significativo con respecto a los otros meses, encontramos además, que en el 2019 también presenta cantidades elevadas de incendios forestales, siendo agosto el mes que sobresale con el pico más alto de cicatrices de quema para ese año, a parte se puede observar en el gráfico 7-3 que el 2015, 2016 y 2018 son años con menor incidencia de eventos; por lo tanto, sus picos registrados van de manera descendente ya que existe menor cantidad de reportes de cicatrices de quema para estos años.

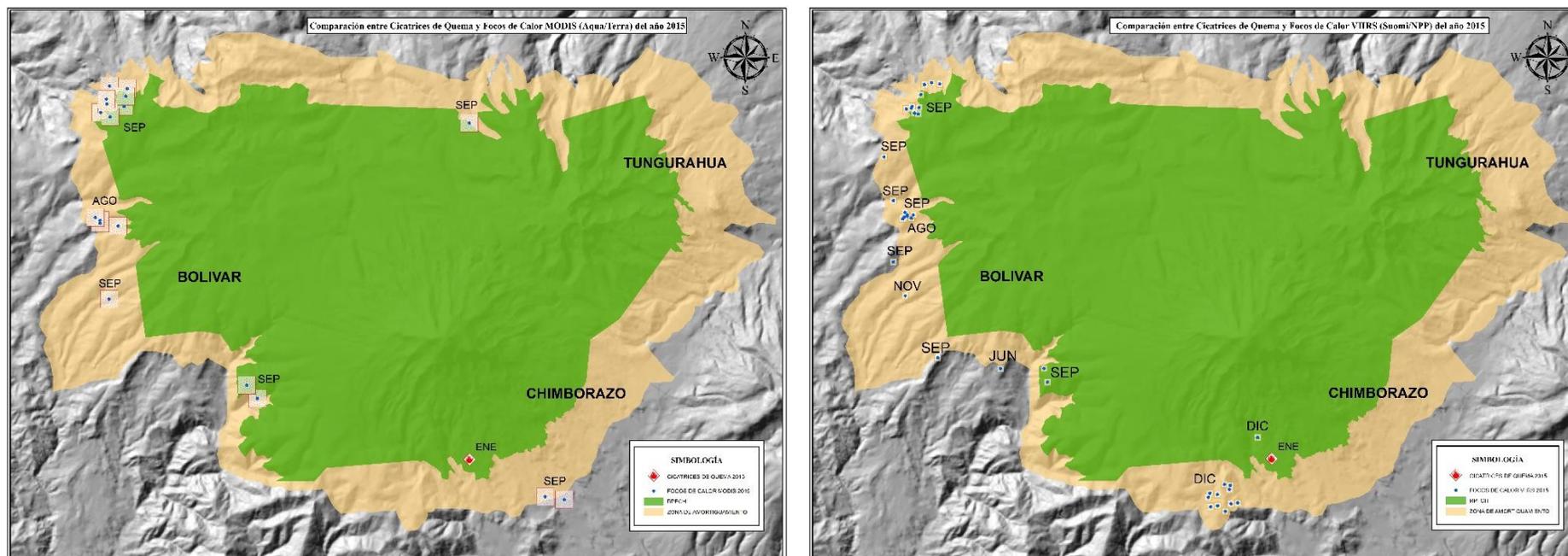
### **3.9. Validación Mediante la Comparación de Focos de Calor MODIS y VIIRS con las Cicatrices de Quema**

De las comparaciones realizadas se observó que existe un gran número de focos incorrectos por la falta de coincidencia con las cicatrices de quema dentro la RPFCH como en la zona de amortiguamiento; por lo tanto, para considerarlos como puntos acertados se decidió realizar la validación tomando en cuenta los puntos que se están más cercanos al lugar donde fue registrada la cicatriz de quema por el MAE, ya que no existe una metodología ni un polígono de los incendios producidos, para ello también se identificó que la cobertura vegetal intervenida fue el páramo. Además, el objetivo fue recolectar los focos de calor de la NASA a partir de los dos sensores para determinar el porcentaje de confianza que nos ofrece.

### **3.10. Visualización de los focos de calor MODIS y VIIRS para cada año**

Los resultados de cada comparación se muestran en los mapas para visualizar la distribución espacial de los focos de calor en la RPFCH y en la zona de amortiguamiento. Cada uno de los focos de calor de la NASA es presentado con su correspondiente *buffer* (área de influencia) dependiendo el pixel de cada sensor. Los focos de calor de la NASA están representados con un símbolo de color azul y las cicatrices de quema de color rojo, esta simbología es igual para los dos sensores. Las cicatrices de quema se han proyectado en el mismo mapa de los focos de calor, para observar su distribución espacial; sin embargo, no todos los focos de calor se encuentran en el mismo lugar que las cicatrices de quema, es decir geográficamente son distintos, por el contrario algunos puntos coinciden geográficamente, pero temporalmente no lo hacen; por lo tanto, han sido descartados como acertados.

### 3.10.1. Comparación entre cicatrices de quema con los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y el sensor VIIRS Suomi/NPP del año 2015

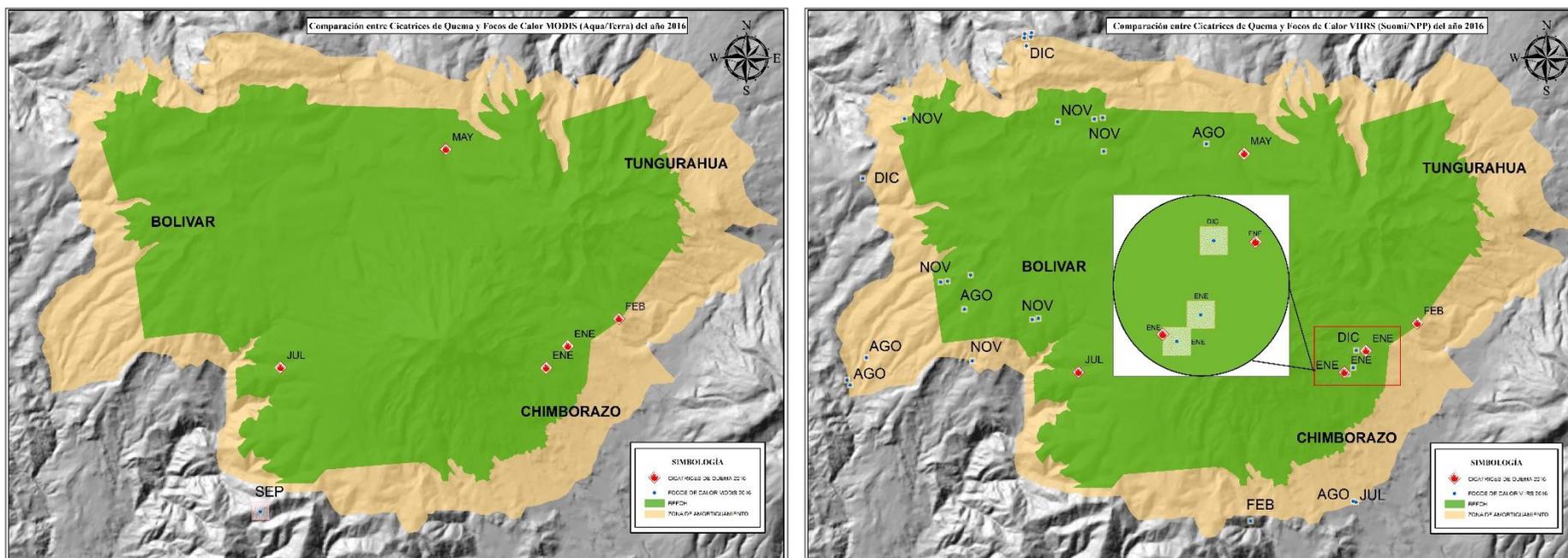


**Figura 1-3:** Comparación entre cicatrices de quema y focos de calor del sensor MODIS y VIIRS del año 2015

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

De la (tabla 1-3) presentada anteriormente se han obtenido 18 focos de calor detectados por el sensor MODIS y 38 focos de calor por el sensor VIIRS entre la RPFCH y la zona de amortiguamiento, en el año 2015, el cual se puede observar en la figura 1-3 que existe una mayor distribución de puntos calientes en la zona de amortiguamiento; por lo tanto, se ha descartado todos los puntos calientes por la falta de coincidencia tanto espacial como temporal con respecto a los datos emitidos por el MAE de las cicatrices de quema.

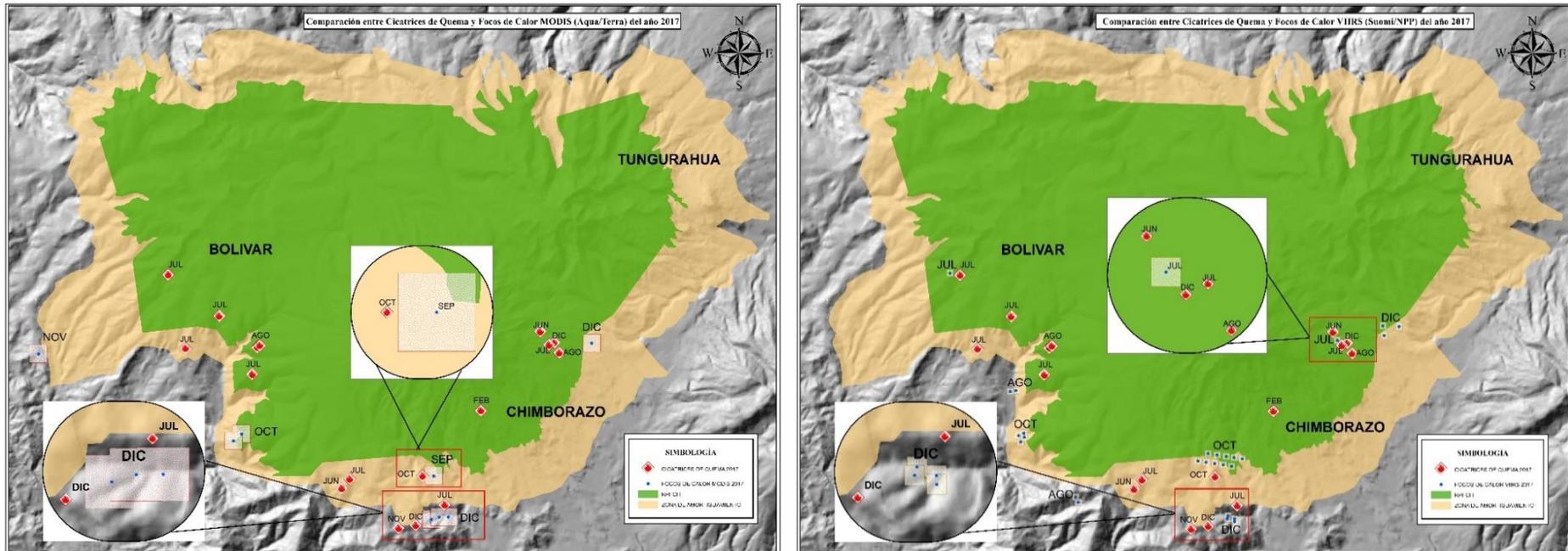
### 3.10.2. Comparación entre cicatrices de quema con los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y el sensor VIIRS Suomi/NPP del año 2016



**Figura 2-3:** Comparación entre cicatrices de quema y focos de calor del sensor MODIS y VIIRS del año 2016  
 Realizado por: Simbaña, K. 2020.

Se puede observar de la (tabla 1-3) que el sensor MODIS ha detectado un foco de calor considerado como “erróneo”, cercano a la zona de amortiguamiento de la RPFCH por el contrario el sensor VIIRS ha detectado 28 puntos calientes de los cuales se han considerado dos focos de calor como “aciertos”, por su coincidencia tanto geográfica como temporalmente con las cicatrices de quema emitidas por el MAE dentro de la RPFCH para el año 2016 como se muestra en la figura 2-3, se debe considerar que el sensor VIIRS presenta mayor detección de focos de calor a consideración con respecto al sensor MODIS.

3.10.3. Comparación entre cicatrices de quema con los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y el sensor VIIRS Suomi/NPP del año 2017

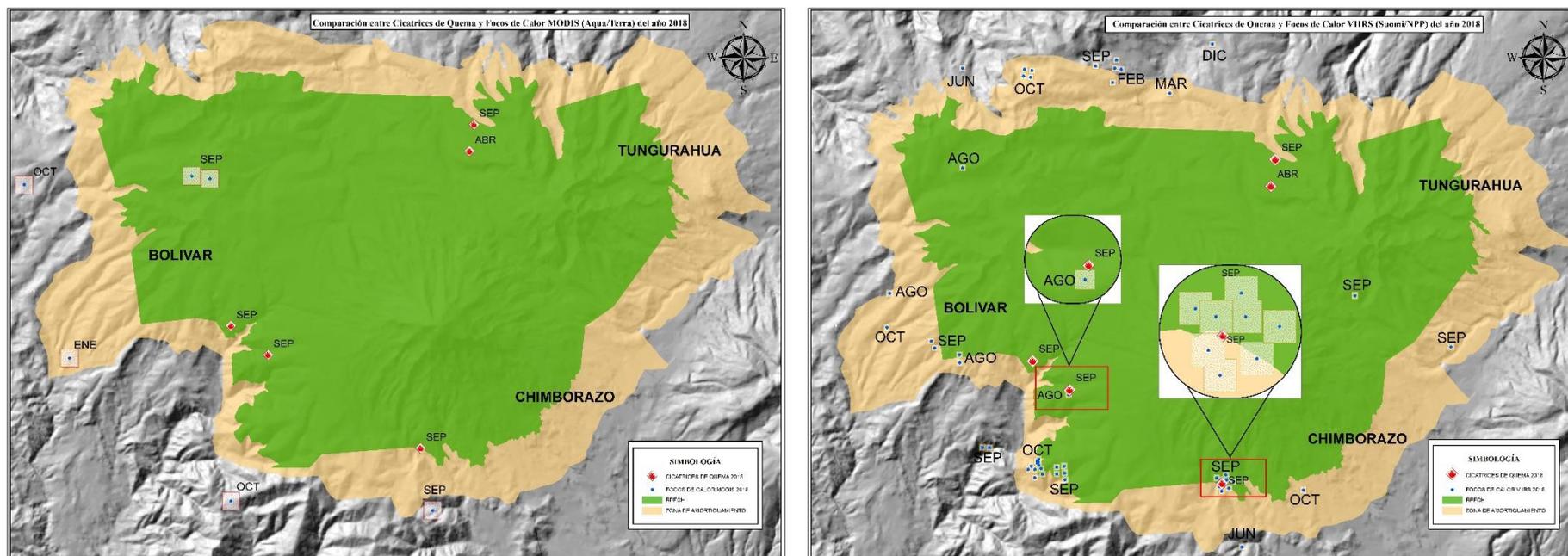


**Figura 3-3:** Comparación entre cicatrices de quema y focos de calor del sensor MODIS y VIIRS del año 2017

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

De los 35 focos calor registrados en la RPFCH y la zona de amortiguamiento de los dos sensores presentados en la (tabla 1-3), encontramos que ocho focos de calor pertenecen al sensor MODIS y 27 al sensor VIIRS, como se presenta en la figura 3-3, en el cual, el 2017 es el año con menor distribución de focos de calor en el que se ha considerado como “aciertos”, para el sensor MODIS tres focos de calor por su cercanía a las cicatrices de quema y para el sensor VIIRS se han considerado 16 puntos calientes, descartando los demás focos detectados ya que no concuerdan geográfica ni temporalmente con las cicatrices de quema registradas por el MAE.

### 3.10.4. Comparación entre cicatrices de quema con los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y el sensor VIIRS Suomi/NPP del año 2018

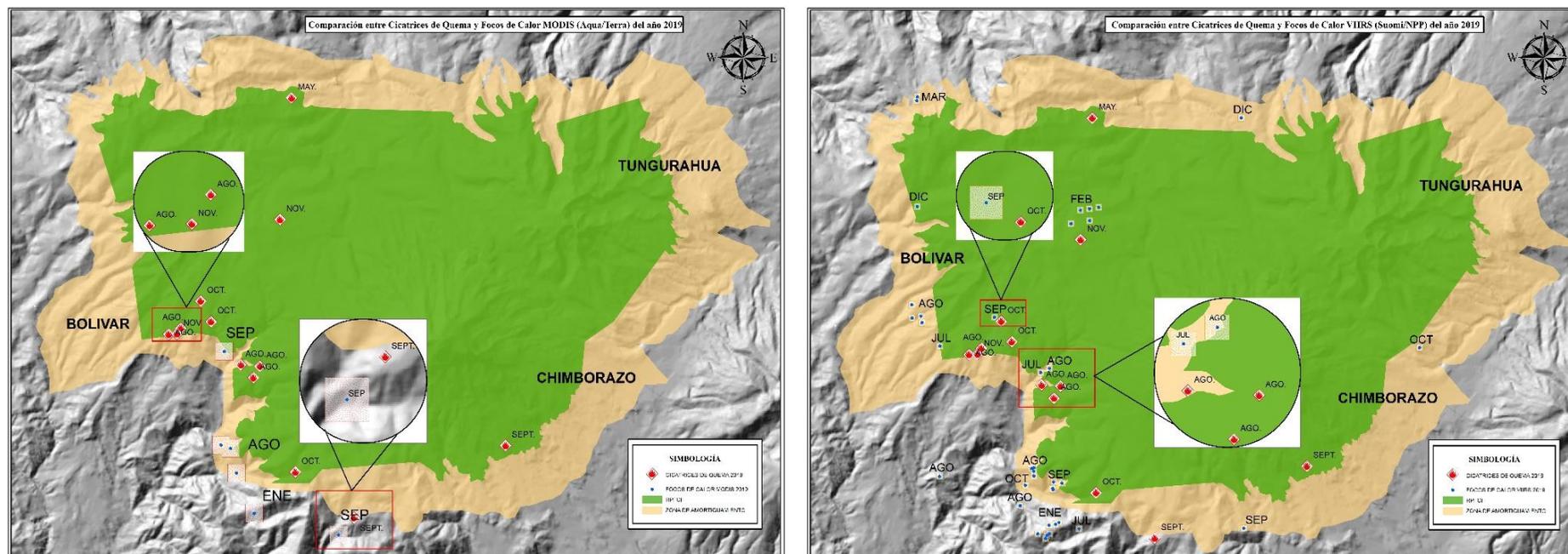


**Figura 4-3:** Comparación entre cicatrices de quema y focos de calor del sensor MODIS y VIIRS del año 2018.

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

De los 56 incendios y anomalías térmicas detectadas y presentadas en la (tabla 1-3), para el año 2018, seis focos de calor fueron reportados por el sensor MODIS; sin embargo, ninguno fue seleccionado por su falta de concordancia con las cicatrices de quema, por el contrario el sensor VIIRS ha detectado 50 focos de calor de los cuales se han considerado 8 puntos calientes que corresponden al mes de septiembre por su coincidencia espacio-temporal dentro de la RPFCH con las datos emitidos por el MAE de las cicatrices de quema, como se muestra en la figura 4-3.

### 3.10.5. Comparación entre cicatrices de quema con los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y el sensor VIIRS Suomi/NPP del año 2019



**Figura 5-3:** Comparación entre cicatrices de quema y focos de calor del sensor MODIS y VIIRS del año 2019.

Realizado por: Simbaña, K. 2020.

La comparación realizada dentro de la figura 5-3 permite observar la ocurrencia de focos de calor tanto del sensor MODIS que registra un total de seis puntos calientes, seleccionando solo un foco de calor como “*acierto*”, por su cercanía con la cicatriz de quema; sin embargo, estos puntos se encuentran fuera de la zona de amortiguamiento de la RPFCH y por su concordancia temporal correspondiente al mes de septiembre; además, del sensor VIIRS se reportó para el año 2019 un total de 38 puntos calientes, considerando un solo foco de calor como “*acierto*”, por la cercanía geográfica ubicada dentro de la RPFCH y temporal a la cicatriz de quema reportada por el MAE, correspondiente al mes de agosto.

### 3.11. Análisis de los resultados de las imágenes

#### 3.11.1. Nivel de aciertos de los focos de calor por cada instrumento de detección

Se observó en la tabla 8-3, un número de concordancia bastante bajo, mostrando un total de 39 puntos calientes analizados con el sensor MODIS (Aqua/Terra) del cual 35 focos de calor resultaron erróneos, y un total de 4 aciertos, considerando como “*acertados*” aquellos focos de calor que se encontraron dentro del *buffer* (área de influencia) o cercano a el mismo y los “*errores*” aquellos que se encontraron muy lejanos, siendo el 2015 el año con mayor cantidad de error (18 focos de calor) seguido del año 2016 con 1 foco de calor detectado y resultando incorrecto al validarlo, además, en el año 2018 se presencié 6 focos de calor incorrectos, y para el año 2017 se pudo observar que de 8 focos de calor, 3 de ellos resultaron acertados y 5 focos de calor fueron erróneos, de igual manera para el año 2019 se pudo observar un foco de calor acertado y 5 focos de calor erróneos. Estos datos concuerdan con (Fuentes, 2015) quien menciona que un foco de calor es un punto geográfico (coordenadas X, Y) que indica el centro de un píxel (1 km x 1 km) donde se detectó una temperatura superficial alta o alguna anomalía térmica. Dependiendo del sensor satelital y de las características de la superficie, podría o no representar un foco de fuego o incendio.

**Tabla 8-3:** Resultados del total de aciertos y errores de los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) por años (2015-2019)

MODIS			
AÑOS	TOTAL	ERRORES	ACIERTOS
2015	18	18	0
2016	1	1	0
2017	8	5	3
2018	6	6	0
2019	6	5	1
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>	<b>35</b>	<b>4</b>

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.

En la tabla 9-3 se observa una mayor cantidad de concordancia al realizar la validación del sensor VIIRS (Suomi/NPP) con las cicatrices de quema en la RPFCH; sin embargo, la cantidad de error sigue siendo demasiado alto dando un total de error de 154 focos de calor, y un total de 27 aciertos

en el período 2015-2019, de igual manera se ha considerado como “*acertados*” aquellos focos de calor que se encontraron dentro del *buffer* (área de influencia) o cercanos al mismo y los “*errores*” aquellos que se encontraron muy lejanos, resultando el 2017 el año con mayores aciertos, siendo 16 los aciertos de los 27 focos de calor registrados y el 2015 como el único año que no ha presentado aciertos en la validación de puntos. Lo que confirma en estudios relacionados con la validación de productos MODIS y AATSR para la detección de focos activos en la España peninsular y Baleares en el año 2003 (Oliva et al., 2008) quien menciona que “Teniendo en cuenta todos los tamaños de incendios, no parece razonable basarse en datos de estos sensores para realizar una estadística fiable de áreas afectadas por incendios, al menos en lo que se refiere a los productos de incendios activos”.

**Tabla 9-3:** Resultados del total de aciertos y errores de los focos de calor del sensor VIIRS (Suomi/NPP-375m) por años (2015-2019)

VIIRS			
AÑOS	TOTAL	ERRORES	ACIERTOS
2015	38	38	0
2016	28	26	2
2017	27	11	16
2018	50	42	8
2019	38	37	1
<b>TOTAL</b>	<b>181</b>	<b>154</b>	<b>27</b>

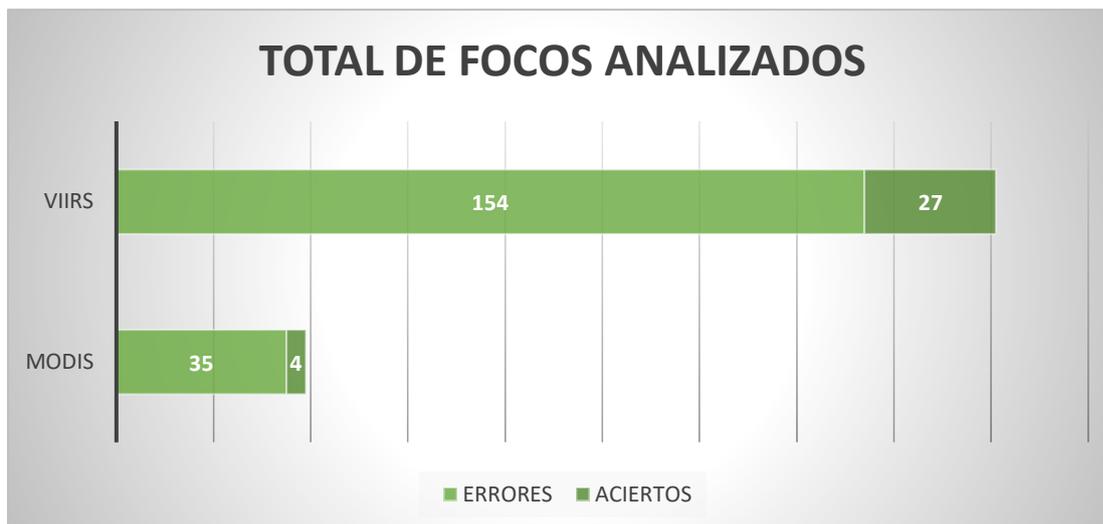
Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.

La tabla 10-3 nos indica un resumen de la totalidad de focos de calor analizados tanto para el sensor MODIS (Aqua/Terra) como el sensor VIIRS (Suomi/NPP), disgregado en aciertos y errores. Principalmente los focos erróneos se encontraron en la zona de amortiguamiento de la RPFCH.

**Tabla 10-3:** Resumen del total de aciertos y errores de los focos de calor del sensor MODIS (Aqua/Terra) y VIIRS (Suomi/NPP-375m)

SENSORES	TOTAL PUNTOS	ERRORES	ACIERTOS
<b>MODIS</b>	39	35	4
<b>VIIRS</b>	181	154	27

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.



**Gráfico 8-3.** Total de Focos de calor analizados; clasificados en: aciertos y errores.

**Realizado por:** Simbaña, K. 2020.

El total de focos analizados tanto de la RPFCH como de la zona de amortiguamiento mediante el satélite Suomi/NPP-375m presento una mayor cantidad de focos de calor con respecto al satélite Aqua/Terra, considerando además, que el hecho de que exista una mayor cantidad de focos de calor detectados no implica que contenga todos los eventos como se pudo comprobar en las validaciones individuales. En la cual estas cifras se presentan con la mayor resolución del satélite como por ejemplo en el año 2017 mientras el sensor MODIS no presenta ningún foco de calor en el mes de octubre cercano a la cicatriz de quema, el sensor VIIRS por el contrario presenta 10 focos de calor del mes de octubre cercano a la cicatriz de quema indicando 10 eventos por separado por el contrario MODIS no muestra ni uno solo.

### ***3.11.2. Análisis de las zonas de aciertos frecuentes de los focos de calor***

Los aciertos de las comparaciones se presentaron principalmente dentro de la RPFCH donde los daños fueron mayores a 1 ha, además, según los registros del MAE el tipo de cobertura afectada es el páramo. Similar a lo que manifiesta (Barcia et al., 2019) quien menciona que la efectividad en la detección de incendios a través de los satélites aumenta a medida que los incendios son mayores y que la no detección también puede estar relacionada con la presencia de nubes en el momento de la observación o a la eficiencia del algoritmo empleado, presencia de obstáculos, como elevaciones, que limitan o impiden al satélite realizar la detección del foco existente.

En la tabla 11-3 se muestra los puntos acertados por el sensor MODIS, en el cual se puede inferir que la mayoría de los incendios han sido de origen antrópico, causando daños relevantes en la flora como en la fauna lo que concuerda con el (Ministerio del Ambiente y Agua, 2015) quien manifiesta que la mayor parte de los incendios forestales se deben a la actividad humana porque usan el fuego como una herramienta de trabajo, pero lo usan con técnicas inadecuadas, además, también existen quemas piro maniáticas por personas que visitan estas áreas naturales.

**Tabla 11-3:** Datos de las zonas que coincidieron durante la validación de puntos con el sensor MODIS (Aqua/Terra)

SENSOR MODIS (Aqua/Terra)					
Años	Sector	Área afectada en hectáreas	Origen del incendio	Flora y Fauna Afectada	Tipo de cobertura vegetal intervenida (ha)
2017	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO R.P.F.CH	65,6	-	PAJA DE PÁRAMO (VARIAS ESPECIES), GENTIANAS (GENTIANA SEDIFOLIA), CHUQUIRAHUA (CHUQUIRAGA JUSSIEU), ARQUITECTO (WERNERIA NUBIGRANA), ATA (LORICARIA ILINISAE) Y PIQUIL (GYNOXYS SP)	Páramo
2019	RPFCH.	3.5	Antrópica	CALAMAGROSTIS INTERMEDIA, VACCINIUM FLORIBUNDUM, DIPLOSTEPHIUM ERICOIDES, LACHEMILLA ORVICULATA, HALENIA SERPYLLIFOLIA.	Páramo

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.

En el análisis de las zonas acertadas detectadas por el sensor VIIRS, muestran en la tabla 12-3 que el origen de estos incendios es de forma antrópica afectando principalmente el páramo de los cuales podemos considerar el caso de los años 2017 que presenta 65.6 ha de área afectada y el 2018 con un área afectada de 69.92 ha, estos tienen mayor extensión de área afectada a comparación de los otros años.

**Tabla 12-3:** Datos de las zonas que coincidieron durante la validación de puntos con el sensor VIIRS  
(Suomi/NPP-375m)

SENSOR VIIRS (Suomi/NPP)					
Años	Sector	Área afectada en hectáreas	Origen del incendio	Flora y Fauna Afectada	Tipo de cobertura vegetal intervenida (ha)
2019	RPFCH.	1.4	Antrópica	CALAMAGROSTIS INTERMEDIA, VACCINIUM FLORIBUNDUM, DIPLOSTEPHIUM ERICOIDES, LACHEMILLA ORVICULATA, HALENIA SERPYLLIFOLIA.	Páramo
	RPFCH.	3.2	Antrópica	CALAMAGROSTIS INTERMEDIA, VACCINIUM FLORIBUNDUM, DIPLOSTEPHIUM ERICOIDES, LACHEMILLA ORVICULATA, HALENIA SERPYLLIFOLIA.	Páramo
	RPFCH.	2.05	Antrópica	CALAMAGROSTIS INTERMEDIA, VACCINIUM FLORIBUNDUM, DIPLOSTEPHIUM ERICOIDES, LACHEMILLA ORVICULATA, HALENIA SERPYLLIFOLIA.	Páramo
2018	R.P.F.CH DENTRO SOCIO BOSQUE COMUNITARIO	69,62	Antrópico	paja de páramo (Calamagrostis intermedia), (Vaccinium floribundum), (Diplostephium ericoides), (Lachemilla orviculata) y (Halenia serpyllifolia)	Páramo
2017	R.P.F.CH DENTRO	8	Antrópico	Paja de páramo (Calamagrostis intermedia) Piquil (Ginoxis sp) Licopodios (Licopodium sp), (Monticalia sp) y Orejuela (Lachemilla orviculata).	Páramo
	R.P.F.CH DENTRO	12	Antrópico	Paja de páramo <i>stipaicgu</i> , Chuquiragua <i>chuquiragua sp.</i>	Páramo
	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO R.P.F.CH	8	Antrópico	Paja de páramo (Calamagrostis intermedia) Piquil (Ginoxis sp) Licopodios (Licopodium sp), (Monticalia sp) y Orejuela (Lachemilla orviculata).	Páramo

	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO R.P.F.CH	65,6		Paja de páramo (varias especies), Gentianas ( <i>Gentiana sedifolia</i> ), Chuquirahua ( <i>Chuquiraga jussieu</i> ), arquitecto ( <i>werneria nubigrna</i> ), ata ( <i>Loricaria ilinisiae</i> ) y piquil ( <i>Gynoxys</i> sp)	Páramo
<b>2016</b>	R.P.F.CH	32,16	Antrópico	PAJONAL	Páramo

Realizado por: Simbaña, Katty, 2020.

## CONCLUSIONES

- La investigación realizada determina según los resultados obtenidos durante la validación de focos de calor con las cicatrices de quema que la probabilidad de detección aumenta cuando se utilizan varios satélites y cuando el tamaño del incendio es más grande ya que hay cicatrices de quema que no fueron detectadas por el sensor MODIS pero si por el sensor VIIRS, siendo el sensor VIIRS más sensible al detectar los focos de calor, se puede notar además, que existe mayor cantidad de errores de detección principalmente en la zona de amortiguamiento de la RPFCH, se asume que posiblemente pueda ser por la topografía del sector, condiciones climáticas y de la vegetación.
- En la recopilación de información de los inventarios de incendios forestales emitidos por la entidad del MAE, al realizar los acercamientos en los mapas se evidencio datos incorrectos en la toma de puntos geográficos que no corresponden al lugar donde ocurrió el incendio, ya que la mayoría de ellos se encuentran en lugares lejanos al incidente, muchos han sido tomados desde las carreteras dificultando su validación; por lo tanto, se considera que la base de información es poco confiable. Por este motivo la investigación realizada por medio de los sensores MODIS y VIIRS nos permiten tener una rectificación al identificar este tipo de errores.
- Se puede concluir a partir del análisis espacio-temporal entre los focos de calor detectados por el sensor MODIS y VIIRS, que existe niveles de confianza muy bajos cuando se consideran todos los puntos de calor, de hasta 0% para los años 2015, 2016 y 2018 en MODIS y porcentajes de 0% para el año 2015 en VIIRS. Por lo tanto, la validación de los focos de calor con las cicatrices de quema realizados, demostraron ser una metodología poco eficiente por la falta de precisión de los datos al compararlas.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios similares utilizando imágenes espaciales para estimar áreas quemadas desde una perspectiva multi-temporal en la RPFCH y la zona de amortiguamiento considerando las condiciones climáticas del lugar.
- Se recomienda que para futuros registros del MAE los datos sean tomados in situ y no fuera del área, porque la carencia de información y la falta de exactitud sobre las cicatrices de quema dificultan las evaluaciones actuales y futuras
- Es más recomendable utilizar el sensor VIIRS para futuros estudios porque se pueden obtener gratuitamente los datos necesarios para las investigaciones y además, es más sensible al detectar incendios y anomalías térmicas que el sensor MODIS.
- Es necesario que la institución tenga una mayor participación en cuanto a investigaciones de incendios forestales mediante el análisis espacio-temporal, para optimizar los recursos generando herramientas con el fin de prevenir y combatir los incendios forestales de manera efectiva, ya que existe muy poca información con respecto a este tipo de estudios a nivel nacional.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALARCÓN, I.** "Ecuador registra 9 063 incendios forestales entre 2015 y 2019". *El Comercio* [en línea], 2020, (Ecuador). [Consulta: 13 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/tendencias/incendios-forestales-fuego-casitagua-pichincha.html#>.

**BARCIA, S., FONTES, M. & VIERA, E.** "Comportamiento temporal de los focos de calor detectados por satélites en la provincia de Cienfuegos". *Revista Cubana de Meteorología* [en línea], 2018, (Cuba) vol. 24, no. 3, pp. 324-334. [Consulta: 13 agosto 2020]. ISSN: 0864-151X. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/326445901\\_Comportamiento\\_temporal\\_de\\_los\\_focos\\_de\\_calor\\_detectados\\_por\\_satelites\\_en\\_la\\_provincia\\_de\\_cienfuegos](https://www.researchgate.net/publication/326445901_Comportamiento_temporal_de_los_focos_de_calor_detectados_por_satelites_en_la_provincia_de_cienfuegos).

**BARCIA, S., FONTES, M. & VIERA, E.** "Los focos de calor y los incendios forestales en la provincia Cienfuegos". *Revista Cubana de Meteorología* [en línea], 2019, (Cuba) vol. 25, no. sp, pp. 265-277. [Consulta: 15 agosto 2020]. ISSN: 0864-151X. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/335664646\\_Los\\_focos\\_de\\_calor\\_y\\_los\\_incendios\\_forestales\\_en\\_la\\_provincia\\_Cienfuegos\\_Cuba](https://www.researchgate.net/publication/335664646_Los_focos_de_calor_y_los_incendios_forestales_en_la_provincia_Cienfuegos_Cuba).

**BERRICK, S.** "VIIRS I-Band 375 m Datos de incendios activos". *NASA* [en línea], 2020. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/viirs-i-band-active-fire-data>.

**BLUMENFELD, J.** "Más MODIS: los productos MODIS Collection 6 casi en tiempo real ya están disponibles". *NASA* [en línea], 2015. [Consulta: 18 agosto 2020]. Disponible en: <https://earthdata.nasa.gov/news-archive/modis-nrt-c6-release>.

**BUSTOS, ANDREA; et al.** "Una breve mirada institucional, social y espacial de los incendios forestales en el Ecuador". *Osbodigital* [en línea], 2019, (Ecuador). [Consulta: 18 agosto 2020]. Disponible en: <https://osbodigital.es/2019/03/25/los-incendios-forestales-en-ecuador/>.

**CAO, C; et al.** "NOAA Technical Report NESDIS 142 Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Sensor Data Record (SDR) User's Guide Version 1.3. NOAA". *Technical Report NESDIS 142* [en línea], 2017, pp. 1-40. [Consulta: 13 agosto 2020]. Disponible en: <https://ncc.nesdis.noaa.gov/documents/documentation/viirs-users-guide-tech-report-142a-v1.3.pdf>.

**CHUVIECO, E; et al.** "Comparación entre focos de calor MODIS y perímetros de área quemada

en incendios mediterráneos". *Revista de Teledetección* [en línea], 2012, (España) vol. 37, pp. 9-22. [Consulta: 15 agosto 2020]. ISSN: 1988-8740. Disponible en: [http://www.aet.org.es/revistas/revista37/Numero37\\_02.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista37/Numero37_02.pdf).

**COCHRANE, M.** *Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use and Ecosystem Dynamics* [en línea], Springer Science & Business Media, 2010. [Consulta: 12 agosto 2020]. Disponible en: [file:///D:/DISCO\\_D/katty/ESPOCH/TESIS/BIBLIOGRAFIA\\_TESIS/imagenes/Tropical\\_Fire\\_Ecology\\_Climate\\_Change\\_Land\\_Use\\_and\\_Ecosystem\\_Dynamics\\_-\\_Mark\\_Cochrane\\_-\\_Google\\_Libros.html](file:///D:/DISCO_D/katty/ESPOCH/TESIS/BIBLIOGRAFIA_TESIS/imagenes/Tropical_Fire_Ecology_Climate_Change_Land_Use_and_Ecosystem_Dynamics_-_Mark_Cochrane_-_Google_Libros.html).

**COMISIÓN NACIONAL FORESTAL.** *Incendios forestales Guía práctica para comunicadores*. Tercera. Guadalajara-México [en línea], Efecto Marketing, 2010. [Consulta: 18 agosto 2020]. Disponible en: [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Guía\\_práctica\\_para\\_comunicadores\\_-\\_Incendios\\_Forestales.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Guía_práctica_para_comunicadores_-_Incendios_Forestales.pdf).

**DGOTA.** Diseño metodológico para el desarrollo de un modelo predictivo de incendios. Dirección de Monitoreo y Evaluación de los Recursos Naturales del Territorio [en línea], Perú. 2017. pp. 2-34. [Consulta: 12 agosto 2020]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/62192>.

**DONOSO, D.** "Chimborazo entre las provincias con más afectación por incendios forestales". *Los Andes* [en línea], 2019, (Ecuador). [Consulta: 2 septiembre 2020]. Disponible en: <https://diariolosandes.com.ec/chimborazo-entre-las-provincias-con-mas-afectacion-por-incendios-forestales/>.

**EL COMERCIO.** Inamhi entregará información sobre los focos de calor a Bomberos de Quito. *El Comercio* [en línea], 2020, (Ecuador). [Consulta: 5 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/inamhi-quito-informacion-focos-calor.html>.

**ESPINOZA, V.** Diseño de un modelo de gestión sostenible para la prevención de incendios forestales en plantaciones de pino en la comunidad Ganquis provincia de Chimborazo. [en línea]. (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2017. pp. 1-92. [Consulta: 2 septiembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7819>.

**FLORES, G; et al.** "Camas de combustibles forestales y carbono en México". *Madera y Bosques* [en línea], 2018, (México) vol. 24, pp. 1-15. [Consulta: 5 septiembre 2020]. ISSN 1405-0471. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v24nspe/2448-7597-mb-24-spe-e2401893.pdf>.

**FRANÇOIS, J.** "Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio". *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales* [en línea], 2018, (México) pp. 9-313. [Consulta: 9

septiembre 2020]. ISBN 9786077908555. Disponible en: [https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook\\_file/aplicacionesMODIS.pdf](https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/aplicacionesMODIS.pdf).

**FRAZIER, S.** "MODIS". *Nasa* [en línea], s.f. [Consulta: 9 septiembre 2020]. Disponible en: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>.

**FUENTES, H.** "Monitoreo de Cicatrices de Quemadas en el Departamento de Pando – Bolivia mediante sistemas de información geográfica y teledetección". *SBSR* [en línea], 2015, (Bolivia) no. 1, pp. 6381-6388. [Consulta: 9 septiembre 2020]. Disponible en: <https://proceedings.science/sbsr/papers/monitoreo-de-quemas-en-el-departamento-de-pando-----bolivia-ano-2015-mediante-sistemas-de-informacion-geografica-y-teled>

**GIGLIO, L; et al.** "An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS". *ELSEVIER* [en línea], 2003, vol. 87, pp. 273-282. [Consulta: 11 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425703001846>.

**GIGLIO, L; et al.** "Revisión B Administración Nacional Oceánica y Atmosférica". *NASA* [en línea], 2018, pp. 8-63. [Consulta: 12 septiembre 2020]. Disponible en: [https://modis-fire.umd.edu/files/MODIS\\_C6\\_Fire\\_User\\_Guide\\_B.pdf](https://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_C6_Fire_User_Guide_B.pdf)

**GÓMEZ, N. & MARTÍN, I.** "Estudio Comparativo de Índices Espectrales para la Cartografía de Áreas Quemadas con Imágenes MODIS". *Revista de Teledetección* [en línea], 2008, (España) vol. 29, pp. 15-24. [Consulta: 10 septiembre 2020]. ISSN: 1988-8740. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/157342/1/Revista-AET-29-2.pdf>.

**LEVY, R.** "Primera imagen global de VIIRS". *Earth Observatory* [en línea], 2011. [Consulta: 3 agosto 2020]. Disponible en: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/76674/first-global-image-from-viirs>.

**MAE; et al.** *Actualización del Plan de Manejo de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo*. [en línea]. Ecuador: Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos, 2014. [Consulta: 1 septiembre 2020]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/433869951/Actualizacion-Del-Plan-de-Manejo-de-La-Reserva-de-Produccion-de-Fauna-Chimborazo>.

**MANZO DELGADO, L; et al.** "Desarrollo de algoritmos para la detección de puntos de calor (DPC) para México". *CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES* [en línea], 2019, (México) pp. 5-53. [Consulta: 10 agosto 2020]. ISSN 52769-1829-7-VI-18. Disponible en: [https://www1.cenapred.unam.mx/SUBCUENTA/6a%20SESI%c3%93N%20EXTRAORDINARIA/3.%20GOES\\_16/INFORME\\_FINAL\\_PUNTOS%20DE%20CALOR\\_CENAPRED\\_ABI L\\_11\\_2019.pdf](https://www1.cenapred.unam.mx/SUBCUENTA/6a%20SESI%c3%93N%20EXTRAORDINARIA/3.%20GOES_16/INFORME_FINAL_PUNTOS%20DE%20CALOR_CENAPRED_ABI L_11_2019.pdf).

**MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR.** "Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental". *Subsecretaría de Patrimonio Natural* [en línea], 2013, (Ecuador) pp. 9-218. [Consulta: 6 septiembre 2020]. ISSN 0717-6163. Disponible en: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL\\_NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL_NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf).

**MINISTERIO DEL AMBIENTE & DIRECCIÓN PROVINCIAL DE CHIMBORAZO.** "Rendición de Cuentas 2015". *Ministerio del Ambiente* [en línea], 2015, (Ecuador) pp. 1-42. [Consulta: 6 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/Chimborazo-presentacion.pdf>.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA.** "Prevención y control de incendios una prioridad nacional". *Ministerio del Ambiente* [en línea], 2015. (Ecuador). [Consulta: 2 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/prevencion-y-control-de-incendios-una-prioridad-nacional/>.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA.** "Reserva Chimborazo celebra sus 28 años de Conservación". *Ministerio del Ambiente y Agua* [en línea], 2015, (Ecuador). [Consulta: 6 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/reserva-chimborazo-celebra-sus-28-anos-de-conservacion/>.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA.** "La prevención de incendios forestales en Sierra y Costa se fortalece con el Programa "Amazonía sin fuego"". *MAE* [en línea], 2017, (Ecuador). [Consulta: 6 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/la-prevencion-de-incendios-forestales-en-sierra-y-costa-se-fortalece-con-el-programa-amazonia-sin-fuego/>.

**OLIVA, P., JURDAO, S., MARTÍNEZ, J. & CHUVIECO, E.** "Validación y comparación de los productos MODIS y AATSR para la detección de focos activos en la España peninsular y Baleares en el año 2003". *Espacio Tiempo y Forma. Geografía* [en línea], 2008, vol. 0, no. 1, pp. 141-150. [Consulta: 30 julio 2020]. ISSN 1130-2968. Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=bibliuned:ETFSerieVI-39FBB468-B16C-BA13-ED6B-474EE8009629&dsID=Documento.pdf>.

**OSPINA, E.** Mapeo de áreas quemadas por incendios forestales en el Ecuador utilizando información satelital de la NASA, periodo 2000-2016 [en línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, (Ecuador). 2017. pp 1-86. [Consulta: 28 julio 2020]. Disponible en: <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/CD-8194.pdf>.

**PAUSAS, J.** *Incendios forestales* [en línea]. Madrid-España: Los Libros De La Catarata, 2012. [Consulta: 28 julio 2020]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=i1jZDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q>

&f=false.

**PÉREZ, D.** "Introducción a los Sensores Remotos-Aplicaciones en Geología". *UBA* [en línea], 2017, (Argentina) vol. 09. pp. 1-43. [Consulta: 30 julio 2020]. Disponible en: [http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso\\_SR/Guia\\_Curso\\_sr\\_2007.pdf](http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf).

**SCHMIDT, C.** "PERCEPCIÓN REMOTA DE LA NASA". *NASA* [en línea], 2014, pp. 1-67. [Consulta: 29 julio 2020]. Disponible en: [https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/land/webinars/May14/Spain\\_landwebinar\\_week1\\_Spring2014.pdf](https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/land/webinars/May14/Spain_landwebinar_week1_Spring2014.pdf).

**SCHROEDER, W.** Sistema de Procesamiento de Investigadores de Ciencias de la Tierra de NASA VIIRS. *NASA* [en línea], 2018, pp. 2-23. [Consulta: 3 agosto 2020]. Disponible en: [https://viirsland.gsfc.nasa.gov/PDF/VIIRS\\_activefire\\_User\\_Guide.pdf](https://viirsland.gsfc.nasa.gov/PDF/VIIRS_activefire_User_Guide.pdf).

**SCHROEDER, W. & GIGLIO, L.** "NASA VIIRS Land Science Investigator Processing System (SIPS) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) 375 m & 750 m Active Fire Products: Product User's Guide Version 1.4". *Nasa* [en línea], 2018, pp. 2-23. [Consulta: 27 agosto 2020]. Disponible en: [https://viirsland.gsfc.nasa.gov/PDF/VIIRS\\_activefire\\_User\\_Guide.pdf](https://viirsland.gsfc.nasa.gov/PDF/VIIRS_activefire_User_Guide.pdf).

**WOLFE, R.** "Conjunto de radiómetros de imágenes infrarrojas visibles (VIIRS)". *NASA* [en línea], 2020. [Consulta: 3 agosto 2020]. Disponible en: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/viirs/>.

**ZAMORA, A.** Estudio Metodológico Para El Monitoreo De Alertas Tempranas De Deforestación Basado En Focos De Calor En La Amazonía Peruana [en línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. 2016. pp. 1-142. [Consulta: 27 agosto 2020]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2601>.

## ANEXOS

### ANEXO A: OBTENCIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS SENSORES MODIS Y VIIRS



Mapa de Incendios de la NASA, plataforma FIRMS. Reserva de Producción de Fauna Chimborazo.

## ANEXO B: CONVERTOR DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS A UTM

**Convertor de coordenadas**

Las coordenadas geográficas se escribirán en grados decimales. Los números negativos indican longitudes de Oeste y latitudes de Sur. Las coordenadas UTM serán mostradas y desplegadas en metros. Modelo de elipsoide utilizado es el WGS84.

Geográficas		UTM	
Longitud:	<input type="text"/>	X:	<input type="text"/>
Latitud:	<input type="text"/>	Y:	<input type="text"/>
		Zona:	<input type="text"/>
		Hemisferio:	<input checked="" type="radio"/> N <input type="radio"/> S

Obtención de coordenadas UTM, para proyectarlas en el software ArcGis 10.5

## ANEXO C: INVENTARIO DE CICATRICES DE QUEMA DEL MAE

REGISTRO DE INCENDIOS FORESTALES																											
INSTITUCIÓN QUE REGISTRA Y REPORTA EN INCENDIO: DIRECCIÓN PROVINCIAL DEL AMBIENTE DE CHIMBORAZO																											
FECHA DEL REPORTE: AÑO 2015																											
RESPONSABLE DEL REPORTE:																											
Nº de incendio	Fecha de inicio del incendio	Fecha de fin del incendio	Sector	Lugar del incendio				Área afectada en hectáreas		Tipo de cobertura vegetal intervenida				Estrato		Origen del incendio		Procesos de rehabilitación en participación	Recursos utilizados	Instituciones Participantes	Flora y fauna afectada	Observaciones	INFORME	SNP			
				Coord. UTM WGS84 X	Coord. UTM WGS84 Y	Comunidad	Parroquia	Cantón	Provincia	Monte DOMATO	Monte RECERBAS FORES	Área prim	Área secund	Área terci	Área forestal	Área arbustiva	Área herbácea								Área acuática	Área urbana	
1	02/enero	02/enero	R.P.F.CH	74464	903991	392	Santa Teresita de Guabos	San Juan	Riobamba	Chimborazo		75,0									MAE-CHIMBORAZO, Cuerpo de Bomberos de Riobamba ECU 911		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
2	29/feb	29/feb	ZONA AMORTIGUO ARBENTIO PFC CUBELLIN	77351	908079	284	CUBELLIN	Olmosa	Cacha	Chimborazo		33,7									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
3	29/feb	29/feb	PNE CERRO SANC PUNGO ATILLO	77466	979495	220	ATELLO	Cajabamba	Gualaquiza	Chimborazo		5,7									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
4	22/feb	22/feb	PNE CERRO PUERTO ATILLO	77483	979492	354	ATELLO	Cajabamba	Gualaquiza	Chimborazo		16,5									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
5	19/ene	19/ene	La Chorrera	77427	929471	210	La Chorrera	San Juan	Riobamba	Chimborazo		0,9									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
6	3/jul	03/ago	Concepcion	74295	94877	402	Concepcion	Pilahuin	Ambato	Tungurahua		0,2									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
7	9/jul	09/ago	Tecuacocha	73919	902224	487	Tecuacocha	San Juan	Riobamba	Chimborazo		4,3									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	

### Obtención de los incendios registrados por el MAE del año 2015

REGISTRO DE INCENDIOS FORESTALES DPACH											
AÑO DEL INCENDIO	MES DEL INCENDIO	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	COORDENADAS UTM WGS 84	HECTÁREAS	TIEMPO DE DURACION DEL INCENDIO	CAUSAS	INSTITUCIONES PARTICIPANTES EN EL COMBATE DEL INCENDIO	TIPO DE COBERTURA VEGETAL AFECTADA	Observaciones
2016	12/ene	SAN ANDRES	GUANO	CHIMBORAZO	X: 749806 Y: 9837335 Z: 4143	33	05H45	Antrópico	MAE-CHIMBORAZO, Cuerpo de Bomberos de Guano, 4 comuneros.	PAJONAL	R.P.F.CH
2016	18/ene	SAN ANDRES	GUANO	CHIMBORAZO	X: 748583 Y: 9836128 Z: 4295	32,16	06H30	Antrópico	MAE-CHIMBORAZO, Cuerpo de Bomberos de Guano, 32 comuneros.	PAJONAL	R.P.F.CH
2016	02/feb	SAN JUAN	RIOBAMBA	CHIMBORAZO	X: 738348 Y: 9899067 Z: 4214	7,12	03H00	Antrópico	MAE-CHIMBORAZO	PAJONAL	Zona de amortiguamiento R.P.F.CH
2016	28/feb	MOCHA	MOCHA	TUNGURAHUA	X: 752707 Y: 9838877 Z: 4034	2,6	00H45	Antrópico	MAE-CHIMBORAZO	PAJONAL	R.P.F.CH
2016	26/may	PILAHUIN	AMBATO	TUNGURAHUA	X: 742915 Y: 9848377 Z: 4065	3	02H30	Antrópico	MAE-CHIMBORAZO	PAJONAL	R.P.F.CH
2016	18/jul	GUANUJO	GUANUJO	BOLÍVAR	X: 733556 Y: 9836139 Z: 4164	3	03H00	Antrópico	MAE-CHIMBORAZO	PAJONAL	R.P.F.CH

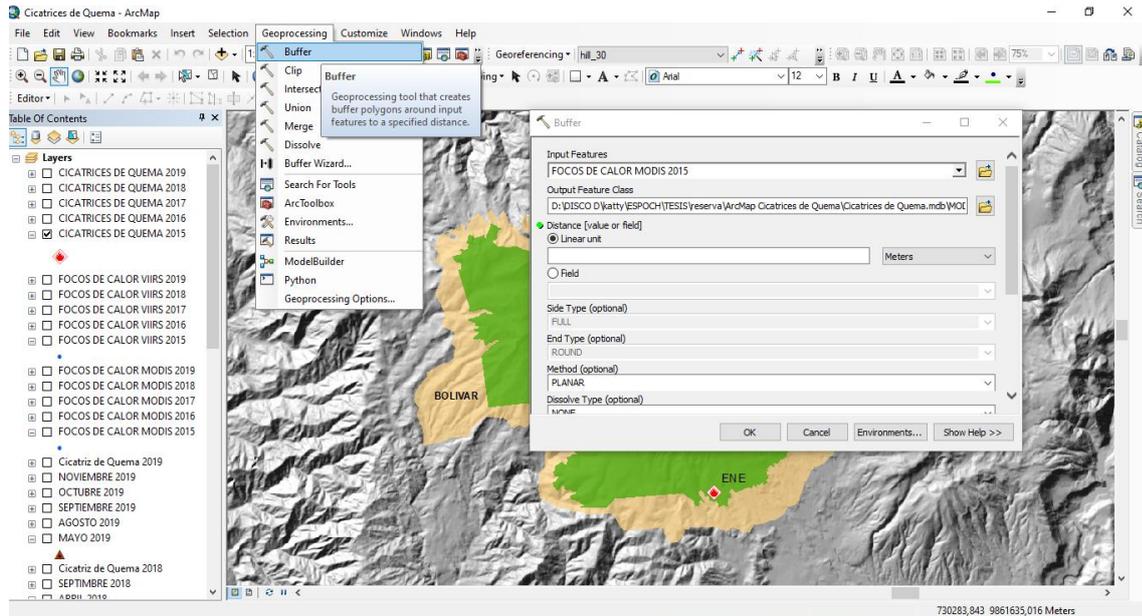
### Obtención de los incendios registrados por el MAE del año 2016

REGISTRO DE INCENDIOS FORESTALES																											
INSTITUCIÓN QUE REGISTRA Y REPORTA EN INCENDIO: DIRECCIÓN PROVINCIAL DEL AMBIENTE DE CHIMBORAZO																											
FECHA DEL REPORTE: AÑO 2017																											
RESPONSABLE DEL REPORTE:																											
Nº de incendio	Fecha de inicio del incendio	Fecha de fin del incendio	Sector	Lugar del incendio				Área afectada en hectáreas		Tipo de cobertura vegetal intervenida				Estrato		Origen del incendio		Procesos de rehabilitación en participación	Recursos utilizados	Instituciones Participantes	Flora y fauna afectada	Observaciones	INFORME	SNP			
				Coord. UTM WGS84 X	Coord. UTM WGS84 Y	Comunidad	Parroquia	Cantón	Provincia	Monte DOMATO	Monte RECERBAS FORES	Área prim	Área secund	Área terci	Área forestal	Área arbustiva	Área herbácea								Área acuática	Área urbana	
1	18/ene	18/ene	R.P.F.CH DENTRO	74198	903331	414	SANTA TERESITA DE GUABOS	SAN JUAN	RIOBAMBA	CHIMBORAZO		1,4									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
2	25/ene	25/ene	ZONA AMORTIGUO ARBENTIO PFC CUBELLIN	77328	908079	422	CARGUIS	SAN JUAN	RIOBAMBA	CHIMBORAZO		4									MAE-CHIMBORAZO, Cuerpo de Bomberos de Riobamba, 4 comuneros.		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
3	19/ene	19/ene	R.P.F.CH DENTRO	74081	903791	428	CARGUIS	SAN JUAN	RIOBAMBA	CHIMBORAZO		1,5									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
4	18/ene	18/ene	ZONA AMORTIGUO ARBENTIO PFC CUBELLIN	77312	908079	422	YARABUCHI	SAN JUAN	RIOBAMBA	CHIMBORAZO		4									MAE-CHIMBORAZO, Cuerpo de Bomberos de Riobamba.		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
5	15/ene	15/ene	ZONA AMORTIGUO ARBENTIO PFC CUBELLIN	77327	908079	422	CARGUIS	SAN JUAN	RIOBAMBA	CHIMBORAZO		2									MAE-CHIMBORAZO, Cuerpo de Bomberos de Riobamba.		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
6	15/ene	15/ene	ZONA AMORTIGUO ARBENTIO PFC CUBELLIN	77331	908079	422	ELEVE	CORONADO	CORONADO	PAUTAR		4									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
7	15/ene	15/ene	R.P.F. DENTRO				LAGUNA LACOSTRE	LAGUNA LACOSTRE	LAGUNA LACOSTRE	CHIMBORAZO		5									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	
8	15/ene	15/ene	R.P.F. DENTRO				LAGUNA LACOSTRE	LAGUNA LACOSTRE	LAGUNA LACOSTRE	CHIMBORAZO		5									MAE-CHIMBORAZO		Procesos de rehabilitación en participación	Observaciones	INFORME	SNP	

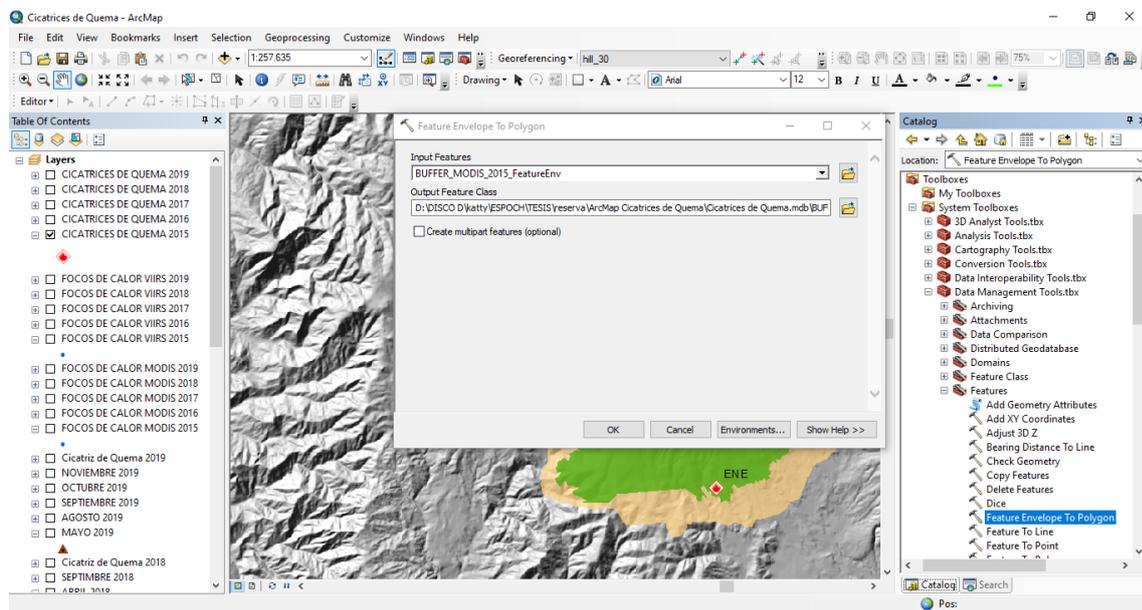
### Obtención de los incendios registrados por el MAE del año 2017



## ANEXO D: ÁREA DE INFLUENCIA DE FOCOS DE CALOR DE LOS SENSORES MODIS Y VIIRS

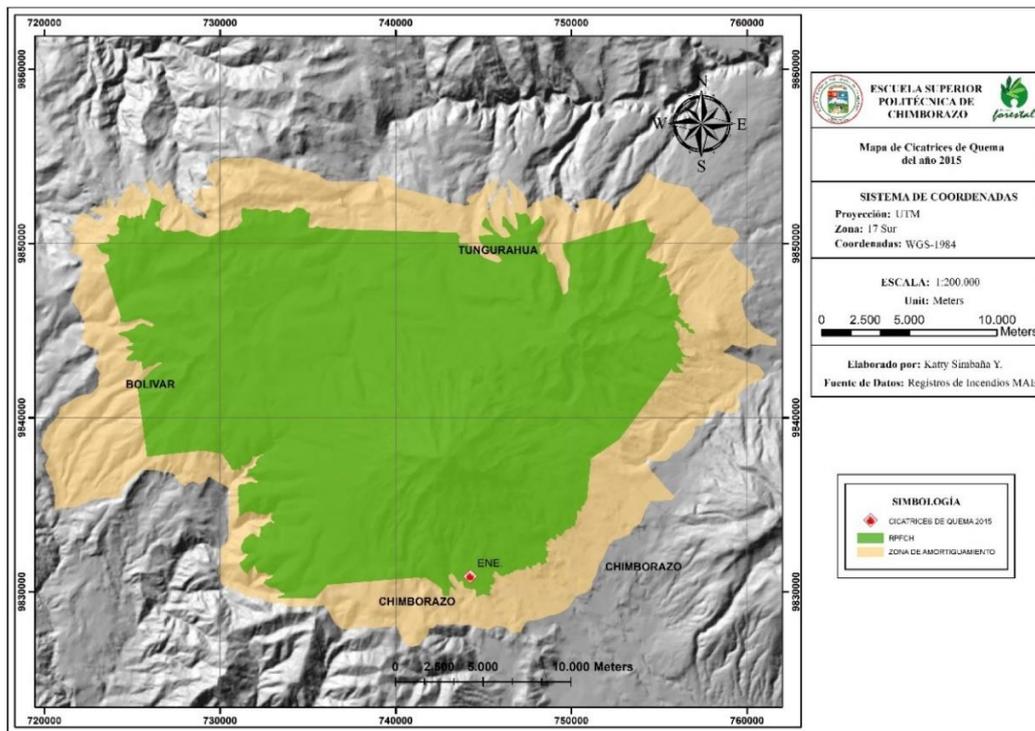


Delimitación de los focos de calor de los sensores MODIS y VIIRS según el área de influencia

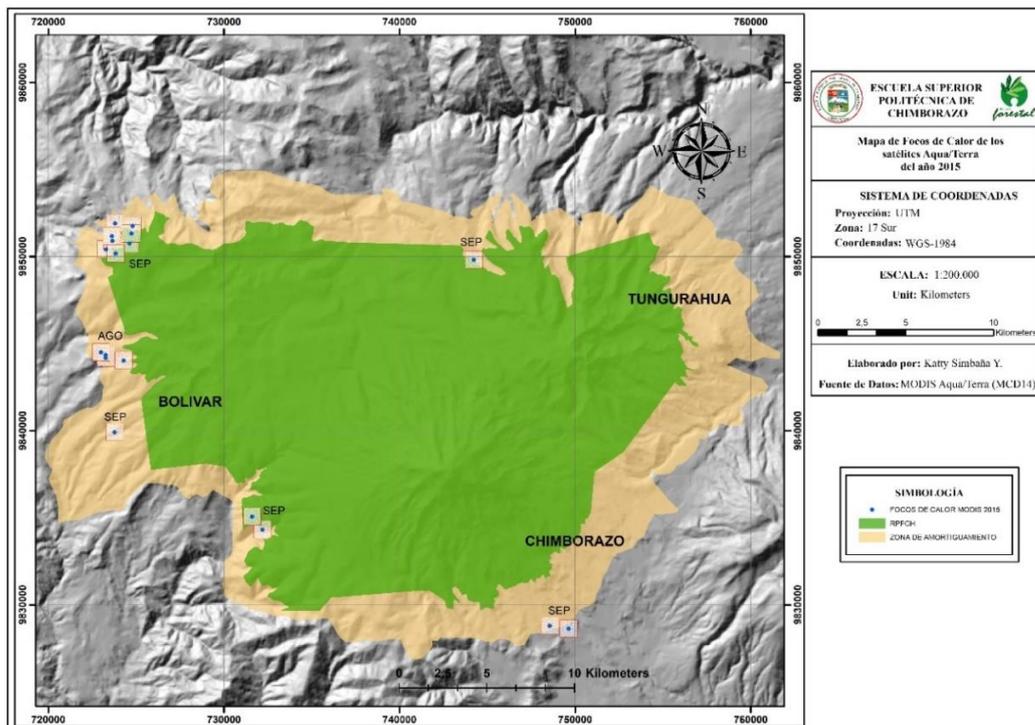


Visualización del área de influencia dependiendo del pixel de los sensores MODIS y VIIRS

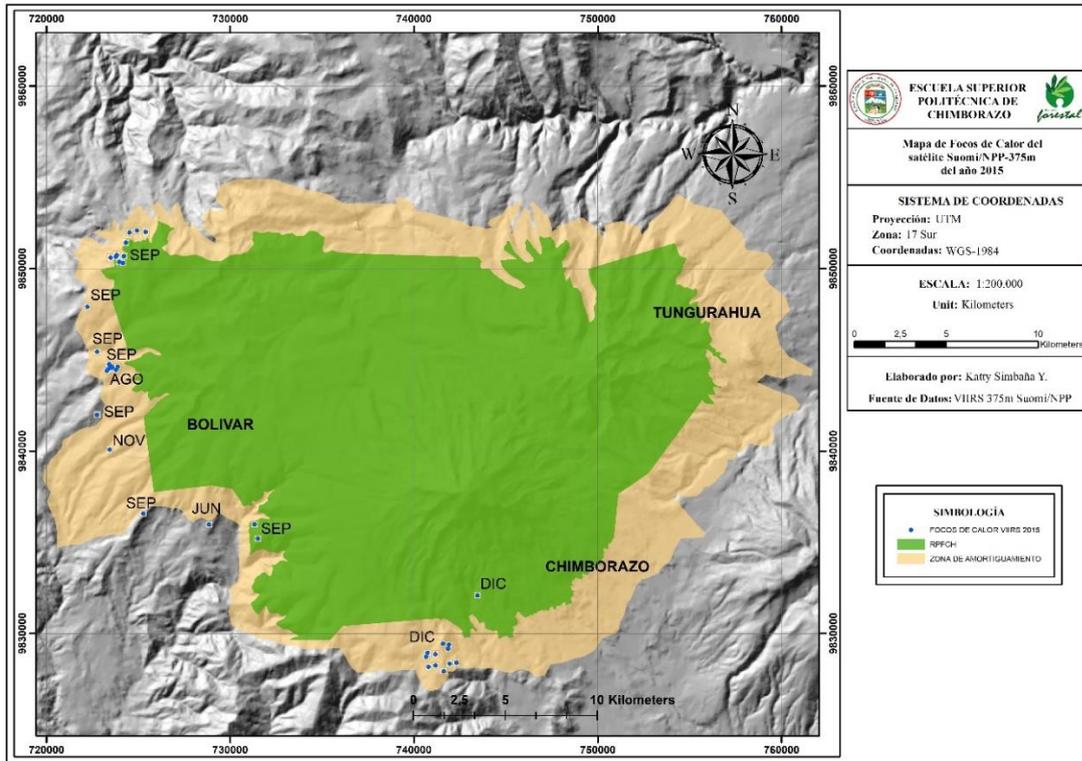
**ANEXO E: PROYECCIONES DE LAS CICATRICES DE QUEMA Y LOS FOCOS DE CALOR**



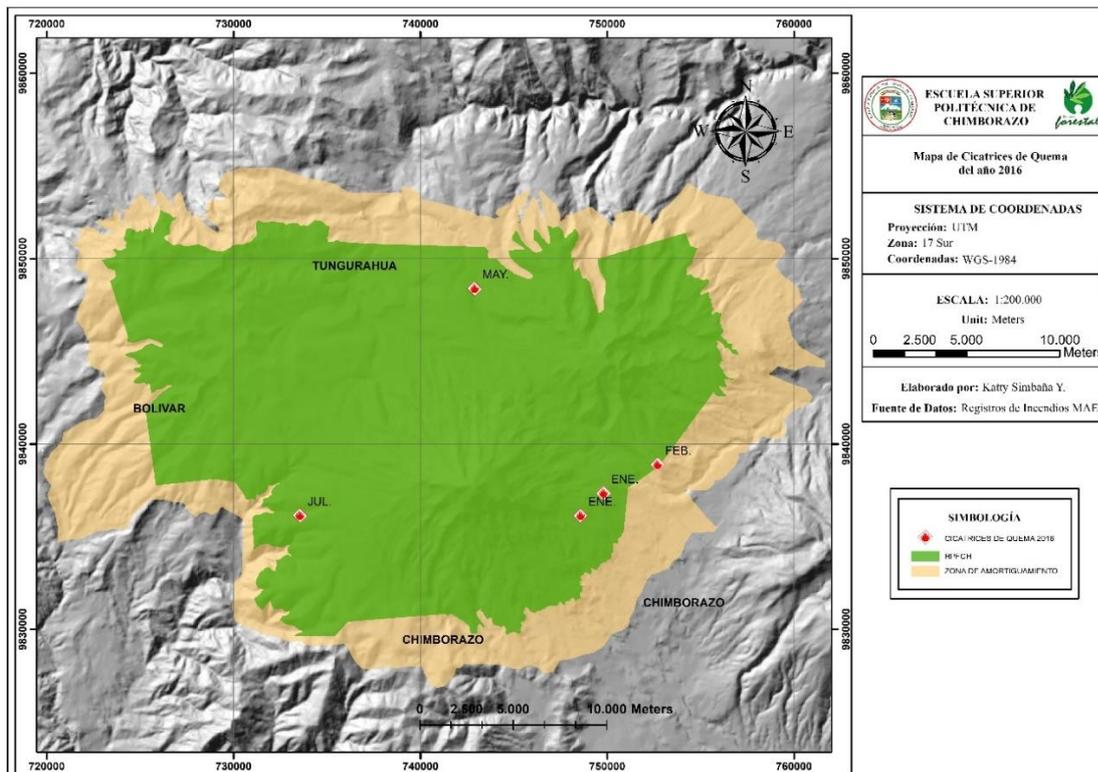
Mapa de cicatrices de quema del año 2015, proyectadas en el software ArcGis 10.5



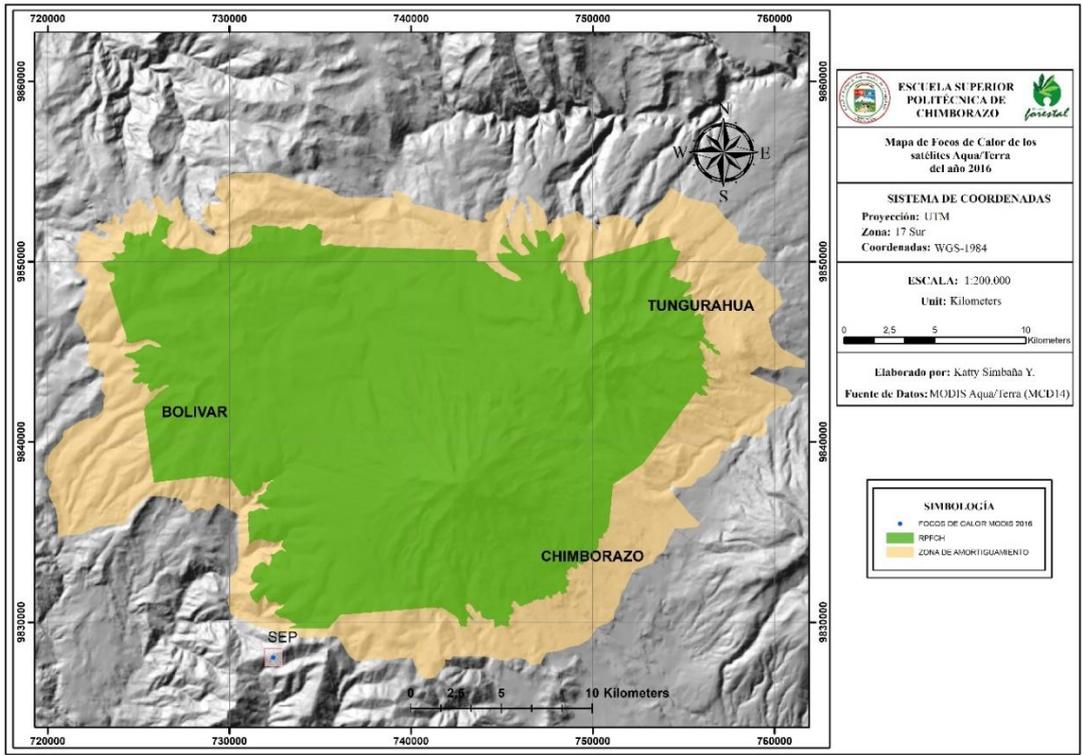
Mapa de focos de calor del sensor MODIS, satélite Aqua/Terra del año 2015, proyectados en el software ArcGis 10.5



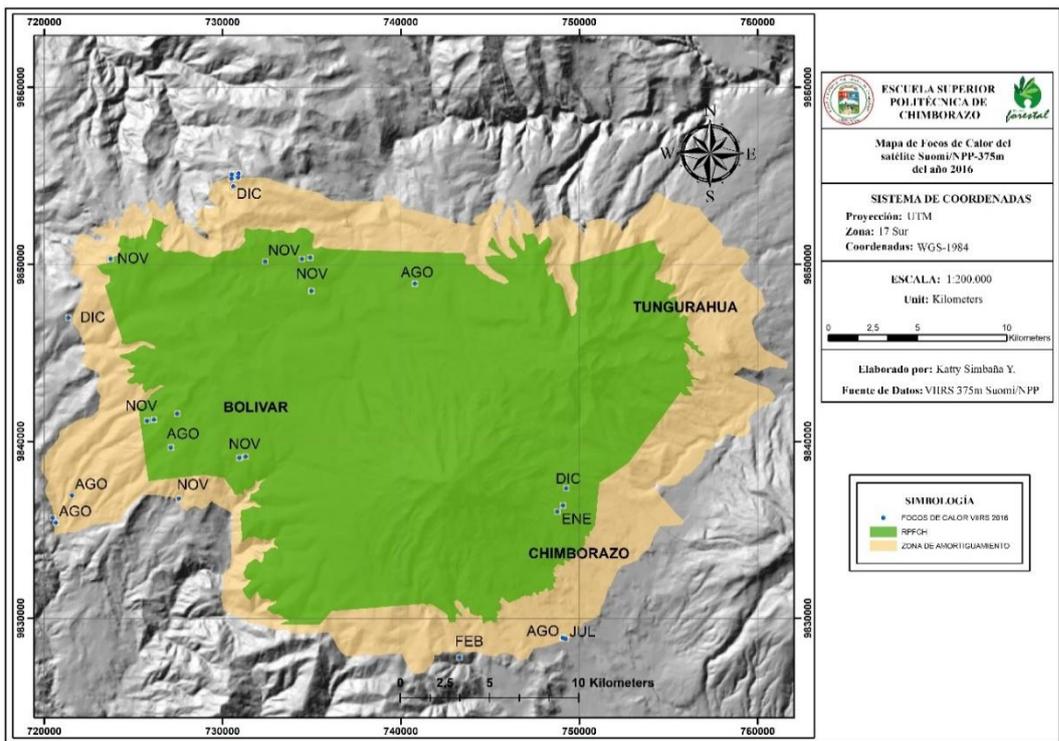
Mapa de focos de calor del sensor VIIRS, satélite Suomi/NPP-375m del año 2015, proyectadas en el software ArcGis 10.5



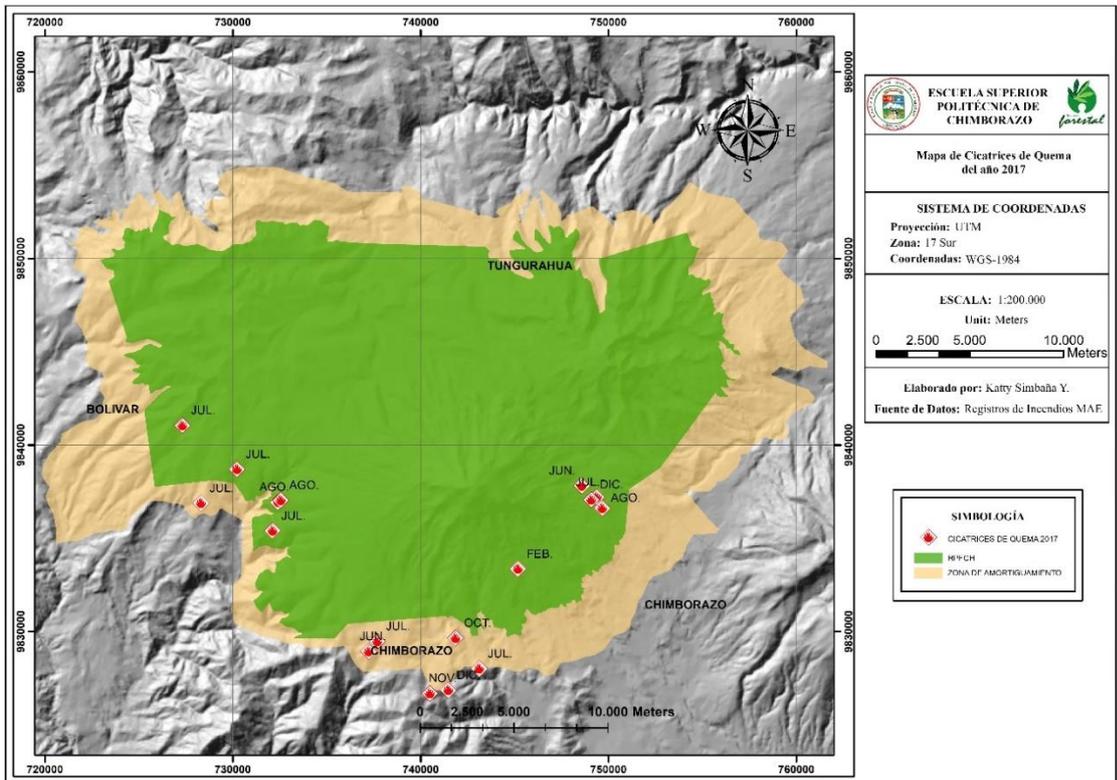
Mapa de cicatrices de quema del año 2016, proyectadas en el software ArcGis 10.5



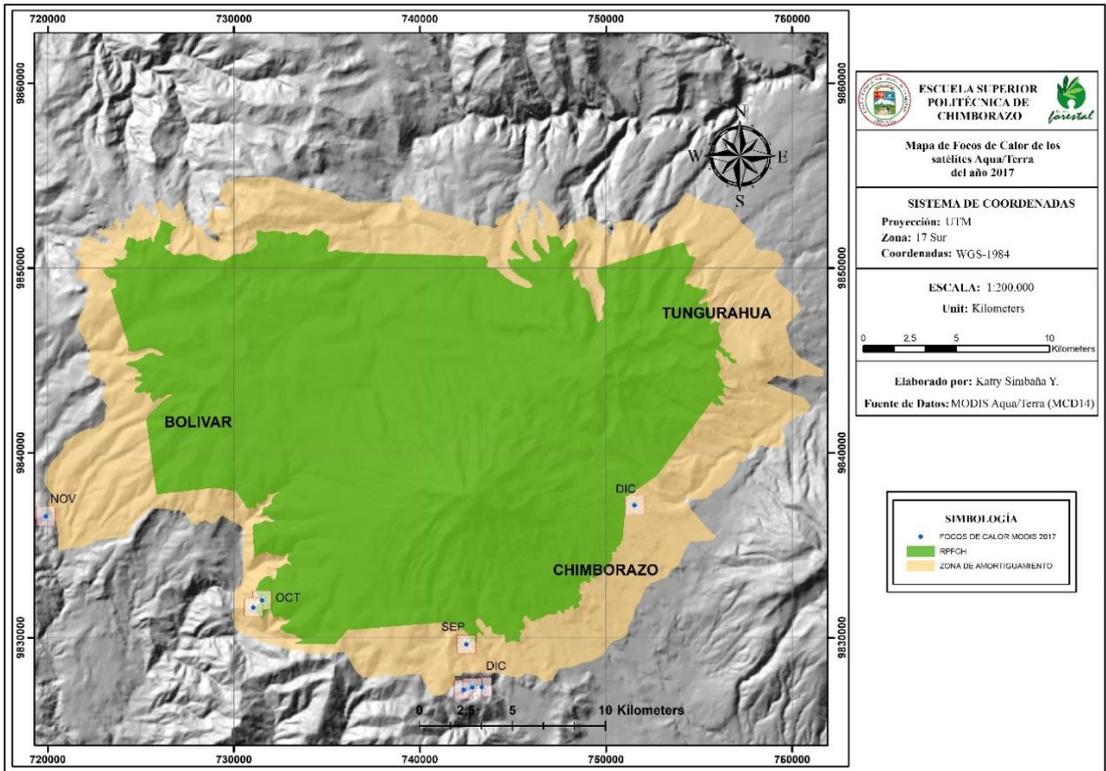
Mapa de focos de calor del sensor MODIS, satélite Aqua/Terra del año 2016, proyectados en el software ArcGis 10.5



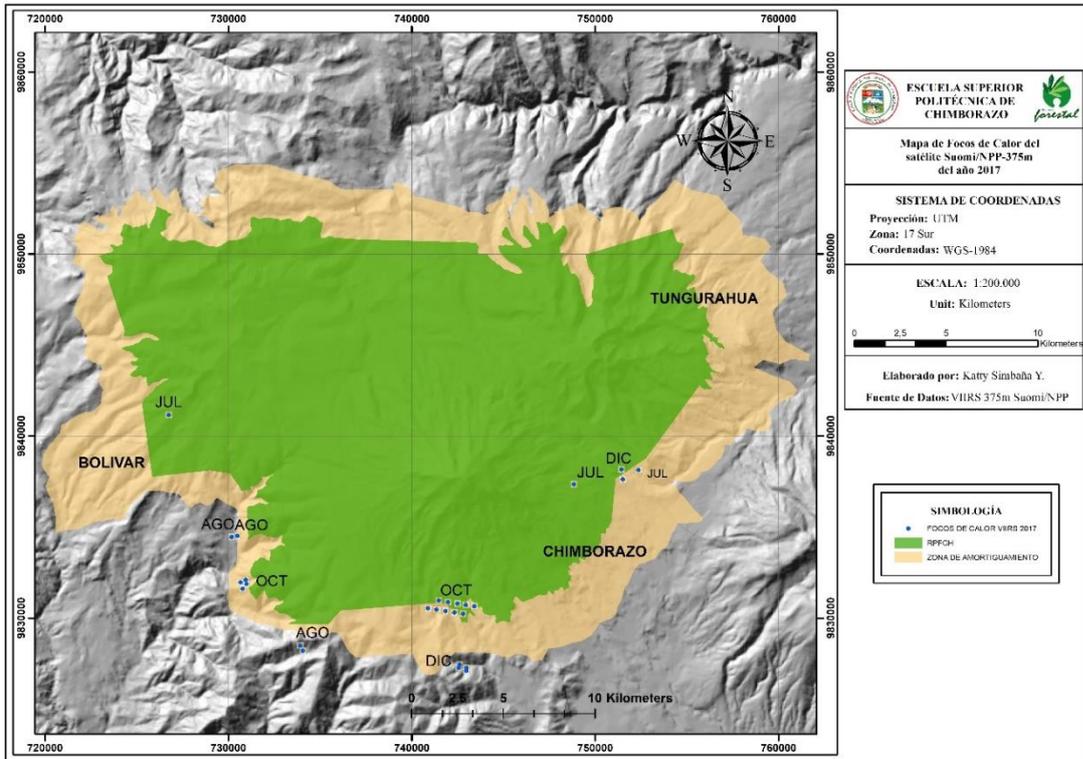
Mapa de focos de calor del sensor VIIRS, satélite Suomi/NPP-375m del año 2016, proyectadas en el software ArcGis 10.5



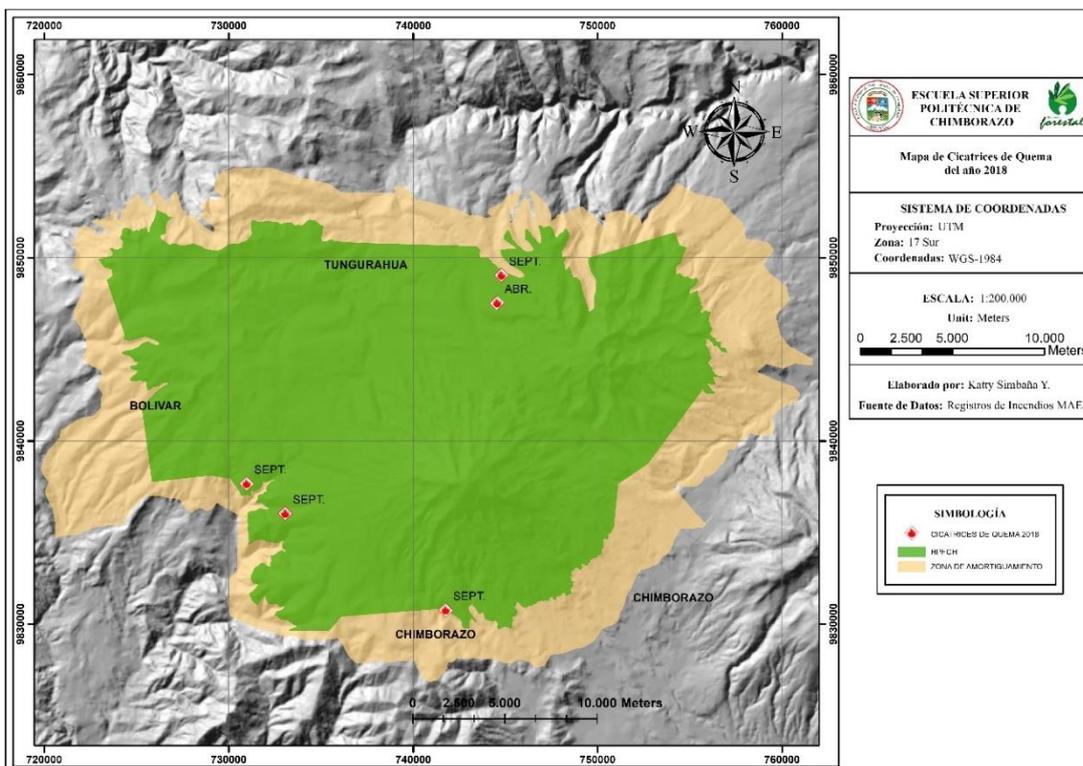
Mapa de cicatrices de quema del año 2017, proyectadas en el software ArcGis 10.5



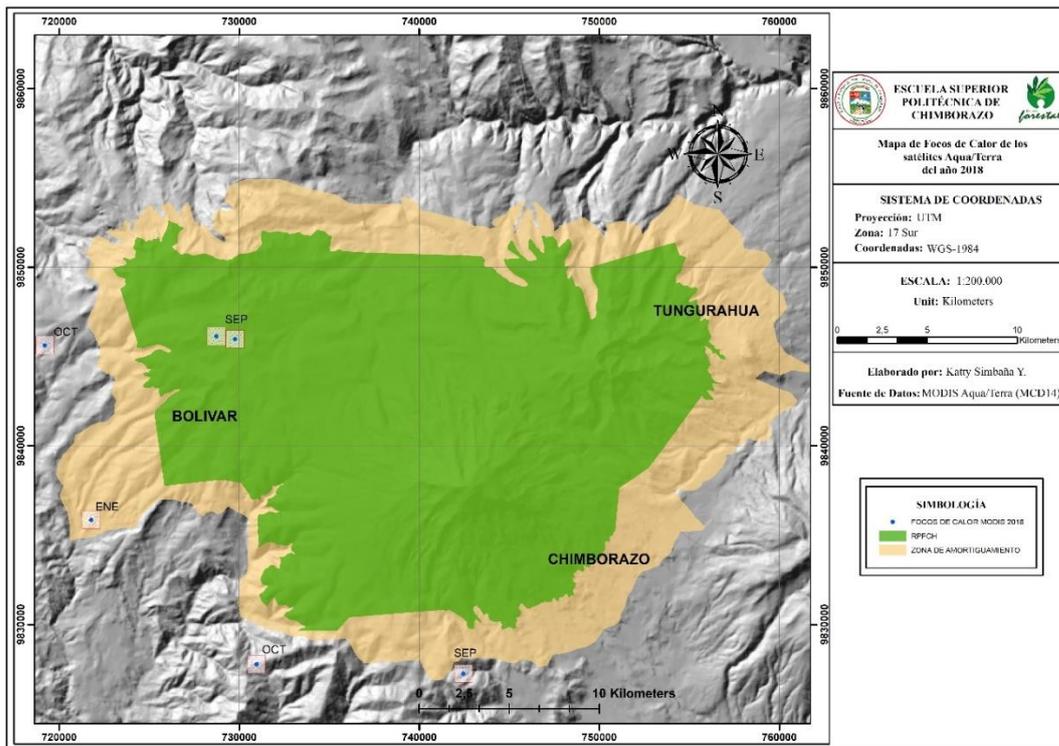
Mapa de focos de calor del sensor MODIS, satélite Aqua/Terra del año 2017, proyectados en el software ArcGis 10.5



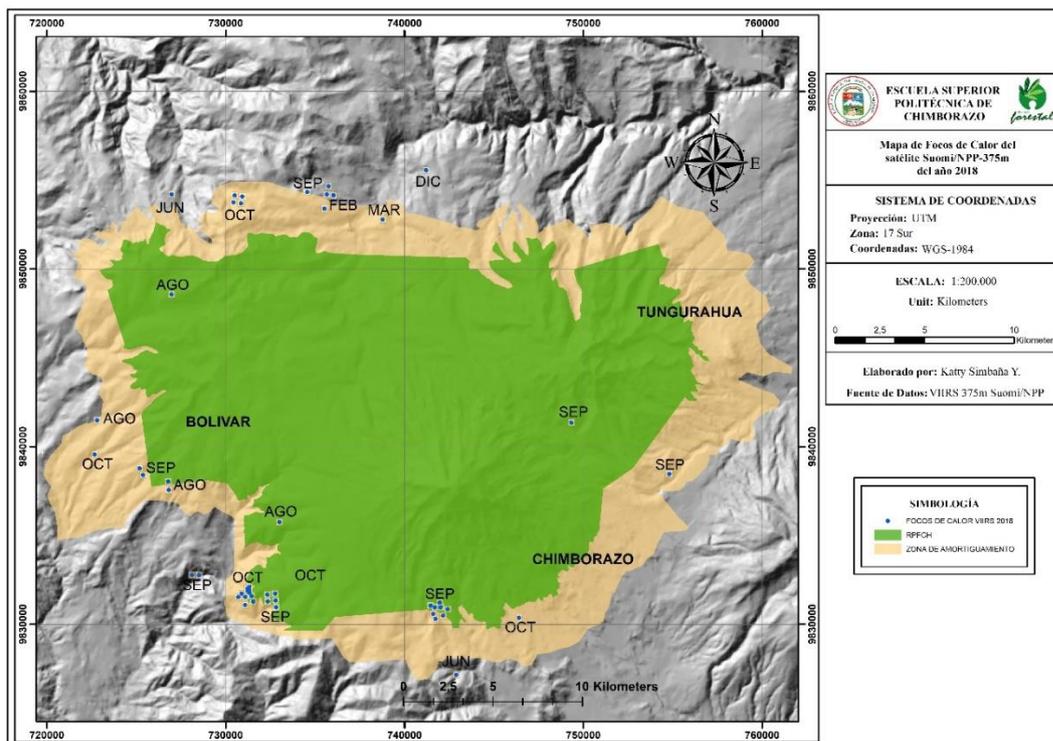
Mapa de focos de calor del sensor VIIRS, satélite Suomi/NPP-375m del año 2017, proyectadas en el software ArcGis 10.5



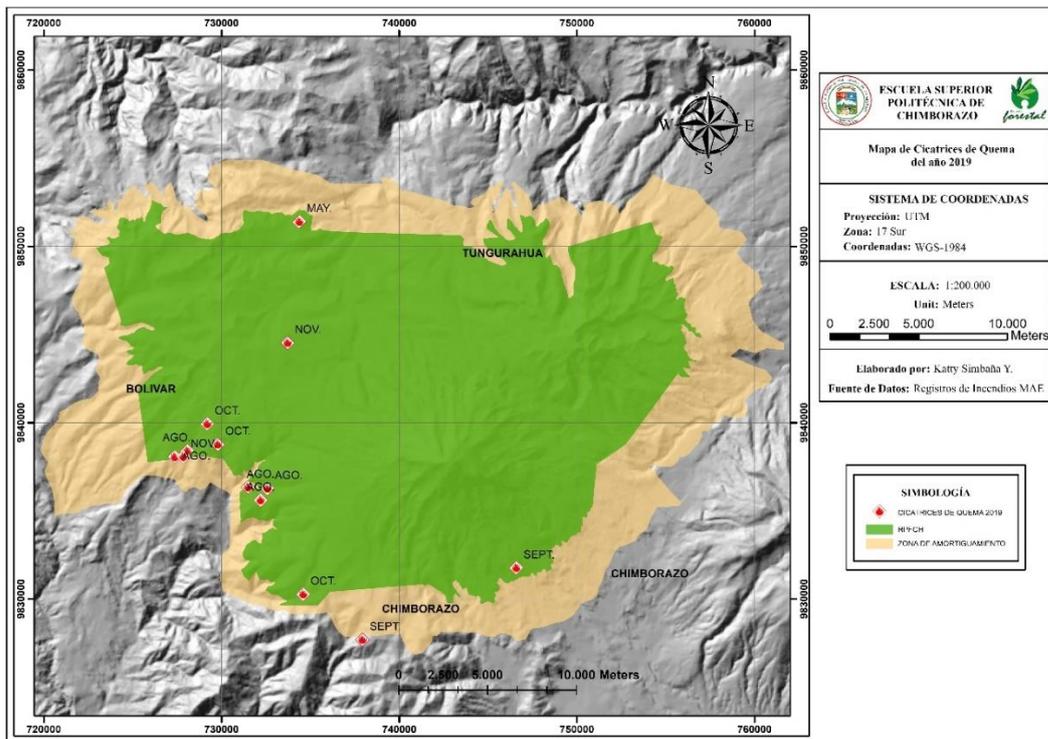
Mapa de cicatrices de quema del año 2018 proyectadas en el software ArcGis 10.5



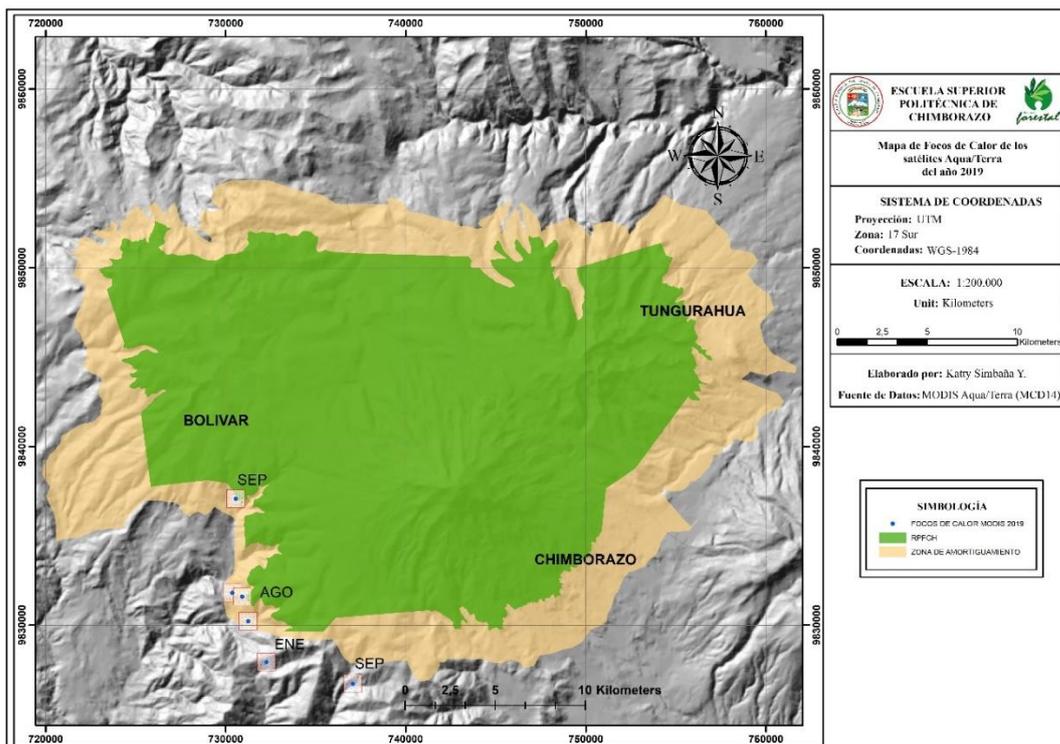
Mapa de focos de calor del sensor MODIS, satélite Aqua/Terra del año 2018, proyectados en el software ArcGis 10.5



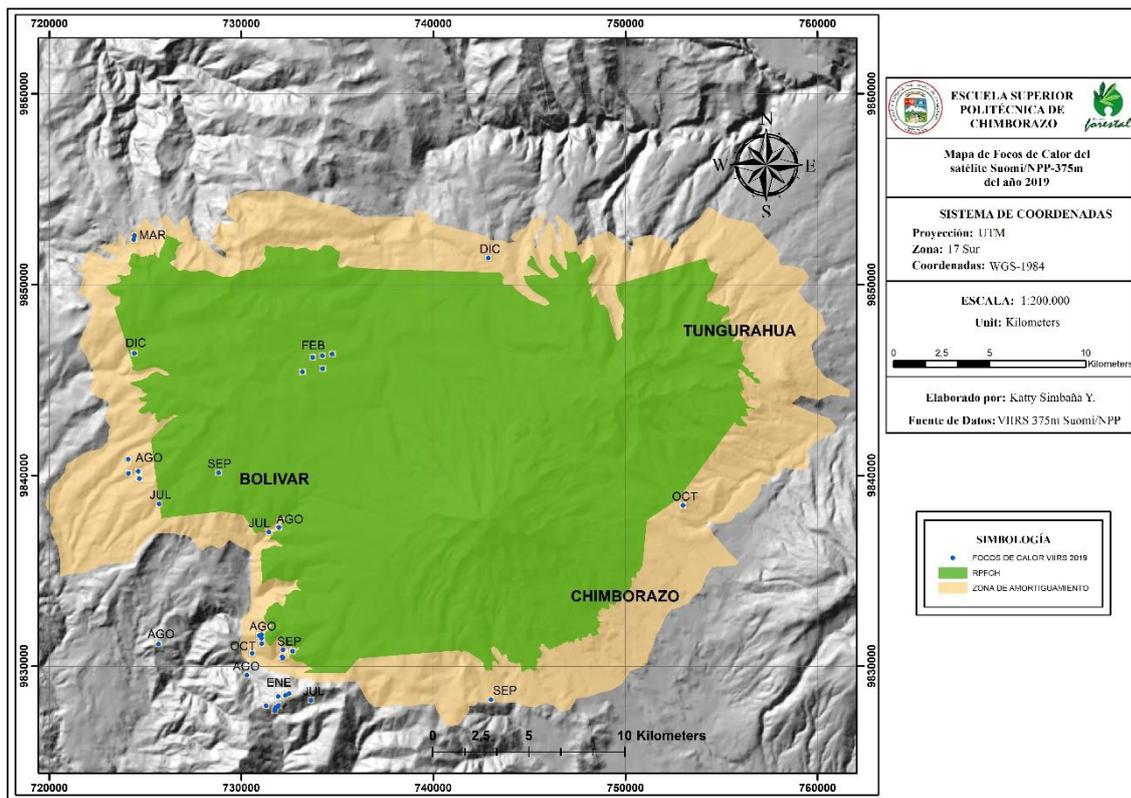
Mapa de focos de calor del sensor VIIRS, satélite Suomi/NPP-375m del año 2018, proyectadas en el software ArcGis 10.5



Mapa de cicatrices de quema del año 2019, proyectadas en el software ArcGis 10.5



Mapa de focos de calor del sensor MODIS, satélite Aqua/Terra del año 2019, proyectados en el software ArcGis 10.5



Mapa de focos de calor del sensor VIIRS, satélite Suomi/NPP-375m del año 2019 proyectadas en el software ArcGis 10.5



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE  
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 15/04/2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Katty Yadira Simbaña Yela
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Recursos Naturales
<b>Carrera:</b> Ingeniería Forestal
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Forestal
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.

**LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS**

Firmado digitalmente por LUIS  
ALBERTO CAMINOS VARGAS  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,  
serialNumber=0602766974,  
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.04.15 12:08:22  
-05'00'



0912-DRAI-UTP-2021